

Лошаков В.А., Наритник Т.М., Сабурова С.О.,
Авдєєнко Г.Л., Семерей С.І.

СИСТЕМИ І ТЕХНОЛОГІЇ ЦИФРОВОГО ТЕЛЕБАЧЕННЯ

Навчальний посібник

За загальною редакцією професора В.А. Лошакова

**Київ
Талком
2022**

УДК 621.397.13: 621.396: 654.197

С34

Рекомендовано до друку
рішенням наради при технічному директорові
Концерну радіомовлення, радіозв'язку та телебачення
(протокол № 1 від 10.02.2022 р.)

Автори:

Лошаков В.А., Наритник Т.М., Сабурова С.О., Авдєєнко Г.Л., Семерей С.І.

За загальною редакцією професора Лошакова В.А.

Рецензенти:

Сукачов Е.О., д.т.н., професор Одеської національної академії зв'язку
ім. О. С. Попова;

Чорний С.В., к.т.н., керівник Харківського центру Інституту космічних
досліджень НАН України та Державного космічного агентства України.

Системи і технології цифрового телебачення: навчаль-
ний посібник / В.А. Лошаков, Т.М. Наритник, С.О. Сабуро-
рова та ін. ; за заг. ред. проф. В.А. Лошакова. — К.: Талком,
2022. — 285 с.

ISBN 978-617-8016-76-0

Розглянуто принципи та характеристики сучасних систем цифрового телебачення стандартів ATSC, DVB, ISDN. Розглянуті особливості методів модуляції і завадостійкості в стандартах наземного ефірного цифрового телебачення DVB-T і DVB-T2 та супутникового цифрового телебачення DVB-S і DVB-S2. Розглянута структура мультисервісної мережі кабельного телебачення стандарту DVB-C. Представлені мобільні технології телебачення в стандартах DVB-H, MBMS, DAB, DMB, ISDB-T та з використанням IP (IPTV). Наведені дані про мікрохвильові інтегровані телерадіоінформаційні системи.

Для викладачів, аспірантів, студентів вищих навчальних закладів при підготовці кваліфікаційних та дисертаційних робіт, а також при вивченні дисциплін напряму телекомунікації та радіотехніки і курсовому проектуванні. Книга може бути корисною фахівцям та спеціалістам в питаннях розробки, виробництва та експлуатації систем та мереж цифрового телебачення нових поколінь.

УДК 621.397.13: 621.396: 654.197

ISBN 978-617-8016-76-0

© Лошаков В.А., Наритник Т.М.,
Сабурова С.О. та ін., 2022

ЗМІСТ

Вступ	10
1 Загальні принципи цифрового телебачення	14
1.1 Особливості подання відеосигналу в цифровому телебаченні	14
1.2 Формати перетворення компонентного відеосигналу в цифрову форму	15
1.3 Принципи стискуючого кодування	19
1.3.1 Особливості стандарту MPEG-2	19
1.3.2 Особливості стандарту MPEG-4 (H.264)	27
1.3.2.1 Можливості стандарту H.264	28
1.3.2.2 Переваги та основні недоліки стандарту H.264	29
1.3.3 Особливості стискуючого кодування HEVC (H.265).....	30
1.4 Принципи завадостійкого каналного кодування сигналів зображення і звуку	31
1.4.1 Порядок операцій щодо захисту від помилок у передавальній та приймальній частинах систем цифрового телебачення	31
1.4.2 Принципи скремблювання	32
1.4.3 Принципи завадостійкого кодування	34
1.4.3.1 Зовнішнє кодування з використанням кодів Ріда-Соломона	36
1.4.3.2 Перемежування і деперемежування	37
1.4.3.3 Внутрішнє згортальне кодування	38
1.5 Модуляція в системах цифрового телевізійного мовлення	40
1.6 OFDM	47
2 Системи і стандарти цифрового телебачення	52
2.1 Загальні відомості про системи і стандарти цифрового телебачення ...	52
2.2 Особливості стандарту ATSC	54
2.3 Загальні відомості про стандарт DVB	57
2.4 Особливості стандарту ISDB	60
3 Стандарти наземного ефірного цифрового телебачення DVB-T і DVB-T2	63
3.1 Стандарт наземного ефірного телевізійного мовлення DVB-T	63
3.1.1 Загальна характеристика стандарту DVB-T	63
3.1.2 Особливості використання та параметри COFDM	64
3.1.3 Методи модуляції несучих в груповому сигналі COFDM	68
3.1.4 Особливості неієрархічного та ієрархічного режимів модуляції	69
3.1.5 Структура кадру COFDM	73
3.1.6 Зовнішнє і внутрішнє завадостійке каналне кодування	74
3.1.7 Особливості промислового зразка приймача стандарту DVB-T	80
3.2 Стандарт наземного ефірного телевізійного мовлення DVB-T2	82
3.2.1 Загальна характеристика стандарту DVB-T2	82

3.2.2 Особливості перетворення цифрових потоків у передавальних та приймальних системах стандарту DVB-T2	82
3.2.2.1 Класифікація і структура цифрових потоків	82
3.2.2.2 Особливості завадостійкого каналного кодування в стандарті DVB-T2	83
3.2.2.3 Особливості COFDM стандарту DVB-T2	84
3.2.3 Структура кадру DVB-T2	88
3.2.4 Особливості перемежування в стандарті DVB-T2	89
3.2.5 Поворот сигнального сузір'я і циклічні Q затримки	90
3.2.6 Використання режиму MISO	90
3.2.7 Зменшення відношення пікової до середньої потужності передачі	92
3.2.8 Додаткові функції стандарту DVB-T2	92
4 Стандарти супутникового цифрового телебачення DVB-S і DVB-S2	96
4.1 Загальні відомості про системи і стандарти цифрового супутникового телевізійного мовлення	96
4.2 Стандарт DVB-S	97
4.2.1 Особливості перетворення цифрових потоків в передавальних і приймальних системах стандарту DVB-S	97
4.2.2 Методи модуляції і завадостійкого кодування	98
4.3 Стандарт DVB-S2	102
4.3.1 Загальна характеристика стандарту DVB-S2	102
4.3.2 Особливості перетворення цифрових потоків в передавальних і приймальних системах стандарту DVB-S2	102
4.3.3 Методи модуляції і завадостійкого кодування в стандарті DVB-S2	104
4.3.4 Технологія Multistream в стандарті DVB-S2	111
4.4 Порівняльна характеристика стандартів DVB-S та DVB-S2	114
4.5 Роль стандарту DVB-S2 в побудові мережі національного ефірного цифрового ТБ мовлення стандарту DVB-T2 в Україні	118
4.6 Розподіли поляризаційно-частотних ресурсів супутникових ретрансляторів	121
4.7 Стан та перспективи супутникового мовлення України	122
5 Кабельне цифрове телебачення стандарту DVB-C	127
5.1 Загальні відомості про системи кабельного телебачення	127
5.2 Структура цифрової мультисервісної мережі кабельного телебачення	127
5.3 Система кабельного цифрового телебачення стандарту DVB-C	128
5.3.1 Принципи побудови головної станції системи цифрового кабельного телебачення стандарту DVB-C	129

5.3.2 Особливості приймачів-декодерів абонентів цифрового кабельного телебачення стандарту DVB-C	130
5.3.3 Основні вигоди кабельних операторів при впровадженні стандарту DVB-C	132
5.4 Загальна характеристика стандарту DVB-C2	133
5.5 Концепція PLP	135
5.6 Формування QAM-символів та завадостійке кодування	135
5.7 Використання OFDM в DVB-C2	136
5.8 Підвищення ефективності використання спектра та зменшення рівня завад від кабельних мереж в стандарті DVB-C2	139
5.8.1 Підвищення ефективності використання спектру в стандарті DVB-C2	139
5.8.2 Зменшення рівня завад від кабельних мереж в стандарті DVB-C2	142
5.9 Переваги використання цифрових стандартів у кабельних мережах	143
6 Системи мобільного цифрового телебачення	146
6.1 Загальна характеристика систем мобільного телебачення	146
6.2 Стандарти мобільного телебачення DVB-H	147
6.2.1 Специфікації та рівні стандарту DVB-H	147
6.2.2 Принципи побудови систем мобільного телебачення стандарту DVB-H	149
6.2.3 Огляд схемотехнічних рішень стандарту DVB-H різних виробників	151
6.3 Особливості стандартів мобільного телебачення та радіомовлення MBMS, DAB, DMB, ISDB і MediaFlo	154
6.3.1 Стандарт DAB	154
6.3.2 Стандарт DMB	154
6.3.3 Стандарт ISDB-T	155
6.3.4 Служба групового мультимедійного мовлення MBMS	155
6.3.5 Стандарт Media Flo	156
6.4 Методи інтеграції систем мобільного телебачення і технології доступу до контенту цифрового телебачення	157
6.4.1 Структура організації інтегрованої мережі цифрового наземного мовлення	157
6.4.2 Особливості інтегрованої мережі мобільного телебачення стандарту DVB-H	158
6.4.3 Послуги мобільного телебачення з використанням інфраструктури 3G	164
6.4.4 Інтеграція системи DVB-H і сучасних технологій доступу до контенту цифрового ТБ	176

6.5 Параметри ефективності і якості технології мобільного телебачення в мережах мобільного зв'язку стандарту UMTS	177
6.5.1 Особливості технології мовлення MBMS в мережах мобільного зв'язку	177
6.5.2 Кількісна оцінка енергетичних і швидкісних характеристик радіоінтерфейсу UMTS	183
6.5.3 Кількісна оцінка енергетичних і швидкісних характеристик радіоінтерфейсу мережі HSDPA	187
6.6 Перспективи розвитку мобільного телебачення	188
6.6.1 Ширококутні системи передачі даних в технологіях мобільного телебачення	188
6.6.2 Використання мережі WiMAX, як середовища передачі мобільного телебачення	192
6.6.3 Перспектива розвитку мобільного телебачення LTE	194
7 Цифрове телебачення з використанням IP (IPTV)	200
7.1 Загальні відомості про IP телебачення	200
7.1.1 Визначення і основні характеристики IPTV	200
7.1.2 Архітектура, основні концепції, типові мережеві структури і служби IPTV	202
7.2 Архітектура комплексу IPTV	207
7.3 Основні варіанти передачі відеосигналу в IPTV	208
7.4 Стандарти та протоколи IPTV	210
7.5 Базові послуги IPTV	213
7.6 Основні параметри якості IPTV і вимоги до них	218
8 Мікрохвильові телерадіоінформаційні системи	223
8.1 Основні відомості про мікрохвильові телерадіоінформаційні мережі (МТРС)	223
8.1.1 Класифікація технологій МТРС	223
8.1.2. Основні переваги МТРС	223
8.1.3 Класифікація МТРС та розподіл радіочастотного ресурсу	224
8.1.4 Побудова базового комплексу МТРС	225
8.1.5 Інфраструктура МТРС	228
8.1.6 Топології побудови МТРС	229
8.1.7 Фактори, що зумовлюють труднощі побудови великомасштабної телерадіоінформаційної мережі виключно на основі МТРС	232
8.1.8 Утворення телерадіомережі адміністративного району з використанням МТРС разом із СКТВ	232
8.2 Основні відомості про технологію трансляції сигналів цифрового телебачення МТРС	233
8.3 Основні відомості про технологію MMDS та її практичне застосування	236

8.3.1	Історичні аспекти розвитку MMDS	236
8.3.2	Загальна характеристика систем MMDS	237
8.3.3	Переваги MMDS систем	238
8.3.4	Компоненти системи MMDS	239
8.3.5	Модулятори	241
8.3.6	Передавачі MMDS	241
8.3.7	Передавальна антена та елементи хвилеводного тракту	244
8.3.8	Ретранслятори MMDS	245
8.3.9	Система управління приймально-передавальним обладнанням MDS	247
8.3.10	Приймальні антени та конвертери	248
8.3.11	Приклад системи MMDS для організації широкосмугового бездротового доступу	249
8.4	Принципи побудови та особливості мереж LMDS	254
8.5	Принципи побудови та особливості мереж MVDS	260
8.5.1	Структура системи MVDS	262
8.6	Система мікрохвильова інтегрована телерадіо-інформаційна мультисервісного радіодоступу UMDS	266
8.6.1	Використовані в системі UMDS радіотехнології	266
8.6.2	Основні технічні характеристики системи UMDS	267
8.6.3	Структурна схема центральної станції UMDS	269
8.6.4	Підсистема телевізійного мовлення системи UMDS	269
8.6.4.1	Частотний план підсистеми ТВ мовлення системи UMDS	270
8.6.4.2	Варіант побудови центральної та абонентської станції підсистеми телевізійного мовлення у стандарті DVB-S/S2	270
8.6.5	Підсистема доступу до служб Інтернет UMDS	274
8.6.5.1	Прямий та зворотний канали ЦС підсистеми доступу до служб Інтернет	274
8.6.6	Абонентська станція і її складові частини	277
8.6.6.1	Варіант побудови абонентської станції для одночасного прийому сигналів підсистем цифрового ТВ мовлення та доступу до служб Інтернет	278
8.6.6.2	Устаткування абонентської станції	278
8.6.7	Перевага пропонованих рішень побудови підсистеми доступу до Інтернету ЦС	281
8.6.8	Підсистема збору відео- та аудіоінформації	281
8.6.9	Нормативно-законодавча база застосування системи мікрохвильової інтегрованої телерадіо інформаційної мультисервісного радіодоступу UMDS	282
8.6.10	Перспективи мікрохвильової інтегрованої телерадіо інформаційної системи мультисервісного радіодоступу UMDS	282

Дорогі друзі!

У 2021 році виповнилось 70 років з того дня, коли відбулась перша професійна телевізійна трансляція з Київського телецентру. Цей день вважається днем народження українського телебачення, яке уже десятки років поспіль залишається одним із найпопулярніших засобів отримання інформації.

Телебачення, як і будь-яка технологія, розвивається поетапно, постійно вдосконалюючись та реагуючи на зростаючі вимоги до якості та оперативності отримання інформації.

Відтак телевізійна картинка ставала якіснішою — від стандартної (SD) до високої (HD) та ультрависокої (UHD) чіткості. Телебачення стало «рухомим» — з'явилась можливість дивитись телеконтент на портативних пристроях (смартфонах). Телебачення стало розумним (smart) та інтерактивним. Всі ці властивості стали можливими завдяки появі цифрових технологій розповсюдження телевізійного сигналу.

Сучасне цифрове телебачення поширюється чотирма способами — через супутник (DVB-S/S2), ефір (DVB-T/T2), кабель (DVB-C/C2) та IP.

Одним із найпоширеніших та найпопулярніших способів перегляду телевізійних програм залишається ефірне телебачення. Разом із всіма країнами світу, відповідно до міжнародних зобов'язань, Україна переходить від аналогового стандарту розповсюдження телевізійного сигналу до цифрового стандарту DVB. Великою перевагою є той факт, що в Україні загальнонаціональні мережі ефірного телебачення відразу будувались в стандарті другого покоління DVB-T2.

Ефірне цифрове мовлення в нашій державі має важливу місію — забезпечити всіх громадян рівними та доступними можливостями отримувати найбільш суспільно значущу інформацію. Саме з цією метою, а також з метою раціонального використання радіочастотного ресурсу, державою були ухвалені рішення про побудову загальнонаціональної цифрової багатоканальної телемережі МХ-7 стандарту DVB-T2 в діапазоні частот 174–230 МГц. Розбудову і технічну експлуатацію багатоканальної телемережі МХ-7 реалізує державний оператор телекомунікацій — Концерн радіомовлення, радіозв'язку та телебачення.

Забезпечення ефективного функціонування та подальшого розвитку передавально-розподільчих мереж телевізійного мовлення потребує неабияких фахових знань. І дуже важливо, що автори посібника, окрім теоретичних положень, розглянули і практичні аспекти застосування технологічних рішень.

Варто відзначити, що це видання написано сучасною «технічною» українською мовою. Технічна термінологія, що міститься у посібнику,

є перекладом та авторською адаптацією іншомовних термінів, що робить його максимально зрозумілим для вивчення та застосування.

Сподіваюсь, що навчальний посібник стане корисним для студентів профільних закладів вищої освіти, фахівців операторів телекомунікацій та телерадіокомпаній, а також всіх, хто цікавиться цифровими технологіями та іде в ногу з часом.

Голова Державної служби спеціального зв'язку
та захисту інформації України

Ю.Ф. Щиголь

ВСТУП

Телевізійне мовлення (ТМ) сьогодні є частиною життя суспільства, нерозривно пов'язаного з реальністю, що впливає і залежить від неї. Телебачення — найбільш затребувана серед населення інформаційна послуга. Кількість телеглядачів набагато перевищує кількість користувачів Інтернету, абонентів стаціонарних і мобільних мереж зв'язку. Зростаючі вимоги до якості телевізійного зображення зумовили вдосконалення технології ТМ, розробку нових ефективних методів створення, компресії, передачі і прийому сигналів телевізійних програм. При цьому основні досягнення пов'язані з активним впровадженням цифрового телебачення в останні роки як за кордоном, так і в Україні.

Від якості телевізійного зображення безпосередньо залежить достовірність сприйняття інформації, що надається глядачеві. Тому основні вимоги до систем передачі та прийому ТМ сигналів зводяться до забезпечення мінімальних спотворень телевізійних сигналів, тобто високої якості зображення і його звукового супроводу. Важливою перевагою сучасних систем цифрового телевізійного мовлення є їх здатність забезпечувати підвищену якість зображення і звуку навіть в дуже складних умовах прийому при більш низькій, ніж в кольоровому аналоговому телебаченні, середній потужності сигналу. Більш того, цифрове телебачення дозволяє забезпечувати різні формати зображення — від звичайного стандартного — SDTV до зображення високої чіткості — HDTV (кадр 1920×1080 пікселів), в тому числі і об'ємного — 3D, а також надвисокої чіткості (UHDTV) форматів 2K та 4K (кадр 1920×1080 та 7680×4320 пікселів відповідно).

У сучасному цифровому телебаченні широко реалізується SMART режим, що забезпечує надзвичайно широкий спектр додаткових інформаційних послуг і реальну реалізацію інтерактивного телебачення.

У даний час розроблені, експериментально досліджені і введені в експлуатацію європейська DVB, американська ATSC і японська ISDB системи цифрового телебачення.

DVB (Digital Video Broadcasting) — сімейство стандартів цифрового телебачення, розроблених консорціумом DVB і стандартизованих Європейським інститутом телекомунікаційних стандартів. Стандарти охоплюють всі рівні моделі взаємодії відкритих систем OSI з різним ступенем деталізації для різних способів передачі цифрового сигналу: наземного (фіксованого та мобільного), супутникового, кабельного (як класичного, так і IPTV). На більш високих рівнях OSI стандартизуються системи умовного доступу, способи організації інформації для передачі в середовищі IP та ін.

Стандарти цифрового телебачення DVB діляться на групи відповідно до сфери застосування. Основні варіанти стандарту DVB включають:

DVB-S, DVB-T і DVB-C, DVB-S (перше покоління стандарту для супутникових систем ТМ), DVB-C і DVB-T (перші покоління стандартів кабельного та наземного телевізійного мовлення). Крім того, існують такі варіанти, як DVB-H (стандарт ТМ для портативних медіапристроїв), DVB-T2 (друге покоління стандарту наземного телевізійного мовлення), DVB-S2 (друге покоління стандарту супутникового телевізійного мовлення), DVB-DATA (стандарт передачі цифрових даних).

Відходять у минуле спеціалізовані мережі для передачі мови, відео і даних. З оцифровуванням контенту відмінності між видами передачі стираються, при цьому обробка і доставка різних сегментів здійснюється універсальним ІР-мережами.

Цифрова конвергенція дозволяє створювати нові програми та послуги, які до цього були неможливі, і відкриває нові можливості як з точки зору постачальників послуг, так і з позиції кінцевого користувача.

Цифрова реалізація систем мовлення дозволяє не тільки вирішити завдання мережної конвергентності (all IP), але, що особливо важливо, забезпечити конвергенцію пристроїв і наданих сервісів. Безліч мережевих технологій зливаються в ІР-технологію, приводячи до сумісності додатків і характеристик щодо будь-якої послуги, починаючи з перспективи для кінцевого користувача і закінчуючи в перспективі більш низькими капітальними і експлуатаційними витратами для провайдерів.

Мережі доставки контенту, в залежності від того, чи належать вони розповсюдженню чи ні, поділяють на закриті і відкриті відповідно. У закритих мережах постачальник може вирішувати, скільки трафіку проходить через мережу і скільки трафіку буде надіслано по кожному з маршрутів. Використовуючи відкриту мережу, постачальник послуг може використовувати Інтернет, але не зможе управляти його трафіком.

Показники якості надання послуг QoS та QoE є найважливішими характеристиками при розподілі відео та при доставці контенту кінцевому користувачу. У мережах доставки контенту CDN для забезпечення необхідної якості використовують дзеркальні і проксі-сервери зі збільшеною пам'яттю кеша, що забезпечує високу ймовірність знаходження потрібного відео на сайті сервера, найближчого до користувача. Для забезпечення якості в пірінгових мережах використовується структурна кластеризація пірів, підтримується відповідний баланс навантаження, оптимізується процес скачування фрагментів затребуваних файлів. Для мобільних мереж важливим є якомога коротше переміщення контенту до мобільного користувача за рахунок кешування контенту на місцевому рівні (веб-проксі/кеш).

З розвитком мережі 3–4G, LTE стають більш доступними послуги високошвидкісного обміну відео- та аудіофайлами, відеоконференцій, мобільного Інтернету і, звичайно, мобільного ТМ.

На даний час тенденції глобалізації, зростаюча активність і міграція населення, тарифна політика та зниження цін на абонентські пристрої сприяють впровадженню нових інфокомунікаційних послуг, які реалізуються за допомогою мобільних терміналів. Очевидно також, що широкий розвиток мережі абонентів мобільного телебачення призведе до зміни ролі і місця звичайного мовлення. Нас очікують такі ж процеси перерозподілу, як між фіксованим і мобільним зв'язком.

У першому розділі «Загальні принципи цифрового телебачення» розглянуті формати представлення відеосигналу і особливості перетворення компонентного відеосигналу в цифрову форму, принципи завадостійкого каналного кодування сигналів зображення і звуку, а також модуляції в системах цифрового телевізійного мовлення.

У другому розділі «Системи і стандарти цифрового телебачення» подано коротку характеристику сучасних систем цифрового телебачення і та проведено порівняльний аналіз основних характеристик стандартів ATSC, DVB, ISDN.

У третьому розділі «Стандарти наземного ефірного цифрового телебачення DVB-T і DVB-T2» розглянуті основні особливості методів модуляції і завадостійкого кодування в системах ефірного наземного телебачення, перетворення цифрових потоків на передавальній і приймальній стороні, причини несумісності цих стандартів.

У четвертому розділі «Стандарти супутникового цифрового телебачення DVB-S і DVB-S2» викладено методи модуляції і завадостійкого кодування, принципи перетворення цифрових потоків, а також розподілу поляризаційно-частотних ресурсів супутникових ретрансляторів.

У п'ятому розділі «Кабельне цифрове телебачення стандарту DVB-C» розглянуті структура цифрової мультисервісної мережі кабельного телебачення, принципи побудови головної станції та приймачів-декодерів абонентів стандарту DVB-C. Викладені методи завадостійкого кодування і модуляції сигналів. Розглянуті системи колективного прийому сигналів супутникового цифрового телебачення.

У шостому розділі «Системи мобільного цифрового телебачення» розглянуті особливості стандартів DVB-H, MBMS, DAB, DMB, ISDB-T і MediaFlo, використовуваних при реалізації мереж мобільного цифрового телебачення. Викладені методи інтеграції систем мобільного телебачення і технології доступу до контенту цифрового телебачення, структура і організація інтегрованої мережі цифрового наземного мовлення, параметри ефективності і якості технології мобільного телебачення в мережах мобільного зв'язку стандартів UMTS/3GPP, а також перспективи розвитку мобільного телебачення 4-5G та Internet&Things.

У сьомому розділі «Цифрове телебачення з використанням IP (IPTV)» розглянуті архітектура, основні концепції типових мережних структур, служб і стандартів IPTV. Викладено особливості кодування і передачі контенту в службах, режими передачі, а також організація мережної інфраструктури служб IPTV.

У восьмому розділі «Мікрохвильові інтегровані телерадіоінформаційні системи» розглянуті основні відомості про мікрохвильові телерадіоінформаційні мережі, про технології трансляції сигналів телебачення системами MIPIC та UMDS, про їх практичне застосування. Представлені принципи побудови та особливості мікрохвильових телерадіоінформаційних мереж LMDS та MVDS і мікрохвильову інтегровану телерадіоінформаційну систему мультисервісного радіодоступу UMDS.

Автори вдячні своїм колегам з ХНУРЕ: проф. Пастушенко М.С. і доц. Епішкіну С.О. за цінні методичні рекомендації в процесі написання даного навчального посібника.

Ми вдячні також аспірантам Єльченку С.В., Сусідці Ю.Е., Ненахову Н.Ю. і інженеру Зеліку Б., які надали велику допомогу в підборі і оформленні матеріалів для навчального посібника.

Автори вдячні доценту Капштику С.В. з НТУУ КПІ імені Ігоря Сікорського і своїм рецензентам, які своїми зауваженнями та рекомендаціями сприяли поліпшенню змісту навчального посібника.

1 ЗАГАЛЬНІ ПРИНЦИПИ ЦИФРОВОГО ТЕЛЕБАЧЕННЯ

1.1 Особливості подання відеосигналу в цифровому телебаченні

Що дає цифрове телебачення? До масового глядача практично без спотворень доходить сигнал студійної якості, зникають завади, характерні для аналогового мовлення. З'являється можливість передавати відеозображення телебачення високої чіткості (ТВЧ, HDTV) з числом рядків розгортки 720, 1080 (співвідношення рядків і стовпців 16:9) і вище проти стандартних сьогодні 480, 625 рядків (формат 4:3). Однак побачити цю високу чіткість можна лише на екрані телеприймача з відповідними характеристиками монітора. ЦТБ дозволяє набагато ефективніше використовувати діапазон частот — в смузі одного аналогового ТБ-каналу можна передавати кілька цифрових програм. Але цифрова техніка породжує і проблеми. Смуга частот цифрових сигналів значно ширше смуги їх аналогових попередників. Смуга частот, яку займає телевізійний відеосигнал після аналого-цифрового перетворення, становить сотні мегагерц і для передачі телевізійного сигналу в цифровій формі потрібні канали зв'язку з пропускнуою спроможністю до сотень мегабіт в секунду. Створення і використання таких широкосмугових каналів, які не вносять помилок у цифровий потік в більшості випадків є економічно не вигідним. Тому сам факт перетворення аналогових сигналів в цифрову форму і використання двійкових сигналів в якості носія інформації ще не гарантує високої якості.

Принциповий спосіб вирішення проблем передачі і запису з високим ступенем перешкодозахищеності полягає в кодуванні сигналу. Кодування включає кілька етапів:

- *компресію* — кодування джерела інформації з метою перетворення сигналу в цифрову форму і його економічного подання шляхом стиснення;
- *кодування* з метою виявлення та виправлення помилок;
- *анальне кодування* з метою узгодження параметрів цифрового сигналу з властивостями каналу зв'язку і забезпечення самосинхронізації.

Протягом вже декількох десятиріч для забезпечення сумісності запису та редагування відеосигналів різних стандартів в телевізійних студіях широко використовуються такі цифрові формати представлення відеосигналу, як *компаративний* та *компонентний*.

Компаративний телевізійний відеосигнал є результат сумування сигналу яскравості Y, двох кольорних піднесучих, модульованих кольороорізними сигналами R-Y і B-Y, а також синхроімпульсів та імпульсів опізнання стандарту кольорового зображення. Причому, спектри сигналів R-Y і B-Y лежать в межах смуги спектра сигналу яскравості. Композитний

сигнал використовується для цифрового подання відеосигналів несумісних систем аналогового телебачення NTSC, PAL і SECAM. При декодуванні композитних сигналів різних систем неминучі додаткові спотворення відеосигналу, що призводять до погіршення якості зображення. Крім того, широка смуга і складність компресії таких сигналів робить їх незручними для доставляння кінцевому користувачеві.

Компонентний відеосигнал подається сумою сигналу яскравості Y та двох кольорорізнисних сигналів $R-Y$ (C_r) і $B-Y$ (C_b). Це зводить до мінімуму обробку в моніторі, Одак, все ж потрібне додаткове матрицювання для отримання вихідних RGB сигналів. Альтернативою йому є повна передача всіх RGB компонент кольорового сигналу. Але такий спосіб вимагає додаткового ресурсу пропускної спроможності цифрової системи передачі, тому використовується лише в спеціальних системах телебачення. У цифровому ж телебаченні основним є компонентне подання відеосигналу.

1.2 Формати перетворення компонентного відеосигналу в цифрову форму

Компонентний телевізійний відеосигнал може бути представлений в цифровій формі відповідно до Рекомендації ITU-R601. Ця рекомендація встановлює правила роздільної дискретизації, квантування і кодування сигналу яскравості Y та двох кольорорізнисних сигналів $R-Y$ (C_r) і $B-Y$ (C_b). Частота дискретизації для сигналу яскравості Y встановлена $13,5$ МГц, для кольорорізнисних сигналів — $6,75$ МГц, тобто частота дискретизації сигналу яскравості в 2 рази більше частоти дискретизації кольорорізнисних сигналів. Спектр дискретизованого сигналу яскравості наведено на рис. 1.1. При такій частоті дискретизації, як видно з рисунка, є захисний інтервал між складовими спектра дискретизованого сигналу, що забезпечує практично без спотворень відновлення вихідного сигналу на приймальній стороні.

На рис. 1.2 показана дискретизація компонентного телевізійного сигналу на прикладі сигналу кольорових смуг. Довжина кодового слова $n = 10$ двійкових розрядів — бітів), що дозволяє перенумерувати 1024 рівні квантування. Однак числа $0...3$ та $1020...1023$ резервуються для цифрових синхронізуючих сигналів. Для квантування сигналу яскравості виділяється 877 рівнів (значення чорного у відеосигналі відповідає рівню квантування 64, а номінальне значення білого — рівню 940). Для квантування кольорорізнисних сигналів виділяється 897 рівнів, причому нульовому значенню аналогового сигналу відповідає рівень квантування 512.

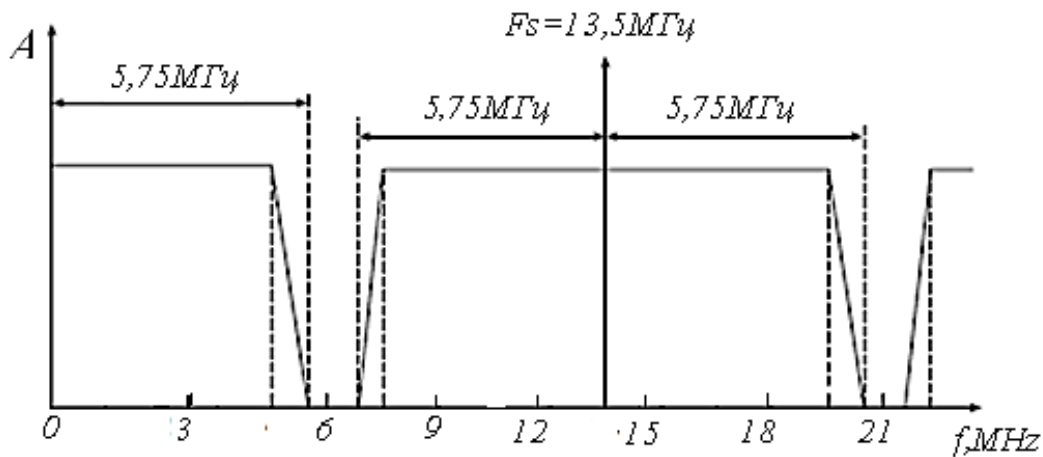


Рисунок 1.1 — Спектр дискретизованого сигналу яскравості при $F_s > 2F_{Ymax}$

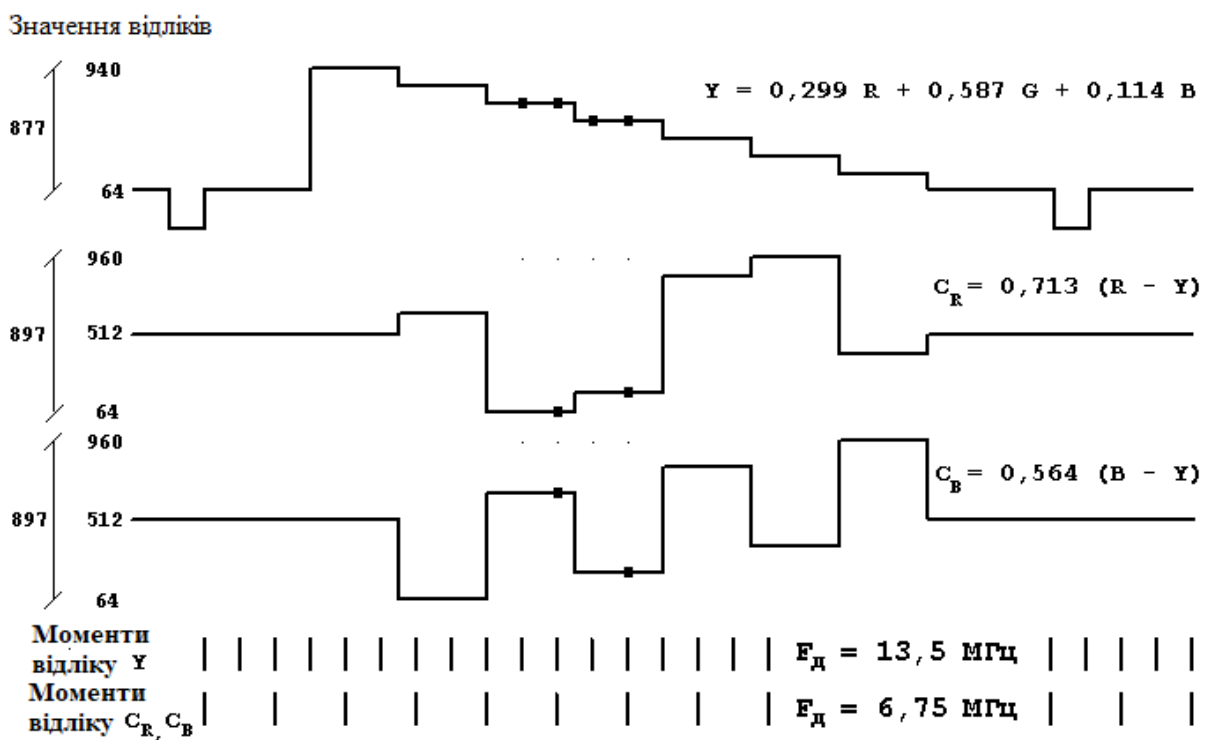
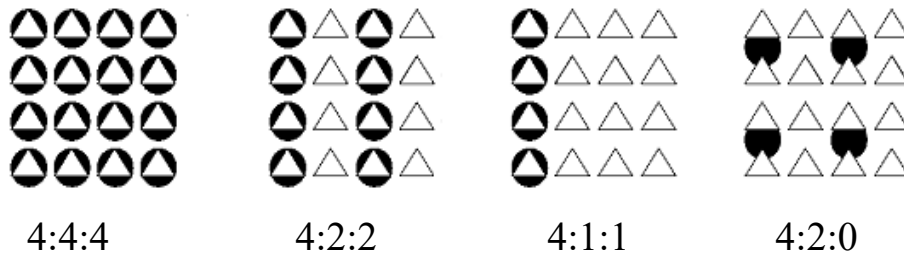


Рисунок 1.2 — Дискретизація компонентного телевізійного сигналу кольорових смуг

Наведені діапазони рівнів квантування часто використовуються при порівнянні з іншими варіантами квантування. У цьому випадку на них часто посилаються як на показники динамічного діапазону сигналу, оскільки число рівнів квантування визначає шум квантування і, відповідно, динамічний діапазон. Якщо взяти в якості умовної (базової для ієрархії цифрових стандартів) одиниці частоту 3,375 МГц, то частоти дискретизації яскравості і двох кольорорізнісних сигналів C (червоного C_r і синього C_b) знаходяться в співвідношенні 4:2:2 (див. рис. 1.3), яке і дає часто використовувану назву формату. Формат 4:2:2 використовується в якості базового при оцінці інших варіантів дискретизації.



(Δ — значення яскравості точок Y , \bullet — значення кольору точок C_r і C_b)

Рисунок 1.3 — Формати передачі кольорорізнисних сигналів

Частота дискретизації є гармонікою малої частоти, яка забезпечує нерухому ортогональну структуру відліків ТВ зображення. Величини 13,5 та 6,75 МГц кратні, як частоті рядкової розгортки стандарту телевізійного розкладання 625/50, так і частоті розгортки стандарту 525/60. Власне, вибір в якості базової саме частоти 3,375 МГц багато в чому пов'язаний з міркуваннями кратності з частотами рядкової розгортки двох світових стандартів розкладання. Це важливо тому, що дозволило ввести єдиний світовий стандарт цифрового кодування компонентного відеосигналу, при якому в активній частині рядка міститься 720 відліків сигналу яскравості і по 360 — кожного кольорорізнисного сигналу.

Різниця в системах 625/50 і 525/60 полягає в різних кількостях рядків та тривалостей інтервалів гасіння.

Повна швидкість передачі цифрового компонентного відеосигналу при студійному десятирозрядному ($n = 10$, число рівнів квантування $N=2^n = 1024$) амплитудному квантуванні становить

$$V_{max} = nF_s + n F_s/2 + n F_s/2 = 10 \times 13,5 + 10 \times 6,75 + 10 \times 6,75 = 135 + 67,5 + 67,5 = 270 \text{ Мбіт/с}, \quad (1.1)$$

а необхідна смуга частот каналу (при двійковій передачі в смузі Найквіста) — 135 МГц.

Повна швидкість передачі цифрового компонентного відеосигналу при кодуванні 8 бітів/відлік ($n = 8$, число рівнів квантування $N = 256$) становить 216 Мбіт/сек. Необхідна смуга — 108 МГц.

Знаходять застосування і інші формати представлення компонентного сигналу в цифровому вигляді (4:1:1, 3:1:1, 4:4:4), що забезпечують різну розрізняючу спроможність (якість зображення) і відповідно вимагають різної швидкості передачі. Наприклад, кодування в форматі 4:4:4 передбачає використання частоти дискретизації 13,5 МГц для всіх трьох компонентів: R , G , B або Y , C_r , C_b . Це означає, що всі компоненти передаються в повній смузі. Для кожного компонента в активній частині кадру оцифровується 576 рядків по 720 елементів. Швидкість цифрового потоку при 10-бітовому слові становить 405 Мбіт/с, а необхідна смуга — 202,5 МГц.

Таким чином, в результаті аналого-цифрового перетворення кольорового телевізійного сигналу результуючі цифрові потоки і необхідні для їх передачі смуги частот надзвичайно великі. Потрібне скорочення надмірності — компресування цифрової інформації для істотного зниження швидкості цифрових потоків, зробити її прийнятною як для існуючої мережі телевізійного мовлення, так і інших загальнодоступних бездротових систем цифрового зв'язку.

Сучасні алгоритми і стандарти стиснення кодованих зображень базуються на скороченні наступних видів надмірності:

- *просторова*, так як елементи зображення (пікселі) не є незалежними, а корельовані в межах певної області зображення, то можна передати значення лише одного пікселя, а решту передбачити;

- *часова*, оскільки кореляція між пікселями в послідовності кадрів рухомого зображення зберігається, то передбачення і компенсація руху можуть бути поширені і на кілька кадрів;

- *ентропійна*, враховуючи що змінюється відео- або аудіосигнал квантовано, тобто замінюється дискретно, то для квантованих рівнів можна використовувати кодування Хаффмана, при якому довжина кодової комбінації обернено пропорційна частоті появи рівнів;

- *психовізуальна*, пов'язана з нездатністю людського ока розрізнити дуже дрібні деталі і швидкі колірні переходи.

Таким чином, **кодуєчий пристрій компонентного ТВ сигналу**, крім матриці, перетворюючої RGB в $Y C_r C_b$ сигнали, які відповідають фільтрам і АЦП, має містити додатково **стискаючий кодер**, який скорочує зазначені види надмірностей. Узагальнена структурна схема такого пристрою наведена на рис. 1.4.

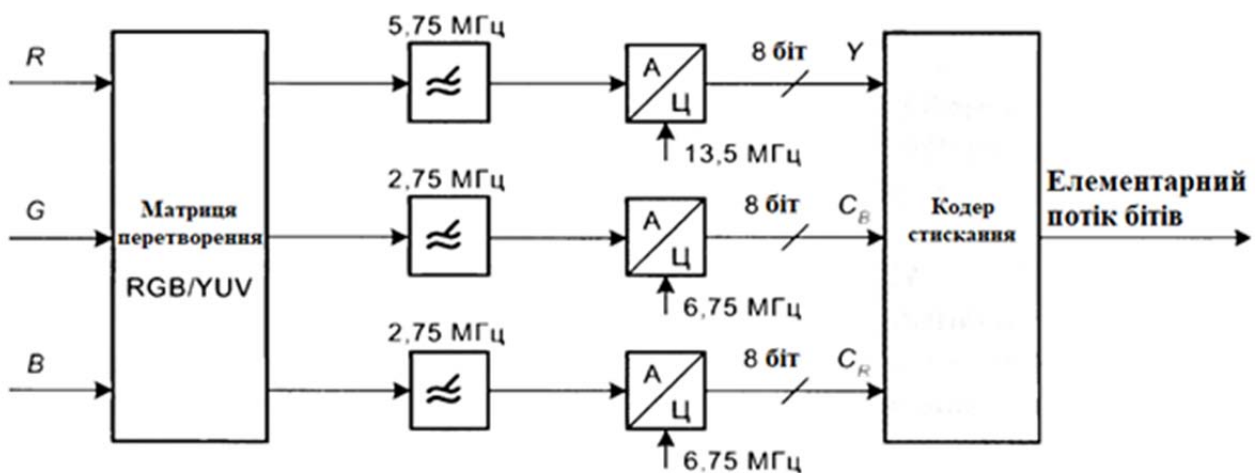


Рисунок 1.4 — Структурна схема кодера компонентного ТВ сигналу

1.3 Принципи стиснення

При передачі телевізійного зображення усунення локальної надмірності (надмірності окремих кадрів зображення) досягається методами стиснення статичних зображень з використанням дискретного косинусного перетворення (DCT) та квантування. Для усунення міжкадрової надмірності, оскільки телевізійне зображення не змінюються різко, а сусідні кадри досить схожі, застосовується алгоритм компенсації руху. Зображення ділиться на блоки і поблизу кожного з них шукається схожий блок у іншому кадрі (motion estimation). Так формується поле векторів руху. А вже при компенсації (motion compensation) враховуються вектора руху, і створюється зображення вцілому схоже на вхідний кадр. Вихідна міжкадрового різниця значно більше, ніж різниця між вхідним і компенсованими кадрами.

Для підвищення ступеня стиснення з мінімальними втратами відеозображення розбивається на окремі сцени. Кодер повинен бути чутливий до зміни сцен. Кадр початку нової сцени після усунення локальної надмірності логічно зберегти «як є», оскільки він ні на що, що раніше зустрічалося несхожий. Такі кадри називають опорними **I-кадрами** (I-frame). А далі йдуть кадри, до яких застосовувалася компенсація руху, тобто вони залежать від опорного кадру і один від одного. Це можуть бути **P-кадри** (P-frame) або **B-кадри** (B-frame). Перші можуть спиратися тільки на попередні кадри, а другі як на попередні, так і наступні. I-кадр і всі пов'язані з ним утворюють **GOP** (group of pictures). Використання **B-кадрів** істотно прискорює процеси компресії і декомпресії, оскільки попередні **P-кадри** не потрібно повторно кодувати (декодувати). Крім того, вони мають найменший розмір серед усіх кадрів і найбільш нижчу якість. Але швидке чергування з більш якісними кадрами робить це малопомітним для глядача.

Навіть після виконання всіх стискаючих процедур відеопотік має надмірність. Тому далі можуть застосовуватися різні методи стиснення без втрат. У кодекі h.264, наприклад, є два варіанти алгоритму **SAVAS** і **SAVLC**, що реалізують арифметичне стиснення з потужною ймовірнісною моделлю та метод Хаффмана з більш простою моделлю.

1.3.1 Особливості стандарту MPEG-2

У 1988 році для розробки методів стиснення і відновлення цифрового відеосигналу була організована спеціальна група експертів — Motion Pictures Expert Group (MPEG). У сучасних системах цифрового телебачення для стискаючого кодування та декодування зображення і звуку використовується група алгоритмів, схвалена робочою групою Moving Pictures Experts Group і мають загальну назву — стандарти MPEG. Це не точні стандарти реалізації апаратних засобів, а опис можливих шляхів стиснення

і мультиплексування набору стислих сигналів відео, аудіо та даних в потік, що складається з цифрових пакетів. Стандарти MPEG схвалені Міжнародною Організацією Стандартизації (ІСО) і опубліковані як міжнародний стандарт ISO / IEC 13818 [4].

Стандарт — це специфікація (опис) алгоритму стиснення (наприклад, H.264), конкретна його програмна реалізація називається кодеком (наприклад, h.264).

Найбільш широко для компресії компресії відеозображень та звуку в цифровому телебаченні DVB використовуються стандарти MPEG-2 та MPEG-4, а починаючи з 2019 року — стандарт H.265 (High Efficiency Video Coding — HEVC).

Стандарти MPEG-2 та MPEG-4 поєднують внутрішньокадрове кодування, спрямоване в основному на зменшення психофізіологічної надмірності в окремих кадрах, і міжкадрове кодування, за допомогою якого зменшується надмірність, обумовлена міжкадровою кореляцією. Цілі кадри і фрагменти можуть кодуватися із застосуванням спільно міжкадрового та внутрішньокадрового кодування (так званий *гібридний* метод) або тільки із застосуванням внутрішньокадрового кодування.

Стандарт MPEG-2 складається з трьох основних частини:

13818-1 Systems — встановлює правила об'єднання потоків;

13818-2 Video — регламентує кодове подання і процес декодування, стиснення потоку за рахунок усунення просторової і тимчасової надмірності;

13818-3 Audio — визначає кодове подання сигналів звукового супроводу.

Подання сигналів у формі MPEG-2 дозволяє передавати відео та звукові потоки як з потоки комп'ютерних даних.

У цифровому телебаченні MPEG-2 активно застосовується як стандарт, який визначає структуру транспортних потоків і способи передачі даних. Стандарт MPEG-2 навмисно не визначає способи стиснення зображення (звуку), він лише вказує, як має бути оформлено стиснене зображення (звук). Стандарт не визначає, яким чином повинен бути реалізований кодер або декодер MPEG-2, він визначає тільки структуру даних. Це дає можливість учасникам ринку конкурувати один з одним за створення більш якісних пристроїв і алгоритмів.

Потік відеоданих являє собою ієрархічну структуру, об'єднану між собою певними синтаксичними і семантичними правилами (див. Рис. 1.5). Ієрархічна структура кодування MPEG-2 представлена на рис.1.6. Ієрархія відеопотоку виділяє кілька рівнів: власне сам відеоряд (sequence), група кадрів (GOP, Group Of Pictures), зріз або вирізка (slice), макроблок (macro-block) і блок (block).

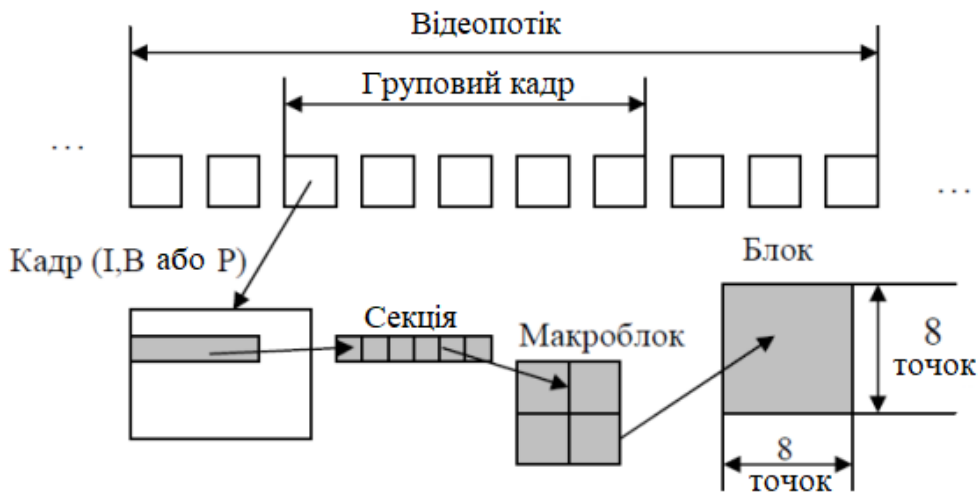


Рисунок 1.5 — Структура відеопотоку MPEG-2

Відеоряд (послідовність кадрів) — елемент потоку відеоданих вищого рівня. Являє собою серію послідовних кадрів телевізійного зображення. MPEG-2 допускає порядковий або черезрядкові послідовності, тобто, MPEG-2 підтримує відео та в прогресивної, і в чергуванням розгортці.

Кадр є одиницею кодування інформації відеоряду.

Зріз — це один або кілька суміжних макроблоків, які впорядковані зліва-направо і зверху-вниз. Групування макроблоків в зріз дозволяє посилити стійкість до збоїв і помилок в потоці.

Макроблок складається з 4-х фрагментів кадру — блоків. У свою чергу блок являє собою квадратну матрицю 8x8 яскравості або насиченості.

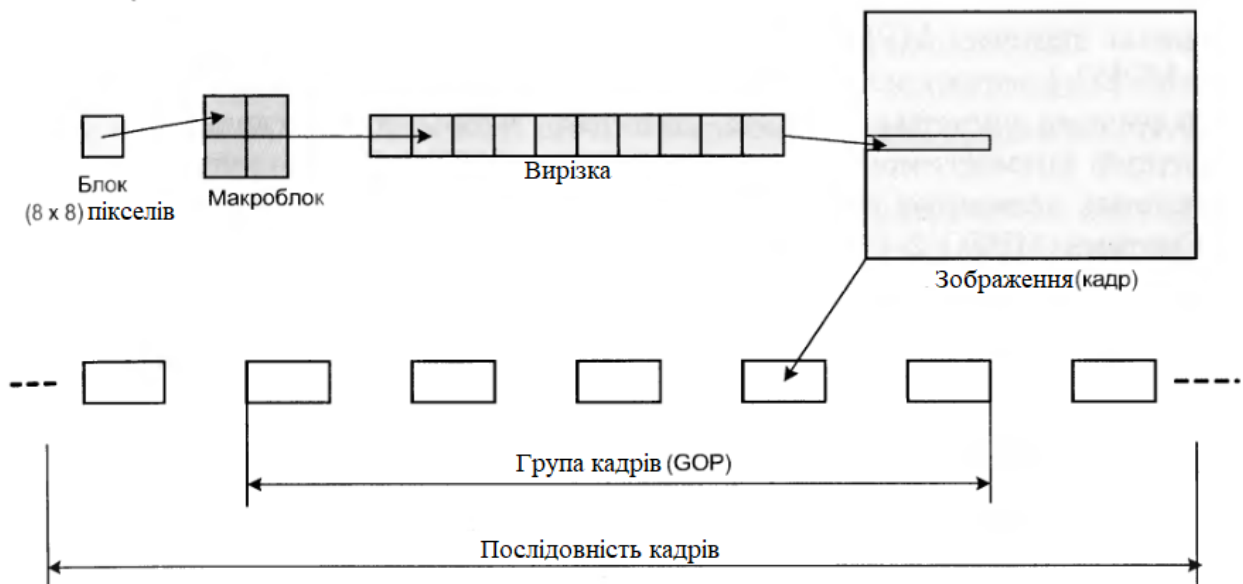


Рисунок 1.6 — Ієрархічна структура кодування MPEG-2

Кожне **зображення (кадр)** являє собою три прямокутних матриці відліків зображень (див. Рис. 1.4): яскравості Y та дві кольоровості C_B і C_R . Стандарт MPEG-2 допускає різні структури матриць (4: 2: 0; 4: 2: 2; 4: 4: 4).

Зображення ділиться на **вирізки (слайси)**, які складаються з групи послідовних **макроблоків**. Макроблок містить **блоки** розміром 8×8 елементів зображення (пікселів); групу з чотирьох блоків з відліками яскравості Y і групи блоків з відліками кольоровості C_r і C_b , число яких залежить від формату (по 1, по 2 або по 4 блоки). Число макроблоків у слайсі може бути довільним, головне, щоб слайси зображення не перекривалися. Всі структурні елементи потокового відео, отримані в результаті внутрішньокадрового та міжкадрового кодування (крім блоку і макроблоку), доповнюються спеціальними і унікальними стартовими кодами («Тема — елементи»). У заголовку наводиться різноманітна додаткова інформація, наприклад, розміри і співвідношення сторін зображення, частота, кодування, швидкості потоку, матриця квантування, формат дискретизації кольорового зображення, координати основних кольорів і білого кольору, параметри матриці для формування яскравості і кольорорізницевих сигналів та ін.

Оскільки послідовність передачі кадрів не збігається з послідовністю їх відтворення, то на рівні пакетованого елементарного потоку додаються тимчасові мітки декодування (DTS) і уявлення (PTS), які несуть інформацію про необхідні моменти часу декодування та відображення кадрів.

Таким чином, в процесі кодування створюється досить складна ієрархічна структура: блок, макроблок, слайс, кадр, група кадрів, послідовність кадрів.

MPEG-2 використовується для загального стиснення рухомих зображень і звуку і визначає формат відеопотоку, який може бути представлений трьома типами кадрів (див. Рис.1.7):

I-кадри (Intra-coded picture) — вихідні або опорні незалежно стиснені кадри кодуються з використанням тільки тієї інформації, яка міститься в самому зображенні. У них усувається тільки просторова надмірність відеоданих;

P-кадри (Predictive-coded picture) — кадри, стиснені з використанням передбачення руху в одному напрямку, що містять різницю між поточним зображенням і попереднім I-кадром або P-кадром і враховують зміщення окремих фрагментів. Кодується різниця між вихідним зображенням та передбаченням, отриманим на основі попереднього або наступного зображення типу I або P;

B-кадри (Bidirectionally-coded picture) — двонаправлені кадри, що містять відсилання до попередніх або наступних зображень (I або P) з урахуванням зсувів окремих фрагментів. При кодуванні використовується передбачення, що формується на основі попереднього і наступного зображень I або P.

Відповідні групи кадрів від одного I-кадру до іншого утворюють **GOP** (Group Of Pictures) — групу кадрів (див. Рис. 1.7).

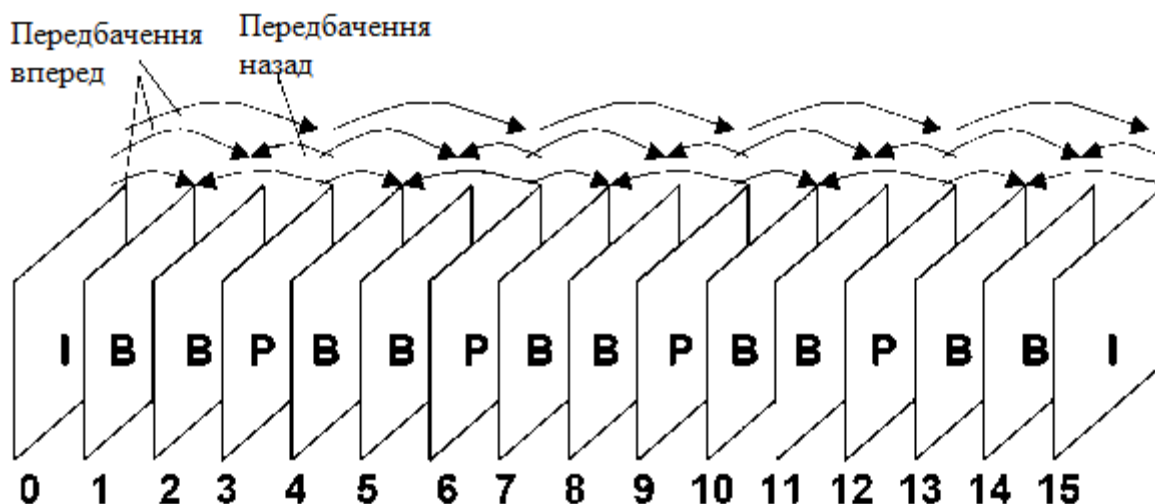


Рисунок 1.7 — Відеопослідовність трьох видів зображень з передбаченнями (стрілками вказані напрямки передбачень)

Всі структурні елементи потокового відео, отриманих в результаті внутрішньокадрового та міжкадрового кодування (крім блоку і макроблоку), доповнюються спеціальними і унікальними стартовими кодами («Тема — елементи»). У заголовку наводиться різноманітна додаткова інформація, наприклад, розміри і співвідношення сторін зображення, частота, кодування, швидкості потоку, матриця квантування, формат дискретизації кольорового зображення, координати основних кольорів і білого кольору, параметри матриці для формування яскравості і цветоразностних сигналів і ін.

У відеопотоці основне місце займають **I-кадри**, стискувані без використання додаткової інформації, як статичні зображення, тому розгляд проблем стиснення статичних зображень є важливим завданням в рамках розробки систем відеостиснення. Зокрема, світовий стандарт MPEG-2 використовує стандарт стиснення зображень JPEG для I-кадрів. Стандарт MPEG-4 part 10 (AVC) використовує вже більш складну схему стиснення I-кадрів.

Скорочення просторової надмірності **I-кадрів** зображення виконується на рівні блоку. Набір операцій такого кодування: *дискретне косинусне перетворення; зважене квантування; ентропійне квантування* (кодування серії коефіцієнтів косинусного перетворення, отриманого в результаті діагонального сканування матриці).

У форматі MPEG використовується дискретне косинусне перетворення ДКП (DCT — Discrete Cosine Transform) [3]. Наприклад, при квадратному зображенні розміром $N \times N$, пряме (FDCT — Forward Cosine Transform) і зворотне перетворення (IDCT — Inverse Cosine Transform) мають вигляд:

$$t(i, j) = c(i) c(j) \sum_{k=0}^{N_1-1} \sum_{l=0}^{N_1-1} I(k, l) \cos \frac{(2k+1)\pi i}{2N} \cos \frac{(2l+1)\pi j}{2N} \quad (1.2)$$

$$I(k,l) = c(i) c(j) \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} t(i,j) \cos \frac{(2k+1)\pi i}{2N} \cos \frac{(2l+1)\pi j}{2N}, \quad (1.3)$$

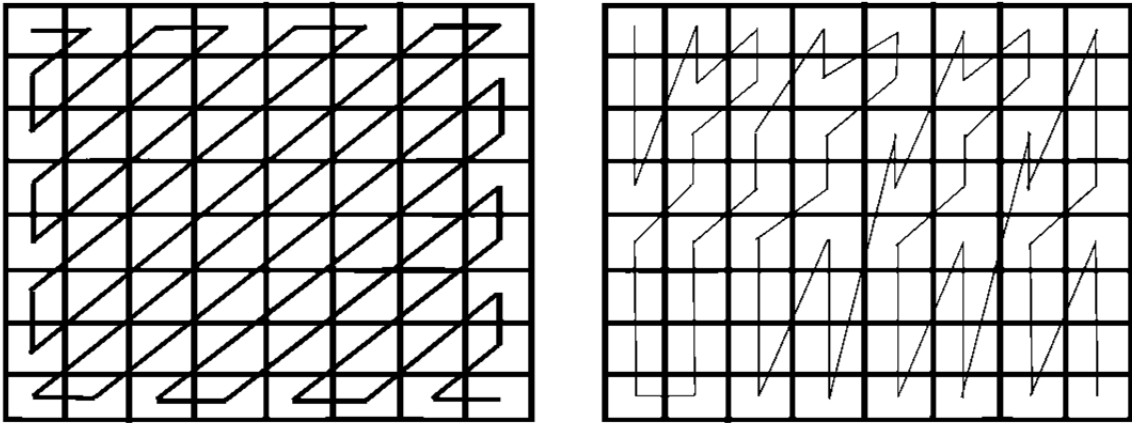
де $i, j = 0 \dots N-1$;

$$c(i) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}}, & i = 0 \\ 1, & i \neq 0 \end{cases}$$

Перед тим як застосувати ДКП, зображення розбивається на блоки розміром 8 x 8 пікселів. Потім до них застосовується ДКП. Деякі коефіцієнти можна зберігати приблизно, тому що око не зможе помітити досить маленьких змін. Операція округлення коефіцієнтів називається квантуванням і виконується за формулою

$$\begin{pmatrix} q_{11} & \dots & q_{18} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ q_{81} & \dots & q_{88} \end{pmatrix} \otimes \begin{pmatrix} t_{11} & \dots & t_{18} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ t_{81} & \dots & t_{88} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} T_{11} & \dots & T_{18} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ T_{81} & \dots & T_{88} \end{pmatrix}. \quad (1.4)$$

Далі застосовується зигзагоподібний обхід матриці для отримання довгих послідовностей нулів (див. Рис. 1.8). Потім використовується стиснення без втрат спочатку RLE, а потім метод Хаффмана з фіксованою таблицею.



а)

б)

Рисунок 1.8 — Зигзаг упорядкування: а) нормальний, б) альтернативний

Таким чином, алгоритм стиснення передбачає наступну послідовність операцій: розбиття зображення на блоки; застосування до них перетворення (FDCT); квантування; зигзаг упорядкування; стиснення.

При відновленні зображення (декомпресії) цей же алгоритм реалізується у зворотному порядку.

Для підвищення точності передбачення використовується компенсація руху: оцінюється швидкість переміщення руху об'єктів від кадрів

і при певних передбаченнях проводиться корекція в положенні опорного зображення, по відношенню до якого знаходиться помилка передбачення. Визначення величини і напрямку зсуву (вектор руху) проводиться на рівні макроблоків. Оцінка вектора — складна процедура, саме вона визначає асиметрію кодека MPEG-2, проте в цьому напрямку ведуться роботи, тому що ця процедура не визначена жорстко. Стандарт передбачає скорочення не тільки просторової, а й часової надмірності. Після компресії обсяг зображення Р телевізійних сюжетів становить 35% від I, В — 25% від I. При цьому в три рази зменшується швидкість потоку даних. Спотворення ж пов'язані з рухом (на відміну від JPEG) помітні тим менше, чим швидше рухаються зображення.

У разі черезрядковості кожен кадр складається з двох полів. Перше поле містить непарні рядки кадру, а друге поле — парні рядки. При цьому можливі два варіанти кодування на інших ділянках зображення, вибір одного з яких здійснюється на основі оцінки руху в ньому.

У разі кадрового кодування кодується повний кадр, який зберігається в пристрої пам'яті кодера. Кадрове кодування вибирається у випадках, коли зміни в другому полі кадру щодо першого поля того ж кадру незначні.

У разі польового кодування кодується кожне поле окремо. Перше поле кадру може використовуватися для передбачення макроблоків другого поля й навпаки.

Режими роботи кодера компресії. Можливо два основні режими роботи кодера компресії — з *постійною швидкістю потоку* і з *постійним рівнем якості декодуємого зображення*.

Управління ступенем компресії можливо зміною параметрів матриці квантування (більш грубе квантування). Однак ростуть і незворотні спотворення зображення через шуми квантування.

У режимі з *постійною швидкістю* потоку здійснюється безперервна зміна коефіцієнтів матриці квантування. Чим дрібніше деталі і чим активніше зображення, тим більш грубе квантування. Тому буде більше спотворень і артефактів. Такий режим використовується при передачі по каналах зв'язку з фіксованою пропускнуою здатністю (цифрові супутникові, кабельні, наземне телевізійне мовлення).

У режимі з *постійною якістю* використовується фіксована матриця квантування, але при цьому швидкість потоку стиснених даних є змінною. Відповідно, чим більше деталей, вище активність зображення, тим більше швидкість потоку. Такий режим можна використовувати при записі на дисковій носії в умовах відсутності обмеження на обсяг, проте можливі обмеження на швидкість відтворення — вона не може бути довільно великий.

Якщо запис компресійного потоку проводиться не в умовах реального часу, то можна використовувати і інші способи управління швидкістю.

Наприклад, виконувати компресію в два проходи. На першому підбираються параметри, що забезпечують максимальну якість; на другому — проводиться компресія зі знайденими параметрами

Профілі MPEG-2. Для найбільшої ефективності застосування на практиці і сумісності обладнання стандарту MPEG-2 від різних виробників, виділено кілька підмножин синтаксису і семантики, звані профілями. Профіль — це підмножина стандарту для спеціалізованого застосування, що задає алгоритми та засоби компресії. Рівні всередині кожного профілю пов'язані з параметрами компресії зображення (табл.1. 1). Профілі MPEG-2: Simple — простий; Main — основний; SNR (Signal to Noise Ratio) — з масштабованим квантуванням; Spatial — з масштабованим просторовим дозволом; High — високий; 422 — студійний. Наприклад, профіль SNR, як і Spatial, підтримують всі типи зображень, використовуючи звичайне кодування на основі передбачення з компенсацією руху; 422 забезпечує повне вирішення, відповідне рекомендації ITU-R 601, монтаж з точністю до кадра, допускає багаторазовий перезапис.

Таблиця 1.1

Профілі стандарту MPEG-2

	Рівень	Simple	Main	SNR	Spatial	High	422
Профіль	Зображення	I i P	I, P i B	I, P i B	I, P i B	I, P i B	I, P i B
	Формат	4:2:0	4:2:0	4:2:0	4:2:0	4:2:0 4:2:2	4:2:2
High	Відл. На стор. Стор. В кадрі Кадрів в сек V_{max} , Мбіт/с	—	1920 1152 60 80	—	—	1920 1152 60 100	—
High — 1440	Відл.на стор. Стор. В кадрі Кадрів в сек V_{max} , Мбіт/с	—	1440 1152 60 60	—	1440 1152 60 60	1440 1152 60 80	—
Main	Відл. На стор. Стор. В кадрі Кадрів в сек V_{max} , Мбіт/с	720 576 30 15	720 576 30 15	720 576 30 15	—	720 576 30 20	720 608 30 50
Low	Відл. На стор. Стор. В кадрі Кадрів в сек V_{max} , Мбіт/с	—	352 288 30 4	352 288 30 4	—	—	—

Стандарт MPEG-2 не визначає захист від помилок, але передбачає таку можливість. Важливою особливістю стандарту є масштабованість, яка визначається як можливість отримання зображення з частини повного потоку даних.

Передбачені наступні види масштабованості [1]:

– масштабованість по просторовому вирішенню полягає в отриманні від одного джерела відеоінформації двох телевізійних сигналів з різними параметрами по спроможності. Базовий шар містить достатньо інформації для відтворення звичайної чіткості, а додатковий шар містить дані для відтворення зображення в високій чіткості;

– масштабованість по відношенню сигнал/шум дає можливість отримати від одного джерела інформації зображення з двома рівнями відношення сигнал/шум, фактично з двома рівнями якості, як це було розглянуто в 1.2;

– масштабованість за часом дозволяє отримувати від одного джерела відеоінформації з двома рівнями роздільної здатності за часом — чергуванням рядків 25 Гц, або прогресивної 50 Гц;

– масштабованість з розділення даних дозволяє використовувати для передачі два канали зв'язку. По одному з них (понад перешкодозахищеністю) передається базовий шар, інакше (відповідно, менш захищеним) менш критичні до помилок дані.

Застосування стандарту MPEG-2 в мовному телебаченні дозволяє значно знизити обсяг переданих в одиницю часу відео і звукових даних і за рахунок цього передавати декілька цифрових програм в смузі частот одного стандартного радіоканалу ефірного, кабельного або супутникового телевізійного мовлення. Наприклад, в системах супутникового телевізійного мовлення стиснення ТВ сигналу в стандарті MPEG-2 дозволяє передавати по одному каналу до п'яти цифрових програм, при професійній якості відеосигналу.

Для цифрового супутникового телебачення, що використовує MPEG-2, з роздільною здатністю 720 на 576 точок максимальна швидкість інформаційного потоку 15 Мбіт / сек, а практично використовувана швидкість потоку — 3–4 Мбіт / сек. На одному транспондері (приймачі — передавачі) на супутнику зазвичай вміщується 8–12 каналів [5].

1.3.2 Особливості стандарту MPEG-4 (H.264)

Новим кроком у розвитку алгоритмів стиснення зображення став стандарт MPEG-4. Ідея стандарту MPEG-4 полягає не в стандартизації одного продукту, а об'єднанні кількох підстандартів з яких постачальники можуть вибрати один, найбільш відповідний їх завданням.

Стандарт MPEG-4 (H.264) Part 10 або AVC (Advanced Video Coding) — ліцензований стандарт стиснення відео, призначений для досягнення високого ступеня стиснення відеопотоку при збереженні високої якості. Він містить ряд нових можливостей, що дозволяють значно підвищити ефективність стиснення відео в порівнянні з попередніми (такими, як ASP) стандартами, забезпечуючи також більшу гнучкість застосування в різноманітних

мережевих середовищах [5]. У порівнянні з MPEG-2 (DVD-Video) та MPEG-4 ASP (DivX, XviD), стиснення H.264 працює істотно більш ефективно, забезпечуючи кращу якість зображення і менший обсяг файлу.

MPEG4 використовує технологію так званого фрактального стиснення зображень. Фрактальне (контурно-засноване) стиснення має на увазі виділення із зображення контурів і текстур об'єктів. Контури представляються у вигляді т.зв. сплайнів (поліноміальних функцій) і кодуються опорними точками. Текстури можуть бути представлені в якості коефіцієнтів просторового частотного перетворення (наприклад, дискретного косинусного або вейвлет-перетворення). Діапазон швидкостей передачі даних, який підтримує формат стиснення відео зображень MPEG-4, набагато ширше, ніж в MPEG-2. Подальші розробки фахівців спрямовані на повну заміну методів обробки, використовуваних форматом MPEG-2. Формат стиснення відео зображень MPEG-4 підтримує широкий набір стандартів і значень швидкості передачі даних. MPEG-4 включає в себе методи прогресивного та черезстрокового сканування і підтримує довільні значення швидкості передачі даних в діапазоні від 5 кбіт/с до 10 Мбіт/с. В MPEG-4 вдосконалений алгоритм стиснення, якість і ефективність якого підвищено при всіх підтримуваних значеннях швидкості передачі даних.

1.3.2.1 Можливості стандарту H.264

1) Багатокадрове передбачення. Використання стиснених раніше кадрів як опорних (тобто із запозиченням частини матеріалу з них) куди більш гнучко, ніж в попередніх стандартах. Дозволяється використання до 32 посилок на інші кадри, тоді як в ASP і більш ранніх число посилок обмежене одним або, в разі В-кадрів, двома кадрами. Це піднімає ефективність кодування, так як дозволяє кодеру вибирати для компенсації руху між великою кількістю зображень. У більшості сцен дана функція забезпечує не дуже велике поліпшення в якості і не дає помітного зниження бітрейта. Однак, для деяких сцен, наприклад, з часто повторюваними ділянками, зворотно-поступальним рухом і т. П. Даний підхід при збереженні якості дозволяє дуже сильно знизити витрати бітрейта [6].

2) Незалежність порядку відтворення зображень і порядку опорних зображень. У попередніх стандартах встановлювалася жорстка залежність між порядком проходження зображень для використання при компенсації руху і порядком проходження зображень при відтворенні. У новому стандарті ці обмеження значною мірою усунуті, що дозволяє кодеру вибирати порядок зображень для компенсації руху і для відтворення з високим ступенем гнучкості, яка обмежена тільки об'ємом пам'яті, який гарантує можливість декодування. Усунення обмеження також дозволяє в ряді випадків усунути додаткову затримку, раніше пов'язану з двонаправленим передбаченням.

3) Незалежність методів обробки зображень і можливості їх використання для передбачення руху. У попередніх стандартах зображення, закодовані з використанням деяких методів (наприклад, двонаправленого передбачення), не могли використовуватися в якості опорних для передбачення руху інших зображень відеопослідовності. Усуваючи це обмеження, новий стандарт забезпечує кодеру велику гнучкість і, в багатьох випадках, можливість використовувати для передбачення руху зображення, ближче за змістом до кодованого.

4) Точність до чверті пікселя при компенсації руху забезпечує дуже високу точність опису рухомих областей (що особливо актуально для повільного руху). Кольоровість, як правило, зберігається з розрізняючою спроможністю, зменшеною вдвічі по вертикалі і горизонталі (проріджування кольору), тому компенсація руху для компонента кольоровості використовує точність в одну восьму пікселя кольоровості.

5) Квантування — логарифмічне управління довжиною кроку для спрощення розподілу бітрейта кодером і спрощеного обчислення зворотної довжини квантування.

6) Частотно-оптимізовані матриці масштабування квантування, які обираються кодером для оптимізації квантування на основі людських особливостей сприйняття (підтримується не у всіх профілях).

7) Розбиття даних — функція, що забезпечує поділ даних різної важливості (наприклад, вектори руху та інша інформація передбачення має велику значимість для подання відеоконтенту) по різних пакетах даних з різними рівнями захисту від помилок (підтримується не у всіх профілях).

8) Надлишкові частини. Можливість здійснення кодером надлишкового представлення областей зображень, дозволяючи відтворити області зображень (зазвичай з деякою втратою якості), дані про яких були втрачені в процесі передачі (підтримується не у всіх профілях).

9) Нумерація кадрів, що дозволяє створення «підпослідовностей» (включаючи тимчасове масштабування включенням додаткових кадрів між іншими) а також виявлення (і приховування) втрат цілих кадрів при збоях каналу або зникнення пакетів [1].

1.3.2.2 Переваги та основні недоліки стандарту H.264

У порівнянні з MPEG-2 (DVD-Video) та MPEG-4 ASP (DivX, XviD), стиснення H.264 працює істотно більш ефективно, забезпечуючи кращу якість зображення (аж до недосяжного для MPEG-2 і MPEG-4 ASP рівня) і менший обсяг файлу.

Головним недоліком H.264 є помітно більш високі вимоги до обладнання для кодування і відтворення відеофайлів [6].

Формат запатентований, і творці кодеків зобов'язані платити за їх поширення шляхом покупки ліцензій. З 2011 року MPEG LA могла б почати стягувати плату і з тих, хто бере участь в кодуванні і/або безкоштовне надання користувачам відеопотоку в AVC. Однак пізніше цей термін був змінений на 2015 рік, а 26 серпня 2010 року компанія MPEG LA оголосила, що за безкоштовне надання користувачам відеопотоку в H.264 плата стягуватися не буде.

H.264 прийнятий як стандарт для стиснення відео високої чіткості (HD, HDTV), розповсюдженого на оптичних носіях нового покоління — Blu-ray і HD DVD, використовується в мобільних пристроях, підтримується в Apple QuickTime, набуває поширення в системах цифрового телемовлення, відеоконференцзв'язку, відеоспостереження та ін. Adobe Flash Player, який є стандартом де-факто для мультимедійних web-додатків і онлайн-місць для розміщення відеофайлів на кшталт YouTube, підтримує пряме відтворення H.264-відео починаючи з версії 9.0.115, що вийшла в кінці 2007 р. [6].

Для відтворення відеофайлів формату H.264 достатньо встановити наступні безкоштовні програмні продукти: Haali Media Splitter — для читання даних з контейнерів MKV і MP4; ffdshow tryouts — універсальний декодер з підтримкою H.264; AC3Filter — для декодування звукового потоку AC3; програмний плеєр Media Player Classic, VLC media player або який-небудь ін.

1.3.3 Особливості стискуючого кодування HEVC (H.265)

H.265 або HEVC (High Efficiency Video Coding) — це новий стандарт стиснення відео, в якому застосовуються більш ефективні алгоритми, ніж в стандартах H.264. Новий стандарт має більший ступінь стиснення рухомих зображень. Підтримуються формати кадру до 8K (UHDTV) з розрізненням 8192×4320 пікселів.

Структурна схема кодека H.265 подібна до схем кодеків попередніх стандартів (рис. 1.9). В новому кодеку також використовується внутрішньокадрове та міжкадрове передбачення руху та двовимірне кодування з перетворенням [9, 10].

Подібно до H.264 у стандарті HEVC передбачається порівняння різних частин кадру відео, з метою знаходження зайвих повторюючихся ділянок як в межах одного кадру, так і між послідовними кадрами. Потім ці ділянки замінюються коротким описом замість вихідних пікселів. Основні зміни для HEVC включають розширення області порівняння зразків та кодування різниць зразків з 16×16 пікселів до розмірів до 64×64 , покращення сегментації зі змінним розміром блоку, покращення «внутрішнього» прогнозування в межах тієї самої картини, покращення руху

прогнозування векторів та злиття областей руху. Забезпечується також покращення фільтрації компенсації руху та додаткова адаптаційна фільтрація зміщенням. Використання цих удосконалень забезпечує більші можливості обробки сигналу при стисненні відео, та менше впливає на обсяг обчислень, необхідних для декомпресії. При цьому в порівнянні з попередніми стандартами забезпечується підвищення якості зображення рухомих об'єктів при менших розмірах відео потоку.

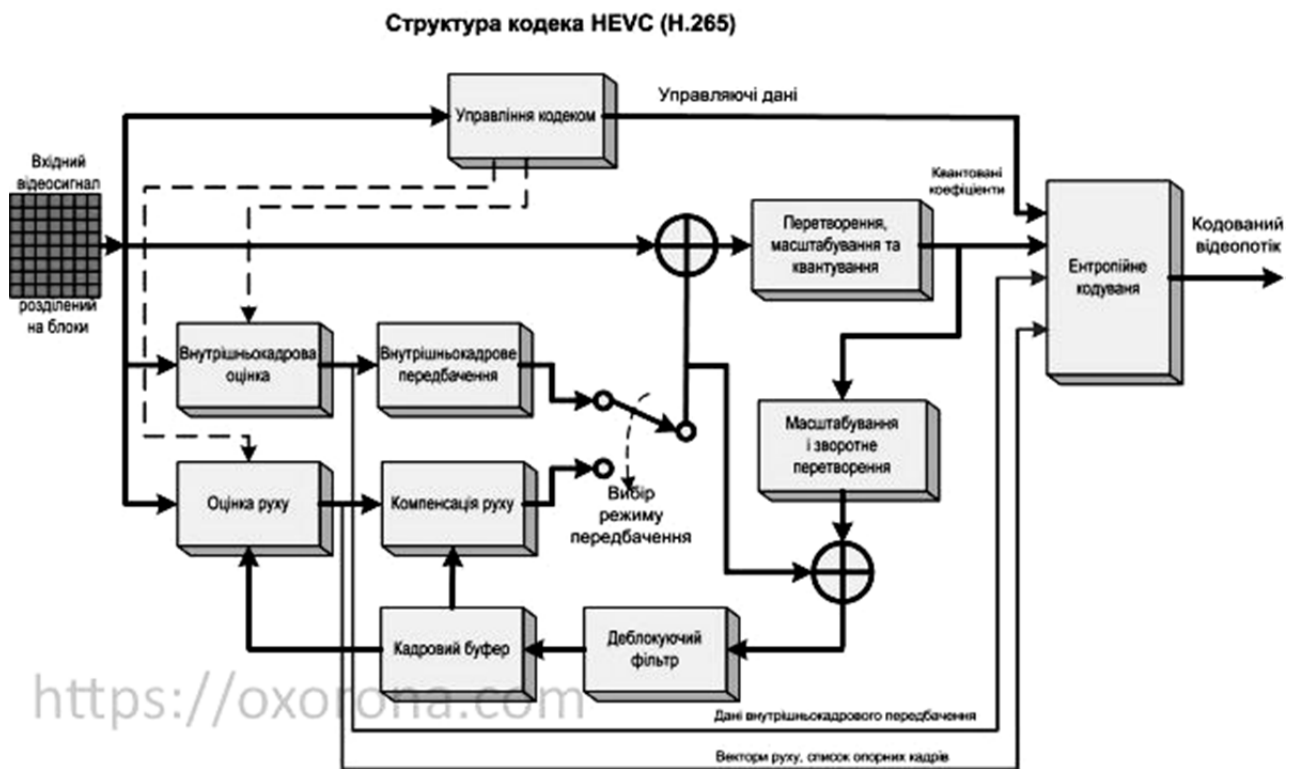


Рисунок 1.9 — Структурна схема кодека HEVC (H.265) [10]

1.4 Принципи завадостійкого каналного кодування сигналів зображення і звуку

1.4.1 Порядок операцій щодо захисту від помилок у передавальній та приймальній частинах систем цифрового телебачення

У сучасних системах цифрового телебачення застосовується каскадне кодування транспортного цифрового потоку MPEG-2, оскільки ймовірність помилок у використовуваних каналах зв'язку часто може бути настільки велика, що один каскад кодування не забезпечує необхідної завадостійкості.

Операції по захисту від помилок на передавальній стороні виконуються в наступному порядку:

- скремблювання;

- зовнішнє кодування з використанням коду Ріда — Соломона;
- зовнішнє перемеження;
- внутрішнє кодування (ближче до каналу зв'язку) — згорткове кодування.

У приймальній частині системи операції виконуються у зворотному напрямку:

- внутрішнє декодування згортальних кодів (алгоритм Вітербі),
- зовнішнє депереження,
- декодування Ріда — Соломона;
- дескремблювання.

Нижче розглядаються особливості та найважливіші характеристики перерахованих операцій щодо захисту цифрових телевізійних сигналів від помилок.

1.4.2 Принципи скремблювання

Для передачі цифрових даних на великі відстані використовується послідовна передача, коли всі біти відліку передаються по одній фізичній лінії методом часового ущільнення (мультиплексування). Зрозуміло, при цьому значно зростають тактова частота і загасання в каналі, проте сучасна техніка успішно справляється з такими труднощами. Однак всі операції обробки цифрових сигналів, аналого-цифрового і цифро-аналогового перетворення виробляються в паралельній формі. Перехід від послідовної до паралельної передачі і назад здійснюється за допомогою відповідних перетворювачів у паралельний (SPC — Serial to Parallel Convertor) або послідовний (PSC — Parallel to Serial Convertor) код [7]. В процесі передачі приймач повинен точно визначити, до якого часового інтервалу віднести той чи інший прийнятий біт, і це завдання тактової синхронізації. Можливі кілька шляхів вирішення зазначеного завдання [8]. У цифровому мовленні істотне підвищення точності синхронізації забезпечується за рахунок каналного кодування, що забезпечує відсутність постійної складової, і скремблювання (рандомізації) цифрового потоку [8]. При цьому тактова частота окремо не передається, а виділяється на прийомі з корисних даних.

У найбільш поширеному послідовному інтерфейсі SDI (Serial Digital Interface — послідовний цифровий інтерфейс), описаному в Рекомендації BT.656 і стандарті SMPTE-259M, для підвищення надійності виділення тактової частоти використовується інвертований NRZ (Non Return to Zero) код і згорткове скремблювання. В якості вихідного використовується розглянутий вище цифровий компонентний сигнал «4: 2: 2» в паралельному форматі.

Вхідний цифровий потік має фіксовану довжину пакетів. Сумарна довжина пакета MPEG-2 транспортного мультиплексора 188 байт, який

включає в себе 1 байт синхронізації. Порядок обробки на передавальній стороні завжди починається зі старшого розряду синхроізуючого байта (рис. 1.9). Кожен пакет транспортного потоку починається з синхробайта 0x47. Ці синхробайти не скремблюються. Генерація ПСП повторюється після скремблювання кожних 8 пакетів транспортного потоку. Щоб забезпечити синхронізацію дескремблера в приймачі (циклову синхронізацію), синхробайт першого пакету в групі з 8 пакетів інвертують з 47_{HEX} у B8_{HEX}.

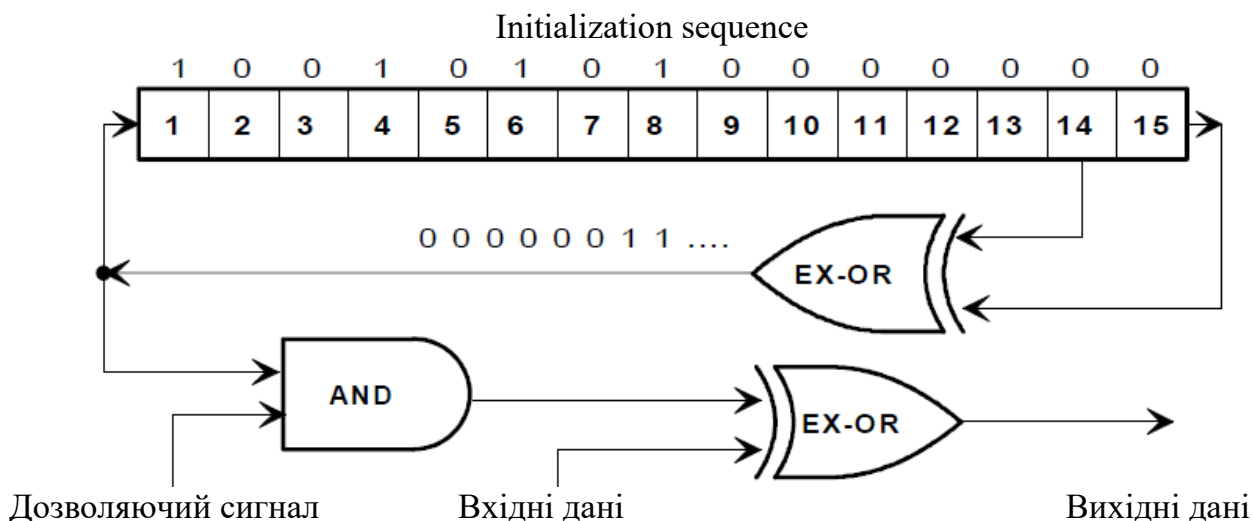


Рисунок 1.9 — Схема рандомізатора/дерандомізатора

Перший біт з виходу генератора псевдовипадкової двійкової послідовності повинен бути прив'язаний до першого біту інвертованого MPEG-2 синхронізуючого байта. Для підтримки інших функцій синхронізації, генератор псевдовипадкової послідовності постійно функціонує, але його вихід блоковано, залишаючи байти нерандомізованими. Період псевдовипадкової послідовності повинен бути 1503 байта.

В результаті скремблювання характеристики цифрового сигналу стають близькими до характеристик випадкового сигналу: усуваються довгі серії нулів і одиниць, кількості цих символів приблизно вирівнюються, а переходи між ними відбуваються у випадковому порядку. Це забезпечує більш точне відновлення тактової частоти. Крім того, вирівнюється енергетичний спектр сигналу, що також сприяє підвищенню завадостійкості. Ще одна функція скремблювання — шифровка сигналу для обмеження доступу до ТВ програм.

У приймачі виконується зворотна операція — дескремблювання. Вона полягає в сумуванні скрембльованого сигналу по модулю 2 з тієї ж самою псевдовипадковою послідовністю.

1.4.3 Принципи завадостійкого кодування

Одним із потужних засобів боротьби з помилками є коригувальні коди. Процес завадостійкого кодування полягає в тому, що набори з k інформаційних символів відображаються в кодові послідовності, що складаються з n символів, де $n > k$. Наявність надлишкових символів (їх ще називають перевірочними) дозволяє відстежувати появу помилок і при виявленні виправляти їх. Відношення $R=k/n$ називається *відносною швидкістю коду*. Природно, що при постійній інформаційній швидкості введення надмірності при кодуванні підвищує швидкість модуляції і розширює смугу використовуваних частот.

Для оцінки ефективності завадостійкого кодування порівнюють відношення енергії E_b , що припадає на один біт, до спектральної щільності потужності шуму N_0 в системі з кодуванням і в базовій системі без кодування і визначають різницю в значеннях E_b/N_0 при заданій ймовірності помилки (рис. 1.10). Ця різниця, яка вимірюється в децибелах і звана *енергетичним вигрешом коду* (ЕВК), може бути використана для порівняння різних кодів.



Рисунок 1.10 — Оцінка енергетичного вигрешу коду (ЕВК)

Для підвищення ефективності кодування в останні роки в техніці зв'язку широко застосовують каскадні коди — послідовне кодування символів двома різними кодами, як показано на рис. 1.11.

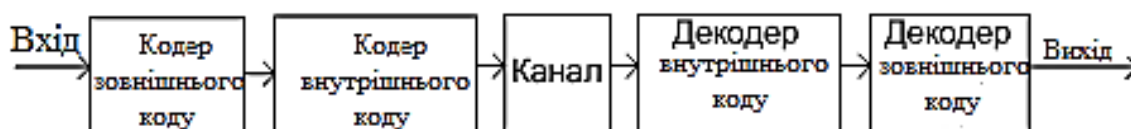


Рисунок 1.11 — Організація каскадного каналного кодування/декодування

Коди називаються *внутрішніми* та *зовнішніми* в залежності від того, яке положення по відношенню до каналу передачі вони займають. Зовнішній код — зазвичай код Ріда-Соломона, турбокоди та ін. Як внутрішні можуть використовуватися згорткові, короткі блокові коди та ін.

У табл. 1.2 наведено результуючий виграш кодування для різних комбінацій внутрішнього і зовнішнього кодів при двох значеннях ймовірності помилки — 10^{-5} та 10^{-8} [1, 9].

Таблиця 1.2

Енергетичний виграш для різних варіантів кодування

Варіант кодування	ЕВК	
	$P_{\text{ош}}=10^{-5}$	$P_{\text{ош}}=10^{-8}$
Ріда-Соломона + Вітерби	6,5...7,5	8,5...9,5
Ріда-Соломона + біртогональний	5...7	7...9
Ріда-Соломона + короткий блоковий	4,5...5,5	6,5...7,5
Вітерби	4...5,5	5...6,5
Блоковий код (жорстке рішення)	3...4	4,5...5,5
Згорткове кодування (порогове декодування)	1,5...3	2,5...4,0

Для оцінки виправної здатності коду використовують поняття кодової відстані $d_{\text{мін}}$ — найменшої з відстаней між будь-якою парою кодових послідовностей. Відстанню між двома послідовностями (його ще називають відстанню Хеммінга) називається число позицій, в яких вони відрізняються. Для обчислення відстані між двійковими послідовностями використовують посимвольне складання по модулю 2. При декодуванні помилка виявляється, якщо її кратність (кількість помилкових символів на довжині блоку) не перевищує $d_{\text{мін}} - 1$. Помилка буде виправлена при $t \leq [(d_{\text{мін}} - 1) / 2]$, де квадратні дужки означають цілу частину числа. Декодер, який декодує кожну прийняту послідовність найближчим до неї по відстані Хеммінга кодове слово, вибирає те кодове слово, умовна ймовірність передачі якого максимальна, і тому називається декодером максимальної правдоподібності.

Сучасна теорія кодів досить розвинена і містить детальну класифікацію [1.8]. Всі вживані коди можна розбити на дві великі групи: *блокові*, в яких кодування та декодування проводиться в межах певної ділянки кодової послідовності — блоку, і *деревовидні*, в яких обробка символів проводиться безперервно, без поділу на блоки. Частина кодів відноситься до розряду *лінійних*, в яких кодові послідовності представлені як елементи лінійного векторного простору. Нарешті, можна застосувати розбиття на *коди, що виправляють незалежні випадкові помилки*, і *коди, що виправляють пакетні помилки*. Незважаючи на появу потужних кодів, що виправляють пакетні помилки, часто виявляється більш вигідним використовувати *коди, що виправляють незалежні випадкові помилки, спільно з пристроями перемеження і відновлення*.

Лінійні деревовидні коди зветься *згортковими*, оскільки процес кодування можна представити як спеціальну лінійну операцію — згортку вхідної послідовності з імпульсним відгуком кодера. Згорткові коди при обчисленні вихідного символу враховують поточний вхідний символ і кілька попередніх. Загальна кількість врахованих символів K зветься кодовим обмеженням.

1.4.3.1 Зовнішнє кодування з використанням кодів Ріда-Соломона

Серед великої кількості блокових кодів найбільший інтерес представляють коди Ріда-Соломона — підклас кодів розмірністю $q=2^m$, m — ціле, у яких забезпечується теоретична мінімальна відстань між словами при заданій довжині блоку. Їх використовують для виправлення пакетних помилок (в поєднанні з перемежуванням), а також в каскадних системах кодування як зовнішні коди.

Здатність коду Ріда-Соломона коригувати кілька помилок обумовлена тією обставиною, що до вихідних даних додається кілька надлишкових символів і прийняте кодове слово ділиться не на один, а на кілька многочленів, даючи відповідне число синдромів. Нехай, наприклад, додані два символу. Тоді одночасне вирішення двох одержаних рівнянь дає значення двох невідомих, одна з яких визначає стан помилкового символу в кодовому слові і називається локатором, а інша дає структуру помилки і називається коректором. Для восьмибітових символів повна довжина кодового слова повинна становити $2^8 - 1 = 255$ символів, з них 239 інформаційних і 16 перевірочних. Для зменшення обсягу розрахунків та інших цілей код можна вкоротити, замінивши частину кодових слів нульовими кодовими комбінаціями на передачу і виключаючи відповідні символи при прийомі.

Перший ступінь кодування (*зовнішнє кодування*) з використанням кодів Ріда-Соломона виконується відразу ж після скремблювання у всіх видах цифрового ТБ мовлення. У кожен пакет транспортного потоку вводиться 16 перевірочних байтів, так що розмір пакета збільшується до $188 + 16 = 204$ байтів. Перевірочні байти розташовуються в кінці пакета. Значення перевірочних байтів обчислюються за значеннями всіх 188 інформаційних байтів пакета.

У декодері для кожного прийнятого транспортного пакета з 204 байт обчислюють положення помилкових байтів і значення помилок в них. Помилки коригуються, якщо це можливо. Якщо ж корекція неможлива (наприклад, помилкових байтів занадто багато) дані в пакеті не змінюються, а сам пакет, що містить невіправні помилки позначається шляхом установки прапора (перший біт після синхробайта). В обох випадках 16 перевірочних байтів видаляються, і після декодування довжина транспортного пакета стає рівною 188 байтів.

Основними параметрами застосовуваного коду Ріда — Соломона є відносна швидкість кодування R та виправна здатність коду t .

Відносна швидкість кодування становить:

$$R = 188 / 204 = 0,92.$$

Виправляюча здатність коду забезпечує корекцію до 8 байтів з помилками в кожному пакеті транспортного потоку, тобто виправна здатність $t = 8$ байтів.

1.4.3.2 Перемежування і деперемежування

Ефективним методом зменшення впливу пакетних помилок є *зовнішнє перемеження* або *перемішування* (англ. — interleaving). Дані перед передачею по каналу зв'язку переставляються в заданому порядку, а в приймальній частині відновлюється вихідний порядок, тобто виконується *деперемеження*. При цьому пакетна помилка, що виникла в каналі зв'язку, перетворюється в набір розосереджених в часі одиночних помилок, які простіше виявляються та виправляються за допомогою кодів, що виправляють одиночні розосереджені помилки.

Принцип виконання перемежування (зовнішнього) і деперемежування пояснюється простим прикладом на рис. 7. Вихідний цифровий сигнал являє собою послідовність 4-розрядних двійкових слів, переданих біт за бітом (рис. 1.13, а). Перемежування виконується в межах кожних 4 слів, тобто в межах відрізка цифрового сигналу, що містить 16 біт. Числа показують номер біта в цьому відрізку. В результаті перемежування біти переставляються (рис. 1.13, б). Біти, спотворені дією пакетної помилки, відзначені зірочками. В результаті деперемежування (рис. 1.13, в) відновлюється вихідний порядок бітів і спотворені біти розосереджуються та забезпечуються умови для ефективного виправлення локальних помилок декодером Ріда-Соломона.

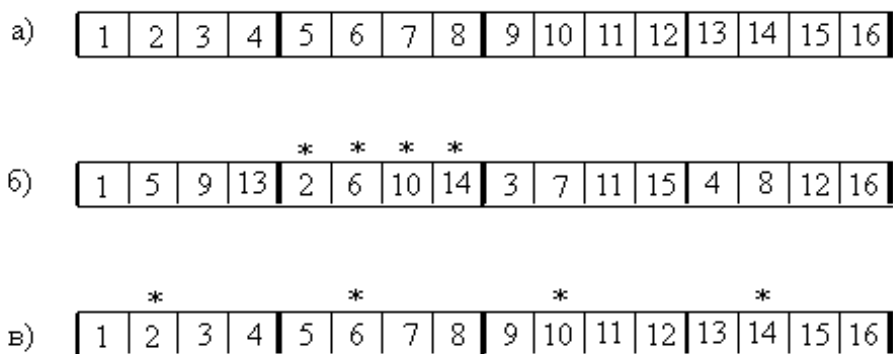


Рисунок 1.13 — Зовнішнє перемежування і деперемежування

1.4.3.3 Внутрішнє згорткове кодування

Згорткові коди використовуються при низькому відношенні сигнал-шум, коли виправна здатність блокових кодів при розумній довжині блоку виявляється недостатньо. Внутрішнє згорткове кодування здійснюється без поділу переданого повідомлення на блоки або кодові слова. Послідовність інформаційних символів безперервно надходить на вхід кодера, на виході якого формується послідовність переданих символів. Згорткові коди отримали широке застосування, тому що виявилися в багатьох випадках краще блокових при порівняній складності апаратної реалізації кодера і декодера.

Параметри згорткового кодера: пам'ять кодера k -число розрядів зсувного регістру, кодова швидкість k/n — відношення кількості символів у вхідній і вихідній послідовності, кодове обмеження — число символів вхідної послідовності, що впливають на символ вихідної послідовності. Приклад кодера з $k/n = 1/2$, наведено на рис. 1.13. Біти вхідної інформаційної послідовності вводяться по одному в зсувний регістр. За один такт комутатор знімає з сумматорів і видає на вихід кодера 2 біта. Кожен біт вихідної послідовності залежить від трьох бітів вхідної послідовності. Кодова швидкість може бути підвищена викреслюванням деяких символів на виході кодера (перфорація, виколювання коду) за певним алгоритмом.

Важливими параметрами згорткового коду є швидкість коду R , кодове обмеження D_0 та вільна відстань коду.

Швидкість коду R — це відношення кількості вхідних інформаційних бітів оброблюваних кодером одночасно до кількості вихідних бітів з кодера. Вона залежить від схеми кодера, тобто від кількості вхідних інформаційних бітів (одночасно зберігаються в пам'яті кодера) за якими будується вихідний код. Наприклад, $R = 1/2$ означає, що на один вхідний інформаційний біт кодер видає два вихідних біта. Швидкість коду може бути дорівнює також $2/3$, $3/4$, $5/6$, $7/8$.

Кодове обмеження K — число символів вхідної інформаційної послідовності, що запам'ятовуються в кодері і використовується для отримання вихідних символів. Наприклад, в схемі на рис. 1.13 кодове обмеження $K = 3$.

Вільна відстань коду — аналог мінімальної відстані Хеммінга між дозволеними кодовими словами блочного коду. Вільна відстань коду — кількість одиниць на виході кодера при вхідній інформаційної послідовності, що складається з однієї одиниці і всіх інших нулів. Наприклад, якщо на вході кодера інформаційна послідовність $0\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0$, то на виході кодера при швидкості коду $R = 1/2$ отримаємо $00\ 11\ 01\ 11\ 00\ 00\ 00$. Кількість одиниць стала 5, значить вільна відстань коду дорівнює 5.

Зручним засобом опису роботи кодера є гратчаста або мережева діаграма.

Гратчаста діаграма (trellis diagram) є зручним поданням процесу зміни станів згорткового кодера при надходженні на його вхід бітової послідовності. Приклад наведено для кодера з чотирма станами (див. рис. 1.14). Пунктирні лінії показують зміни станів під час надходженні на вхід кодера нуля, суцільні лінії — при надходженні одиниці. Кожен перехід позначений відповідною кодовою комбінацією, що з'являється на виході кодера.

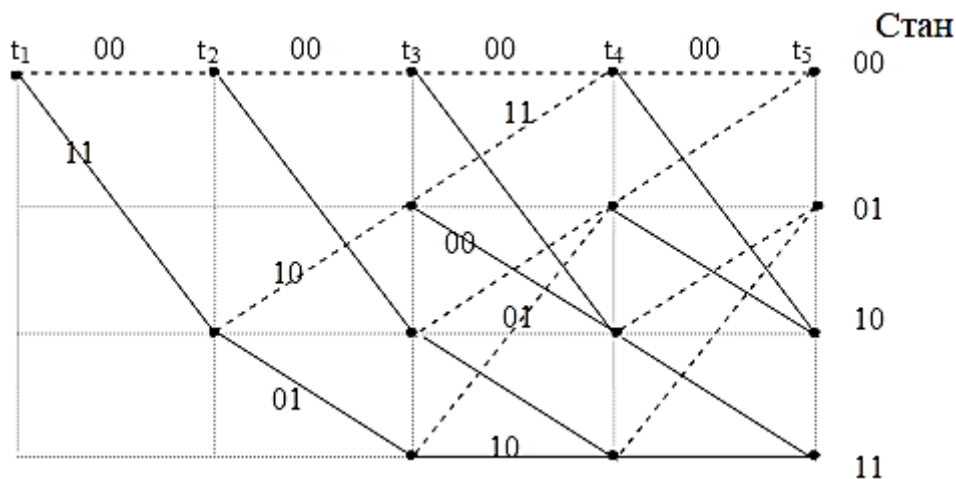


Рисунок 1.14 — Гратчаста діаграма

Кожній вхідній послідовності відповідає певний шлях в решітці і відповідна цьому шляху «правильна» вихідна послідовність. Початковий стан — 00.

Один з алгоритмів декодування (алгоритм Вітербі, або алгоритм максимальної правдоподібності), порівнює прийняту декодером кодову комбінацію з правильними, відповідними різним шляхам в решітці, і замінює на ту, яка по кодовій відстані ближче всіх до прийнятої. Число різних шляхів в решітці дуже велике. Обсяг обчислень мінімізується завдяки використанню ітераційного (покрокового) алгоритму, аналогічного алгоритму динамічного програмування.

Як видно з діаграми, після до переходів ($K = 3$) картина переходів повторюється. У кожний стан ведуть 2 шляхи. Для кожного шляху довжиною у i переходів, що починається з початкового стану і закінчується в момент t_i (на першому кроці обчислень $i = 3$), визначається метрика — кодова відстань між прийнятою послідовністю і правильною послідовністю, яка відповідає цьому шляху. З усіх шляхів, що ведуть в даний стан, вибирається один шлях з мінімальною кодовою відстанню, інші шляхи відкидаються як «тупикові». Після перегляду шляхів довжиною в i переходів проглядаються і відкидаються тупикові колії довжиною в $i + 1$ переходів і т.д. Починаючи з певного моменту t_i , початкові ділянки у всіх шляхів що «вижили» виявляються однаковими. Відповідна цій ділянці кодова комбінація вважається достовірною. У міру зростання номера

довжина спільної ділянки, а отже і скоригованої частини прийнятої кодової послідовності, збільшується.

Для декодування послідовностей, отриманих після згорткового кодування, застосовується алгоритм Вітербі. Він дозволяє з безлічі можливих шляхів декодування символу, вибрати відносно невелике число найбільш правдоподібними шляхів і визначити правильне значення символу.

У цифровому телевізійному мовленні, як правило, використовується поєднання згорткового кодування з декодуванням за алгоритмом Вітербі. Він добре працює при низьких відношеннях сигнал-шум, Для каналу з адитивним білим шумом, необхідне для передачі відношення E_b/N_0 , визначається нерівністю [7]:

$$\frac{E_b}{N_0} \geq \frac{1}{2R} (2^{2R} - 1). \quad (2.5)$$

Наприклад, при $R = 1/2$ таке поєднання забезпечує сумарну ймовірність помилки 10^{-10} при відношенні енергії біта до спектральної щільності шуму $E_b/N_0 = 2$ або 3 дБ.

При передачі по каналах з обмеженою смугою (типовий режим для мовних каналів) метод кодування для досягнення максимальної ефективності повинен враховувати також і обрану схему модуляції.

1.5 Модуляція в системах цифрового телевізійного мовлення

Хоч модульовані сигнали є аналоговими, розгляд процесу модуляції вельми важливий, тому що від нього залежать багато характеристик систем цифрового телевізійного мовлення.

У системах цифрового мовлення широко застосовуються амплітудна і фазова модуляція (маніпуляція). При амплітудній маніпуляції несучої бінарним сигналом з виходу модулятора виходить коливання несучої частоти

$$s(t) = S(t) \cos[\omega_0 t - \varphi(t)], \quad (1.6)$$

амплітуда якого $S(t)$ приймає одне з двох значень S_0 або S_1 , відповідно 0 або 1. Багаторівнева, або багатопозиційна АМ з кратністю M формує сигнал з M можливими значеннями амплітуди та незмінною початковою фазою сигналу $\varphi(t) = \varphi_0$. Спектр амплітудно маніпульованого сигналу містить несучу і дві бічні смуги, що повторюють форму спектра модулюючого сигналу. У деяких випадках використовують сигнали з повним або частковим придушенням несучої, з однією з бічних смуг або з несучою та однією з бічних смуг.

При фазовій модуляції (маніпуляції) амплітуда сигналу залишається постійною, а початкова фаза при маніпуляції стрибкоподібно змінюється

на величину, що залежить від кратності модуляції M . Дискретні значення фази сигналу $\varphi_i = 2\pi a_i / M$, де a_i — M -ічний символ з багатьох $\{0, 1, 2, \dots, M-1\}$. Зазвичай $M = 2^k$, $k = 1, 2, 3, \dots$. Тоді кожен символ a_i відповідає набору з $K = \log_2 M$ двоїчних інформаційних символів, а його довжина $T_c = kT$, где T — тривалість двійкового символу. При $M = 2$ отримуємо сигнали двохпозиційної (BPSK), $M = 4$ — чотирьохпозиційної (QPSK), $M = 8$ — восьмипозиційної (8-PSK) модуляції.

Модульований сигнал (1.6) можна представити у вигляді двох квадратурних (із зсувом на 90°) складових:

$$s(t) = [S(t) \cos \varphi(t)] \cos \omega_0 t + [S(t) \sin \varphi(t)] \sin \omega_0 t \quad (1.7)$$

Якщо відповідно до (1.7) промодулювати, наприклад, бінарними сигналами дві несучі $\cos \omega_0 t$ і $\sin \omega_0 t$ і отримані сигнали скласти, результуючий сигнал буде вже чотирьохпозиційним, і така модуляція називається квадратурною, а дві компоненти сигналу — синфазною (I — inphase) і квадратурною (Q — quadrature) компонентами. Зазвичай вважають, що вектор I збігається з віссю абсцис, а вектор Q орієнтований уздовж осі ординат. Якщо сигнальні вектори дискретно модулюються не тільки по фазі, але і по амплітуді виходить — квадратурна АМ (QAM).

Подання сигналів у вигляді суми квадратурних складових підказує простий спосіб їх формування в модуляторі. Зокрема, сигнали QPSK можна отримати як суму двох сигналів BPSK, що несуть коливання, фази яких відрізняються на 90° . Схема такого модулятора показана на рис. 1.15 [7]. Модулюючі послідовності в квадратурних каналах отримують розщепленням вихідної інформаційної послідовності на парні і непарні символи. Тривалість символу в кожному каналі дорівнює $T_c = 2T$. Сигнали BPSK квадратурних каналів складаються, утворюючи чотирьохфазний сигнал QPSK.

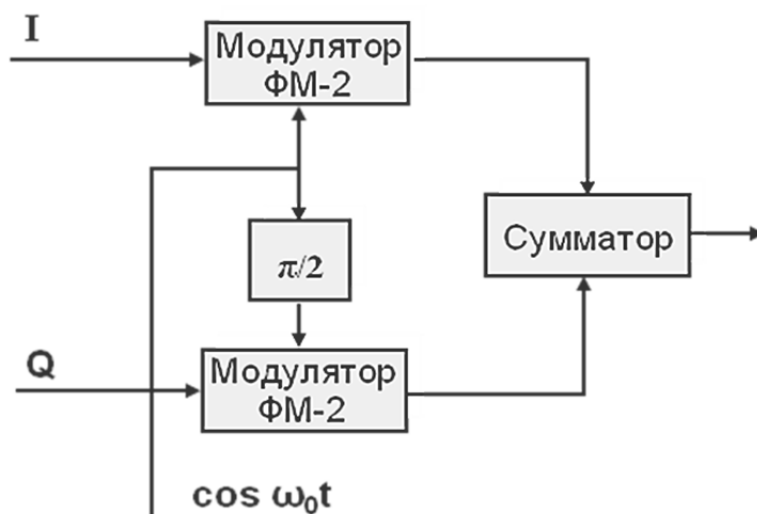


Рисунок 1.15 — Структурна схема квадратурного модулятора

При одночасній зміні символів в кожному з квадратурних каналів модулятора в сигналі QPSK відбувається стрибок фази на π , що викличе на виході фільтра провал обвідної до нуля. Виключити стрибки фази на π можливо, якщо рознести в часі моменти зміни фаз в квадратурних каналах. Зазвичай модулюючі сигнали в одному з каналів зміщують на величину $T/2$ (так, звана зміщена PSK).

Від форми модулюючих сигналів в каналах залежить наявність або відсутність міжсимвольних перешкод і загальна ширина смуги частот, яку займає PSK сигнал. Звичайні прямокутні сигнали в цьому сенсі далеко не оптимальні. Істотного звуження спектра вдається домогтися скругленням елементарних модулюючих сигналів. Найбільш часто застосовують спектри Найквіста з так званим косинусним скругленням, яке задається співвідношенням [7]:

$$S(\Omega) = \begin{cases} 1, & 0 \leq \Omega \leq \pi(1-\alpha)/T, \\ \cos^2 \left[\frac{T}{4\alpha} \left(\Omega - \frac{\pi(1-\alpha)}{T} \right) \right], & \frac{\pi(1-\alpha)}{T} \leq \Omega \leq \frac{\pi(1+\alpha)}{T}, \\ 0, & \Omega > \frac{\pi(1+\alpha)}{T}. \end{cases} \quad (1.8)$$

Коефіцієнт α характеризує ступінь закруглення спектра. На рис. 1.16 наведені окремі випадки спектра Найквіста. Умовою відсутності міжсимвольних перешкод є передача символів зі швидкістю $1/T$.

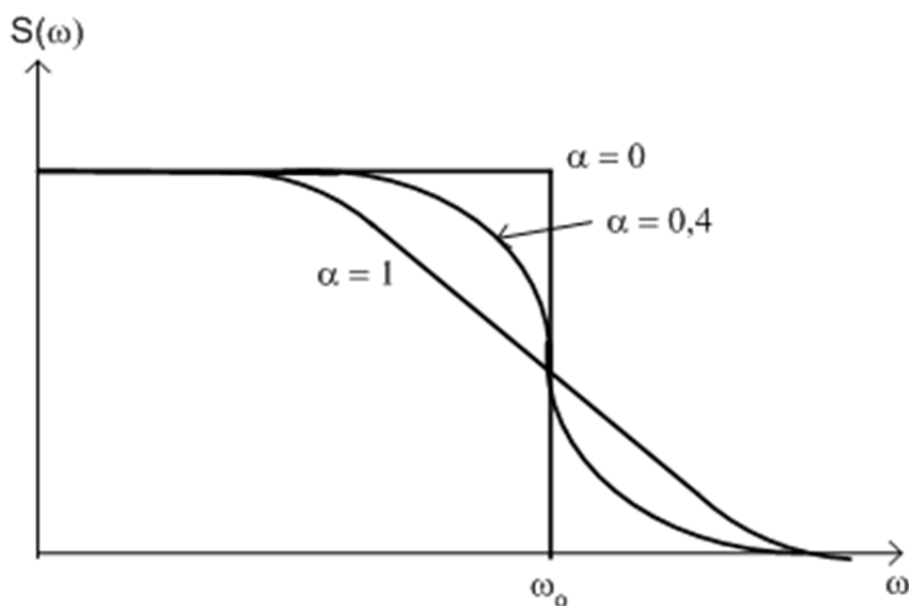


Рисунок 1.16 — Необхідна АЧХ каналу при різних коефіцієнтах α

Порівняння властивостей різних сигналів зручно робити, використовуючи їх геометричне уявлення. Багатовимірні сигнали можна зобразити у вигляді точок (кінців векторів) на площині. На рис. 1.17 показані типові ансамблі багатопозиційних сигналів з квадратурними фазовою та амплітудною маніпуляцією. Простір сигналів модульованої несучої є дискретні положення вершин сумарного вектора ($I + Q$) в системі координат I, Q . У разі QPSK вектора I і Q мають однакові і постійні амплітуди, дискретно змінюються тільки фази, які можуть набувати значень 0° або 180° — для вектора I і 90° і 270° — для вектора Q . При цьому енергія PSK сигналів у процесі модуляції не змінюється, і вершини сумарного вектора $I + Q$ при переході від одного фазового стану до іншого описують коло. У разі QAM кінці сигнальних векторів розташовуються у вузлах прямокутної решітки. Видно, що при $M = 4$ вектора QPSK і 4-QAM збігаються.

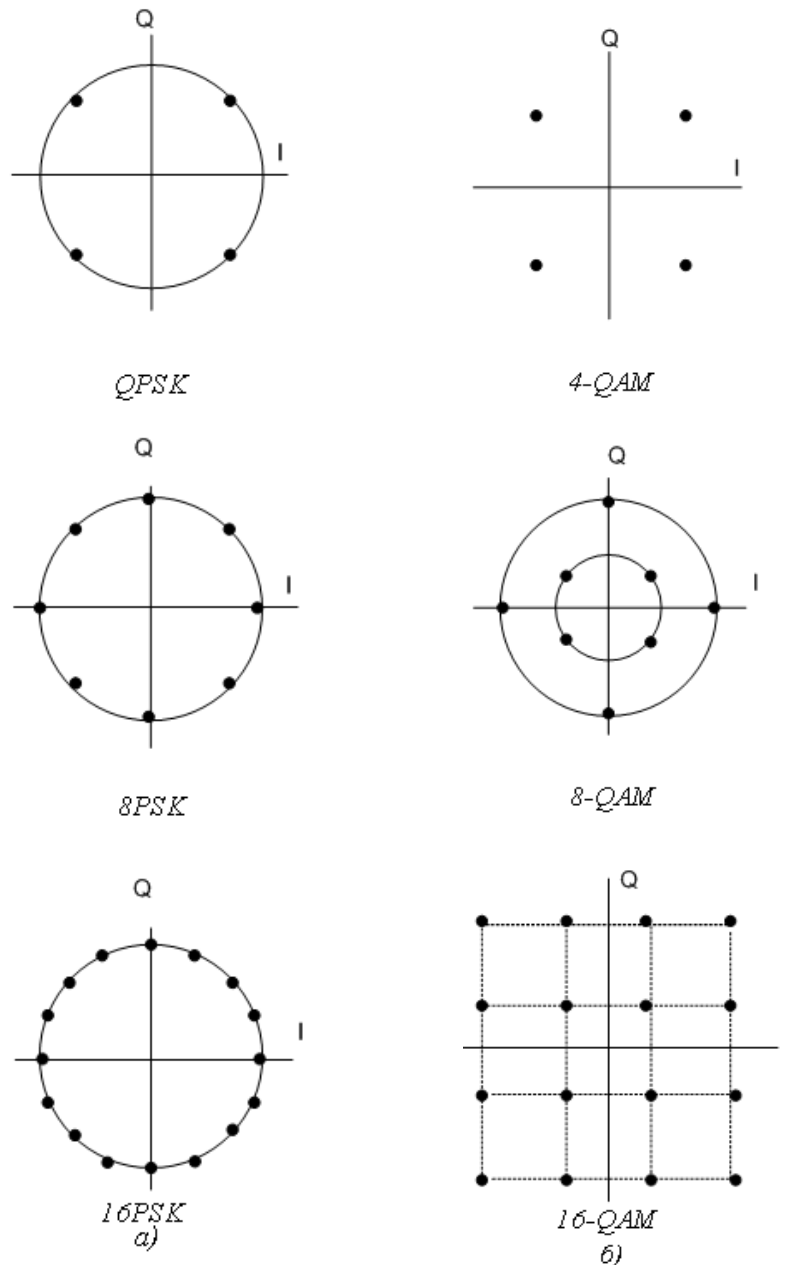


Рисунок 1.17 — Сузір'я PSK і QAM сигналів при різних M

В ансамблях багатопозиційної QAM дискретизація по амплітуді можлива з рівномірним і нерівномірним кроком. У першому випадку ми маємо справу з *неієрархічною модуляцією*, що забезпечує однакову стійкість для всіх переданих комбінацій, у другому випадку, з *ієрархічною модуляцією*, коли деякі компоненти потоку можуть передаватися з підвищеною завадостійкістю. З точки зору завадостійкості важливо зберігати досить великою мінімальну відстань між двома сусідніми точками в ансамблі. Доведено, що ця умова виконується при розміщенні точок у вузлах квадратної решітки.

У багатопозиційних ансамблях кожен сигнал містить інформацію про k двоїчних інформаційних символів ($M = 2^k$). Для мінімізації ймовірності помилки на символ необхідно так зіставити кожному сигналу набір символів, щоб послідовності, відповідні сусіднім сигналам, відрізнялися меншою кількістю двійкових символів. Таку властивість мають деякі маніпуляційні коди, зокрема, широко застосовуваний код Грея. На рис. 1.18 наведені приклади побудови кодових комбінацій маніпуляційного коду Грея.

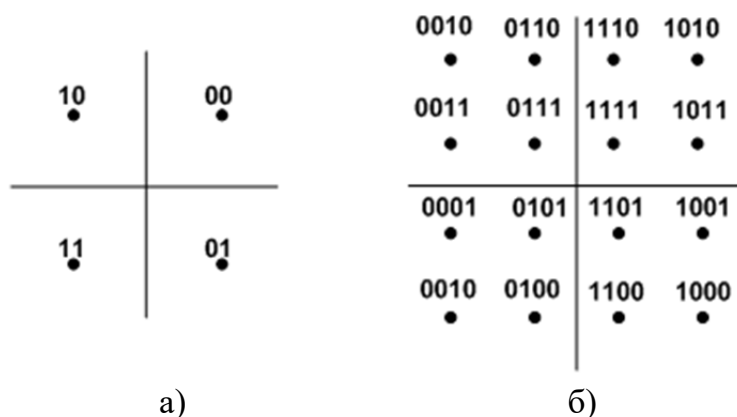


Рисунок 1.18 — Приклади побудови кодових комбінацій маніпуляційного коду Грея

Вище ми говорили про побудову коду, що враховує вид модуляції і відстані між сигналами в сигнальному просторі. Виявляється, що при багатовимірних сигналах властивості коду самі по собі не обов'язково визначають ймовірність помилки. Важливо, які евклідові відстані реалізуються при поєднанні способу кодування і схеми модуляції. Нагадаємо, що евклідовою відстанню між двома точками a і b n -мірного простору називається величина

$$d = \sqrt{\sum_{i=1}^n (a_i - b_i)^2} . \quad (1.9)$$

Основним параметром, що характеризує в разі згорткових кодів комбінацію варіанту кодування та способу модуляції, є вільна евклідова

відстань d_{cb} , яка визначається як мінімальна евклідова відстань між будь-якими парами кодових послідовностей v_k і v_j . Якщо необхідно узгодити вибір коду, то критерієм в цьому випадку служить не ймовірність помилки двійкового символу, а параметр

$$G_a = 20 \lg(d_{cb} / d_{баз}), \quad (1.10)$$

де $d_{баз}$ — мінімальне евклідова відстань між різними послідовностями в базовій системі без кодування.

Як приклад розглянемо кодування для 8-QAM з використанням згорткового коду і декодування Вітербі при двох інформаційних бітах на переданий символ. Необхідні для 8-QAM три біта на символ складемо у такий спосіб: перші два біта є вихідна послідовність згорткового коду з $R = 1/2$, а в якості третьої біта використовується незакодований другий біт вихідних даних. Сигнальна діаграма такого коду приведена на рис. 1.19, символи згорткового коду підкреслені. Максимально розділеними при такому відображенні виявляються пари сигнальних точок, в яких закодовані біти збігаються, а незакодовані інформаційні біти різні. Базова система з двома інформаційними бітами на символ, з якої потрібно порівнювати дану систему — 4-QAM. Асимптотичний вииграш описаної системи залежить від кодового обмеження K . При $K = 7$ він досягає 4 дБ. Цей код використовується в американському стандарті цифрового мовлення ATSC під назвою трелісний (гратчастий) код.

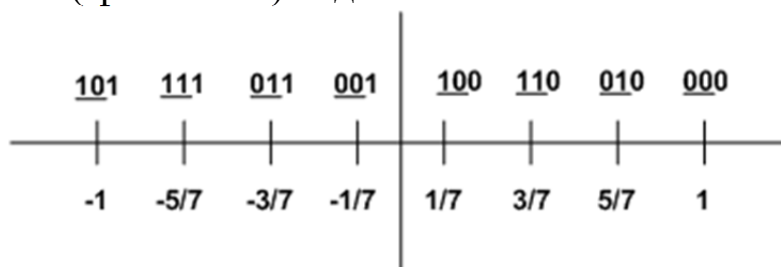


Рисунок 1.19 — Сигнальна конструкція трелісного коду 8T-VSB

Порівняння різних методів модуляції проводять за кількома критеріями: завадостійкості, швидкості передачі на одиницю смуги, ступеня впливу спотворень в тракті передачі.

Завадостійкість визначається залежністю ймовірності помилки від відношення енергії біта E_b до спектральної щільності шуму N_0 і для сигналу BPSK розраховується за формулою:

$$p = F(\sqrt{2E_b / N_0}), \quad (1.11)$$

$$\text{де } F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{\infty} \exp(-t^2 / 2) dt.$$

Оскільки канал QPSK містить два незалежні канали BPSK, для QPSK формула (1.5) також може бути застосована. Залежності $P(E_b/N_0)$ для деяких видів модуляції наведені на рис. 1.20. Видно, що сигнали QAM при однаковій кратності с PSK мають кращу заводозахищеність. Це пояснюється більш рівномірним розташуванням сигнальних точок по всьому сигнальному простору, що забезпечує великі значення мінімальної відстані. З іншого боку, повна енергія QAM сигналу змінюється в часі, тому він менш придатний для роботи в режимі насичення супутникового ретранслятора.

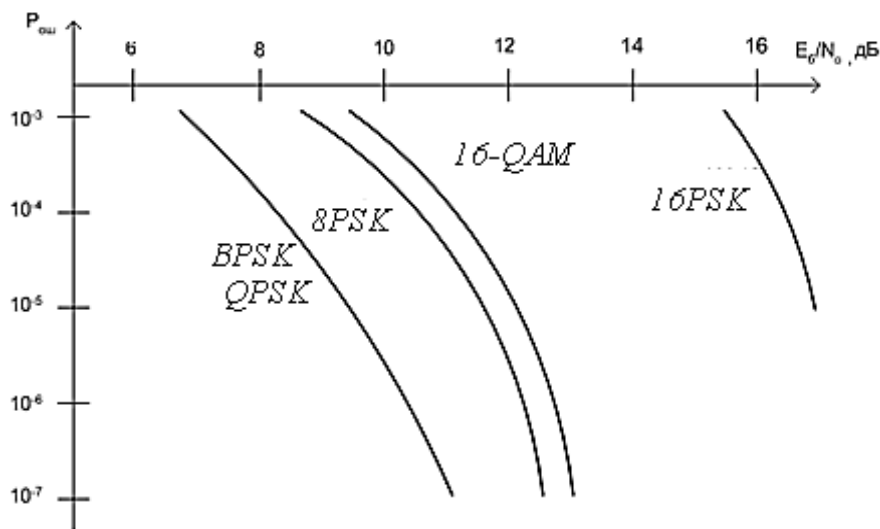


Рисунок 1.20 — Залежності $P(E_b/N_b)$ для BPSK, QPSK, 16QAM, 8 та 16 PSK

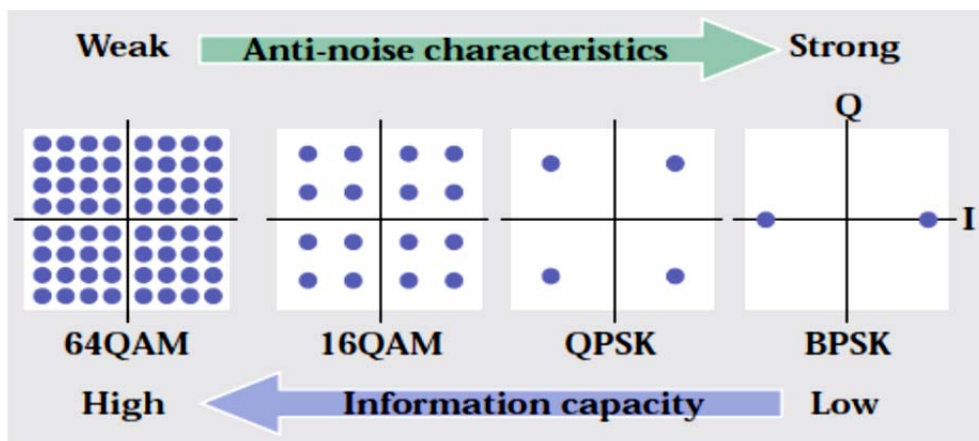
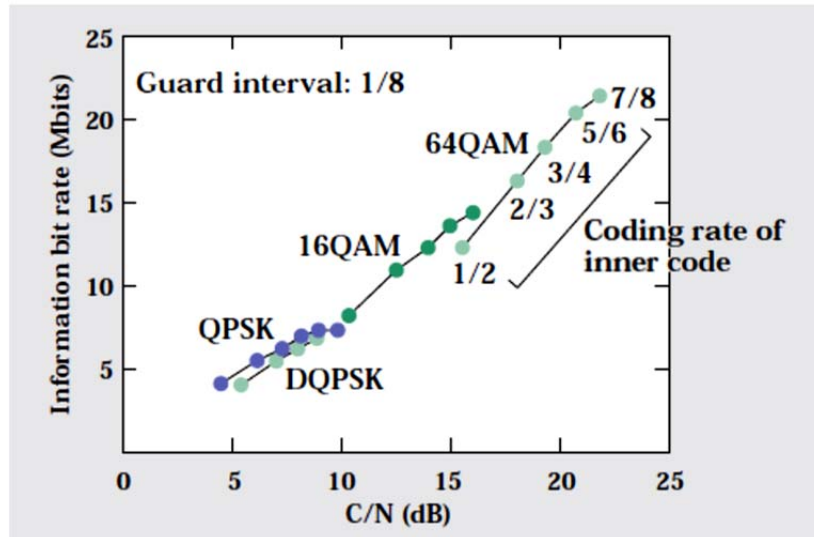


Рисунок 1.21 — Зв'язок заводозстійкості та інформаційної ємності при різних видах багатопозиційної модуляції

Питома **швидкість передачі** на одиницю смуги пропорційна $\log_2 M$, де M — кратність модуляції. Зокрема, при однакових енергетичних характеристиках швидкість передачі QPSK на одиницю смуги вдвічі вище, ніж у BPSK, що і зумовило її широке застосування в системах зв'язку, особливо супутникових. 8PSK забезпечує швидкість передачі втричі вищу, ніж при

BPSK, але вимагає більш високого відношення E_b/N_0 на вході демодулятора. Зв'язок завадостійкості та інформаційної ємності при різних видах багатопозиційної модуляції показана на рис. 1.21, а залежність швидкості передачі від відношення сигнал/шум (SNR) при різних видах багатопозиційною модуляції на рис. 1.22 [8].



Рисуюнок 1.22 — Залежність швидкості передачі від C/N при різних видах багатопозиційної модуляції, швидкостях внутрішнього каналного кодування при захисному інтервалі $1/8T_s$

1.6 OFDM

Вище мова йшла про фазову та амплітудну модуляції однієї несучої, які використовуються в цифрових супутникових або кабельних системах телевізійного мовлення, де основним джерелом помилок є теплові шуми, а рівень інших сигналів, що заважають, відносно невеликий. При переході до ефірного цифрового мовлення з'ясувалося, що значний вплив у метровому і дециметровому діапазонах хвиль надають відбиті сигнали, перешкоди від сусідніх по частоті цифрових і аналогових сигналів, селективні завмирання.

Основним руйнівним чинником для цифрового каналу стають перешкоди (інтерференція) від багатопроменевого прийому, при якому в декодер поступають дві (або декілька) однакових за характером чергування символів, але зрушені за часом послідовності. Якщо затримка одного з променів стає рівною або більше половини тривалості символу, відбувається різке зростання цифрових помилок, аж до повного руйнування каналу.

Спеціально для боротьби з перешкодами при багатопроменовому прийомі було запропоновано використовувати COFDM модуляцію (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing — ортогональне частотне розділення каналів з кодуванням), варіанти якої використовувалися ще в п'ятдесяті роки минулого століття в тропосферному зв'язку для боротьби з завмираннями, пов'язаними з багатопроменувістю поширення радіосигналів.

COFDM є цифровим методом модуляції, при якій використовується велика кількість близько розташованих ортогональних піднесучих. Кожна піднесушча модулюється за звичайною схемою модуляції (наприклад, квадратурна амплітудна модуляція) на низькій символній швидкості, зберігаючи загальну швидкість передачі даних, як і у звичайних схем модуляції однієї несучої в тій же смузі пропускання. На практиці сигнали COFDM формуються шляхом використання швидкого зворотного перетворення Фур'є (FFT^{-1} на рис. 1.23), а демодуються із застосуванням прямого перетворення Фур'є (FFT на рис. 1.24).

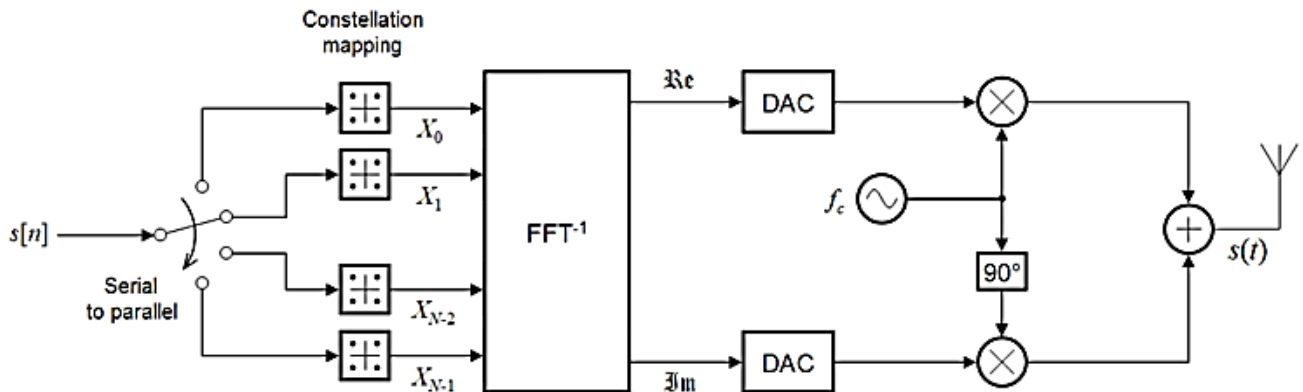


Рисунок 1.23 — Формування сигналів COFDM з використанням швидкого зворотного перетворення Фур'є

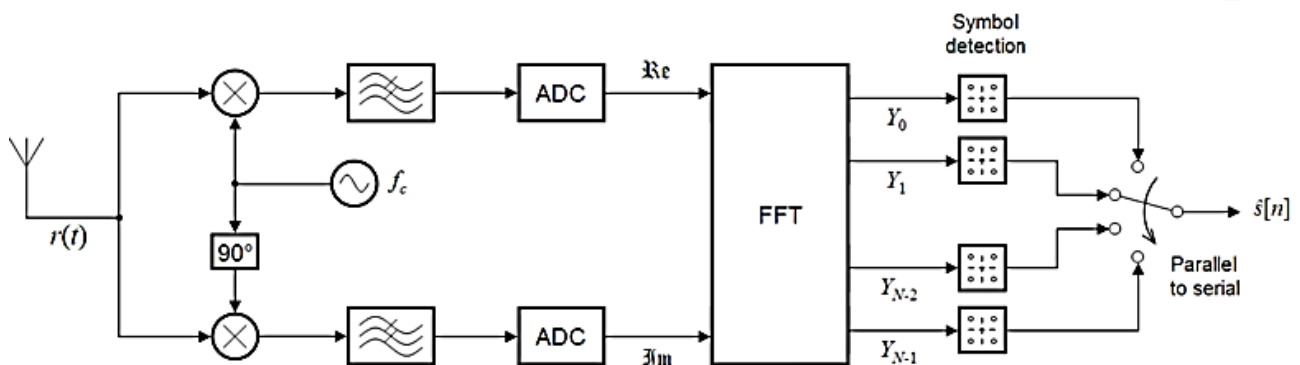


Рисунок 1.24 — Демодулювання сигналів COFDM із застосуванням прямого перетворення Фур'є

Основною перевагою COFDM в порівнянні зі схемою з однією несучою є її здатність протистояти складним умовам в каналі. Наприклад, боротися з загасанням в області ВЧ в довгих мідних провідниках, з вузькосмуговими перешкодами і частотно-вибірковими загасаннями, викликаним багатопробним характером поширення, без використання складних фільтрів-еквалайзерів. Канальна еквалізація спрощується внаслідок того, що COFDM сигнал може розглядатися як безліч повільно модульованих вузькосмугових сигналів, а не як один швидко модульований широкосмуговий сигнал. Низька символна швидкість робить можливим викорис-

тання захисного інтервалу між символами, що дозволяє справлятися з часовим розсіюванням і усувати міжсимвольну інтерференцію (МСІ).

Основна ідея OFDM — поділ послідовного цифрового потоку на велике число низькошвидкісних потоків, переданих на окремих ортогональних несучих. Набір несучих, що переносять компоненти цифрового потоку, називається символом OFDM. Завдяки великій кількості несучих тривалість символу в кожному з паралельних потоків виявляється в тисячі разів більше, ніж у вхідному послідовному потоці. Така велика довжина символу забезпечує хороший захист від міжсимвольних спотворень, обумовлених інтерференцією, так як відбиті сигнали частіше вражають не весь, а лише частину символу. Ступінь захисту може бути значно збільшена, якщо ввести захисний інтервал D — проміжок часу, протягом якого оцінка значення символу в декодері не проводиться. Зазвичай захисні інтервали розміщуються в кінці символів і не перевищують $\frac{1}{4}$ тривалості активної частини символу. Завдяки введенню захисних інтервалів декодер ігнорує частину руйнуючих ехо-сигналів.

Унікальною властивістю COFDM з захисними інтервалами, яка визначила вибір цього виду модуляції в Європі, слід визнати можливість організації синхронної мережі мовлення, коли велика кількість ТВ передавачів працюють на одній частоті і синхронно передають однакові символи COFDM. Якщо відстань між передавачами вибрано таким чином, що різниця в запізненні сигналів від сусідніх передавачів не перевищує тривалості захисного інтервалу, приймачі в мережі не відчують перешкод від накладення сигналів.

Ключове питання в побудові системи COFDM — вибір основних параметрів: кількості індивідуальних несучих на символ, їх частотного розносу, значень захисного інтервалу, методу модуляції несучих, методу синхронізації. Всі параметри взаємопов'язані і вибираються шляхом компромісу.

Частотний розніс між несучими залежить від способу виділення в демодуляторі окремих несучих. Якщо застосувати традиційний поділ за допомогою смугових фільтрів, частотне розношення між модульованими несучими довелося б вибирати таким, щоб їх сусідні бічні смуги взаємно не перекривалися. Цю умову можна виконати, вибравши величину частотного розносу $\Delta f \geq 2/T_c$, однак при цьому ефективність використання радіоспектра буде низькою. Для COFDM обрано більш ефективний метод на основі ортогональних перетворень. Для виконання умов ортогональності потрібно, щоб частотне розношення між несучими було постійним і дорівнювало $1/T_c$. Тоді на центральній частоті кожної несучої спектральні компоненти всіх інших несучих проходять через 0 (рис.1.25) і не заважають демодуляції при прийомі. Взаємні перешкоди від сусідніх несучих дорівнюватимуть нулю, незважаючи на те, що їх сусідні бічні смуги

взаємно перекриваються. Це дозволяє дуже ефективно, близько до теоретичної межі, використовувати смугу частот ТВ каналу і вдвічі підвищити питому швидкість передачі в порівнянні з фільтровим методом. Обраний метод поділу пояснює появу визначення «ортогональний» в назві схеми модуляції.

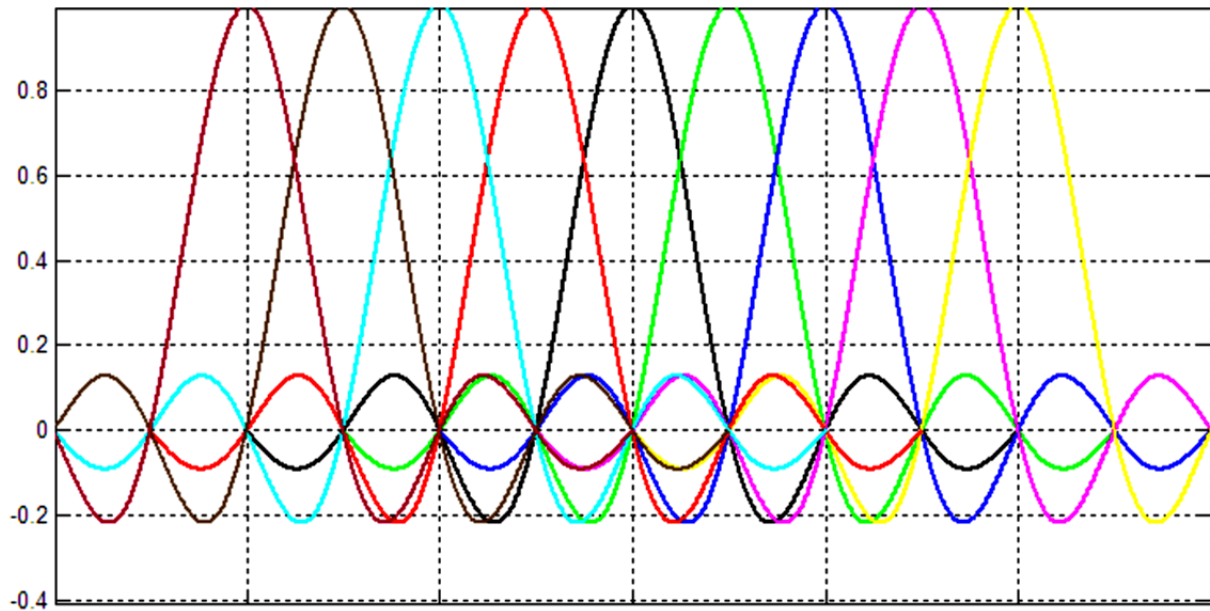


Рисунок 1.25 — Ортогональність складових спектру COFDM

Не менш важливо для розуміння сутності методу є визначення «Coded» (кодований). Якщо обмежитися використанням некодованого OFDM, через селективні завмирання на деяких частотах, відповідні несучі не будуть декодуватись, даючи сплески шуму та помилки по бітам. Некодовані OFDM так само чутливі до завад у співпадаючому та сусідніх каналах, як і одночастотна модуляція. Наприклад, вузькосмугова завада, що вражає кілька несучих з 1000 в OFDM, призводить до ймовірності помилки 10^{-3} при потужності завади на 20 дБ нижче тієї, яка б викликала аналогічну ймовірність помилок в одночастотній системі. Застосування завадостійкого кодування додатково підвищує стійкість передачі і робить прийом ще більш надійним. COFDM система, яка захищена згортковим кодом з $R = \frac{1}{2}$ та $K = 7$, при ураженні 64 несучих з 512 показала погіршення характеристик всього на 3 дБ [8].

Питання для самоконтролю

1. Чим відрізняється цифрове телебачення від аналогового?
2. Як обчислюється частота дискретизації для ЦТС?
3. Як розраховується швидкість передачі двійкових символів для ЦТС?
4. Як пов'язана смуга спектра частот цифрового сигналу зі швидкістю передачі двійкових символів?

5. Які способи зменшення смуги частот каналу можуть бути застосовані в цифровому телебаченні?
6. Які цифрові пристрої застосовуються в цифровому телебаченні?
7. Якими шляхами досягається висока стійкість цифрового телебачення?
8. Які методи стиснення застосовуються для ЦТС?
9. У чому полягають основні відмінності стандарту MPEG-2 і MPEG-4.
10. У якому з стандартів передбачено застосування фрактального стиснення.

Література до розділу 1

1. Обробка зображень і цифрова фільтрація. Під ред. Т. Хуанга: Пер. з англ. — М. : Мир, 1979
2. Herve Benoit. Digital television: satellite, cable, terrestrial, iptv, mobile tv in the dvb framework.- 3rd ed. Focal Press is an imprint of Elsevier 30 Corporate Drive, Suite 400, Burlington, MA 01803, USA Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP, UK.
3. Ватолин Д., Ратушняк А., Смирнов М. Юкін В. Методи стиснення даних. Пристрій архіваторів, стиснення зображень і відео // М. — Діалог-МІФІ. — 2003. — 384 с.
4. Vonomi, M. «Multimedia and CD ROM: An Overview of MPEG and JPEG» CD ROM Professional, November 1991 року, Р. 38-40
5. Про стиснення відео — Введення [Елек. Ресурс]. — Режим доступу: <http://habrahabr.ru/post/111244/>
6. Річардсон Я. Відеокодування H.264 і MPEG-4 — стандарти нового покоління // М. — Техносфера. — 2005. — 368 с.
7. Фітісов В. Використання кодека H.264 в мовленні [Елек. ресурс]. — Режим доступу: <http://www.videoprotect.com/stati/obmen-opytom-2/item/219-использование-кодек-h264-в-вещании>
8. Тропченко А.А., Молчанов В.А. Особливості стиснення кольорових зображень JPEG-подібними алгоритмами // Науково-технічний вісник СПбДУ ІТМО / — Вип. 32. — СПб. — СПбДУ ІТМО. — 2006. — С. 22–26.
9. Implementation of digital terrestrial television broadcasting networks and systems. Recommendation ITU-R. — 2016.
10. Інтернет ресурс: <https://oxorona.com/h-265/>.

2 СТАНДАРТИ ЦИФРОВОГО ТЕЛЕБАЧЕННЯ

2.1 Загальні відомості про цифрові системах (наземного ефірного, супутникового і кабельного телебачення) і основних стандартах (ATSC, DVB, ISDN) цифрового телебачення

Технології цифрового телевізійного мовлення визначені відкритими міжнародними стандартами, які розроблені міжнародним консорціумом з 270 організацій і опубліковані технічним комітетом JTC (Joint Technical Committee) Європейського інституту стандартизації електрозв'язку ETSI, Європейським електротехнічним комітетом стандартизації CENELEC (European Committee for Electrotechnical Standardization) і Європейським радіомовним союзом EBU (European Broadcasting Union). Ці стандарти визначають технології, протоколи фізичного і каналного рівнів систем мовлення та формати даних, що передаються [1...4].

Можна виділити п'ять основних систем (механізмів) передачі ТБ-трафіку кінцевим споживачам — **наземні** (ефірне мовлення), **супутникові**, **кабельні**, **системи мобільного телебачення і системи телебачення з використанням IP (IPTV)**.

Іноді виділяють і так звані мобільні системи: MMDS (Multichannel Microwave Distribution System), LMDS (Local Microwave Distribution System), MWS (Multimedia Wireless System), що розгортаються в діапазонах 2,5–2,7; 10,5–10,7; 27,5–29,5 і 40,5–43,5 ГГц. Однак поява систем мобільного цифрового телебачення і нових стандартів широкосмугового радіодоступу ускладнило їх просування на ринок послуг доставки програм телебачення.

Всі перераховані системи телевізійного мовлення є по суті широкосмуговими мережами передачі інформації, характерна особливість яких — виражена асиметрія трафіку.

Стратегічне питання розвитку телебачення в державі — мережа наземного ефірного телевізійного мовлення, а отже вибір стандартів передачі сигналів. Незважаючи на різноманіття стандартів цифрового мовлення, в області масового мовлення зіткнулися два базових стандартів передачі телевізійних сигналів: ATSC (Advanced Television Systems Committee, США) і DVB (Digital Video Broadcasting, Європа). Обидва стандарти передбачають всі основні операції над цифровим сигналом при його формуванні, які характерні практично для будь-якої цифрової системи передачі: скремблювання; зовнішнє та внутрішнє завадостійке кодування і перемежування; модуляція; перетворення вгору по частоті в завданий діапазон (рис. 2.1). На приймальному кінці операції обробки сигналів виконуються в зворотному порядку.

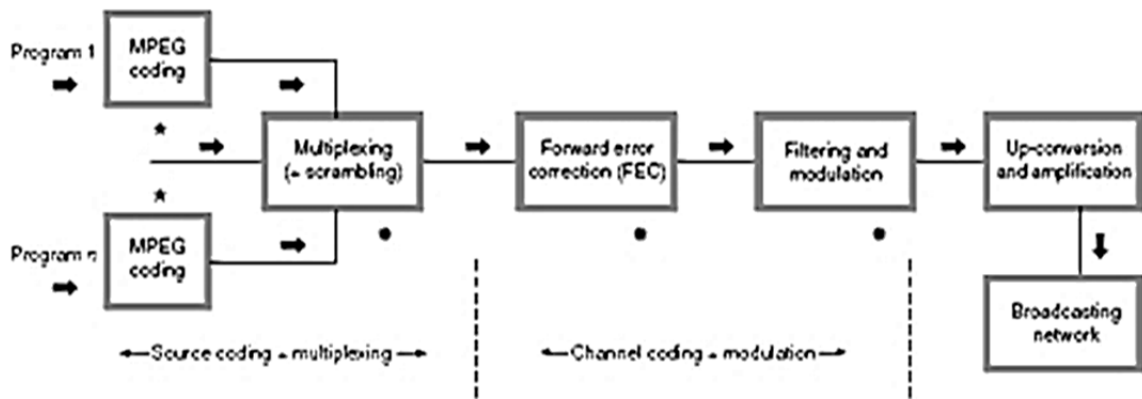


Рисунок 2.1 — Основні операції над цифровим телевізійним сигналом на передавальній стороні [1]

У США при виборі стандарту цифрового телевізійного мовлення основну увагу приділяли підвищенню якості зображення. При цьому збільшення числа каналів зі стандартною якістю зображення не розглядалося. Очевидно, що зображення з високою чіткістю проявляє себе на дорогих телевізорах з великим екраном — не менш 32 дюймів, ще краще — 55–60 дюймів та більше.

В Європі при розробці цифрової телевізійної системи DVB врахували сумний досвід розгортання аналогового комерційного телевізійного мовлення високої чіткості системи MAC (Multiplexed analog components). Тому основна увага була приділена збільшенню числа каналів зі стандартною роздільною здатністю. Це дозволило почати перехід до ЦТВ з випуску відносно дешевих (100–200 доларів) приставок для вже наявних телевізійних приймачів. Крім того, європейський стандарт розглядається як основа для єдиної телекомунікаційної системи, орієнтованої на передачу даних самої різної природи. Звідси вимоги до низької ймовірності помилок.

Американська система ATSC орієнтована на трансляцію в смузі шириною 6 МГц (стандартна ширина каналу американської системи аналогового ТВ NTSC) одного потоку зі швидкістю 19,28 Мбіт/с при наземному мовленні та двох таких потоків — в мережах кабельного телебачення. Європейська система DVB набагато гнучкіше: в стандартній смузі 8 МГц він забезпечує вибір швидкості в діапазоні від 4,98 до 31,67 Мбіт/с (можлива робота в регіонах з каналами шириною 6 і 7 МГц). Відповідно змінюється і кількість ТВ-програм в цій смузі — від 16 до 2, причому, можлива одночасна трансляція програми з низькою роздільною здатністю, але високою надійністю і високою роздільною здатністю при зниженій надійності прийому. Унікальна особливість DVB — це мобільність приймача, він може переміщатися зі швидкістю до 300 км/год — потяги, міжміський пасажирський автотранспорт, мобільні служби (швидка допомога, міліція) і т. п. Однак найсуттєвіше це значно вища, ніж у ATSC, надійність доставки

сигналу. DVB в реальних умовах виграє не тільки по надійності прийому, але й по якості прийому та вимогам до прийомних антен.

Ці стандарти аналогічні в тому сенсі, що обидва орієнтовані на передачу відео- і аудіо, кодованих і компресованих сигналів у відповідності з алгоритмами MPEG. Звук може кодуватися і за допомогою інших алгоритмів, наприклад, Dolby AC-3.

Протистояння американського і європейського стандартів для України, вже питання достатньо далекого минулого, оскільки вибір на користь DVB зроблено остаточно.

Розглянемо основні особливості конкуруючих стандартів ATSC і DVB докладніше.

2.2 Особливості стандарту ATSC

Цей стандарт розроблявся з урахуванням того, що якийсь час в одному діапазоні транслюватимуться сигнали як в стандарті ATSC, так і в чинному в США аналоговому стандарті NTSC. Поступово NTSC витіснявся і зараз весь діапазон, раніше зайнятий аналоговим мовленням, перейшов до цифрового.

На відміну від ATSC, спектр NTSC досить нерівномірний. Тому для боротьби з інтерференційними перешкодами в ATSC передбачений режекторний гребінчастий фільтр з придушенням основних складових сигналу NTSC (яскравість, колір і звук). Однак даний фільтр вдвічі погіршує співвідношення сигнал/шум, тому він включається, тільки якщо приймач виявляє в ефірі NTSC — сигнал.

Прийнята в ATSC багатопозиційна амплітудна модуляції з частково пригніченою бічною смугою VSB (Vestigal — Sideband modulation system for Broadcast) може містити від 2 (2-VSB) до 16 (16-VSB) рівнів модуляції, симетрично розташованих відносно 0. У найбільш складних умовах наземного ефірного мовлення і використовується 8T-VSB (T — від trellis-решітка) з попередніми ґратчастим згортковим кодуванням зі швидкістю 2/3. Амплітуда сигналу в 8T-VSB приймає значення, пропорційні цілим числам від -7 до 7 з кроком 2. У кабельному мовленні використовується 16-типозиційна модуляція 16T-VSB, що забезпечує більш високу спектральну ефективність [3].

На вхід VSB-системи надходять пакети MPEG-2 об'ємом 188 байт (рис. 2.2). З них видаляється байт синхронізації, оскільки в системі використовується власна синхронізація всередині потоку даних. До 187 байт, які залишилися додається 20 перевірючих байт коду Ріда-Соломона. Додатково включений в 8T-VSB, ґратчастий кодер перетворює кожен 2 біта отриманого 207-байтного слова в 3 біта, тобто в один символ. Очевидно,

що швидкість передачі даних пропорційна бінарному логарифму від числа рівнів амплітудної модуляції (число біт на символ), проте, чим більше рівнів, тим нижче завадозахищеність. Частота проходження символів в VSB — 10,76 МГц. В результаті швидкість в при 16Т-VSB, де кожним 4 бітам відповідає один символ, в 2 рази вище (38,6 Мбіт/с), ніж при 8Т-VSB (19,3 Мбіт/с), оскільки для передачі одного пакета потрібно вдвічі менше символів. Однак і пороговий рівень співвідношення сигнал/шум у даних систем відповідно 28,3 і 14,9 дБ. У підсумку в 8Т-VSB кожен байт перетворюється в 4 символи, а 207 байт кодованого пакета — в 828 символів.

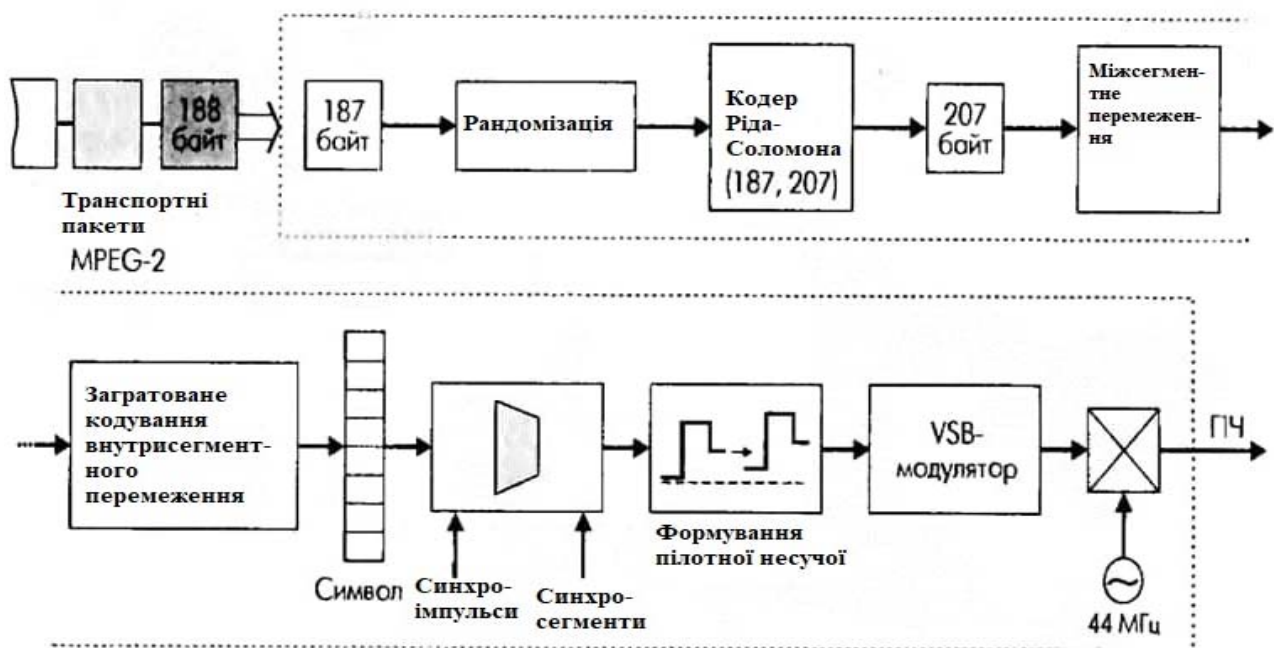


Рисунок 2.2 — Формування сигналу в системі 8Т-VSB [4]

Замість сінхробайта MPEG-2 використовується синхросигнал (перепад амплітуди з рівня 5 до рівня -5) тривалістю 0,37 мкс, що відповідає 4 символам. Утворені $828 + 4 = 832$ символи утворюють сегмент. Кожні 312 сегментів даних і додатковий сінхросегмент об'єднуються в поле даних, два поля даних — в кадр (626 сегментів). Синхросегмент містить ряд опорних послідовностей для настройки коректорів приймача, інформацію про кількість рівнів модуляції і (тільки у 8Т-VSB) 12 останніх символів попереднього сегмента.

Перед надходженням на вхід кодера Ріда-Соломона дані вхідного потоку піддають скремблюванню (рандомізації) — перетворюють в псевдовипадковий цифровий потік. Для цього кожен байт вхідного потоку побітно складається по модулю 2 з циклічною псевдовипадковою послідовністю. Генератором цієї послідовності служить зсувний регістр з 16 тригерів, охоплених зворотними зв'язками.

Під час синхроімпульса першого сегмента даних кожного поля в регістр завантажується число F18016. Вісім виходів регістра формують потік байтів псевдовипадкової послідовності. В результаті сигнал стає шумоподібним, його спектральна щільність рівномірно розподіляється по смузі і практично не залежить від характеру зображення. Крім підвищення спектральної ефективності поліпшується і синхронізація передачі: оскільки рівні модуляції симетричні щодо 0, а амплітуди інформаційних символів досить випадкові, середній рівень сигналу також близький до 0. На цьому тлі легко детектувати синхроімпульс і синхросегмент, які періодично повторюються, навіть при відношенні сигнал/шум близькому до 0 дБ.

Оскільки середній рівень інформаційних сигналів близький до 0, амплітуда несучої при амплітудній модуляції також була б нульовою. Але несуча необхідна в даній системі як пілот-сигнал для відновлення синхронізації в приймачі. Тому вводять зміщення — рівень кожного сигналу даних збільшують на 1,25 одиниці. Це відповідає появі малопотужного періодичного сигналу несучої, що додає лише 0,3 дБ до загальної потужності сигналу. Даного рівня достатньо для детектування несучої навіть при відношенні сигнал/шум 0 дБ.

Кодування за алгоритмом Ріда-Соломона захищає інформацію від короточасних перешкод (до 10 помилкових байт на 207-байтне слово. Для боротьби з тривалими перешкодами в VSB введене міжсегментне перемешування (після кодера Ріда-Соломона всі байти одного пакета розподіляються по 52 сегментам одного поля даних). Таким чином, навіть якщо сегмент пропав, після деперемешування в кожному пакеті виявиться незначне число пошкоджених байтів, які відновляться декодером. Механізм перемешування використовується і після гратчастого кодування (8T-VSB), в результаті якого послідовні символи виявляються віддаленими одна від однієї на 12 символів (внутрішньосегментне перемешування). Після цього в сегменти вводять синхросигнали і додають синхропакети полів і зміщують на 1,25 рівень сигналів даних для включення пілотної несучої. Таким складним сигналом модулюється несуча на проміжній частоті (ПЧ) 44 МГц, яка потім переноситься безпосередньо в смугу заданого телеканалу.

На жаль, маючи найкращі теоретичні показники порогових співвідношень сигнал/шум і енергетичної ефективності сигналу (на біт інформації) [5], ATSC недостатньо надійний при багатопроменовому поширенні сигналів, що неминуче в умовах міської забудови. При цьому відбитий сигнал, що прийшов із затримкою, стає завадою по відношенню до основного. І якщо рівень відбитого сигналу менше ніж на 15 дБ відрізняється від прямого, приймач втрачає працездатність. Теж саме відноситься і до прийому сигналів від двох передавачів. Тому заявлений виграв систем ATSC по відношенню до DVB за показником сигнал/шум в 4-6 дБ може проявитися

хіба що в лабораторних умовах. Практика ж показує, що в Нью-Йорку передавач ATSC потужністю 350 кВт не забезпечує 100% прийому в радіусі 10 км, тоді як в Лондоні при DVB-T досить потужності передавача 10 кВт для впевненого прийому в радіусі 114 км [15]. Доводиться ускладнювати антенні системи, що, очевидно, створює для користувачів додаткові труднощі.

2.3 Загальні відомості про стандарт DVB

Стандарт DVB, прийнятий в Європі, — це набір специфікацій, що охоплює кабельне DVB-C (Cable), супутникове DVB-S (Sattelite) і наземне DVB-T (Terrestrial) цифрове телевізійне мовлення. Найбільш складні алгоритми формування та обробки сигналів в стандарті DVB-T, оскільки умови роботи при наземному мовленні найбільш складні.

У табл. 2.1 дана загальна характеристика основних груп стандартів DVB по областям застосування і їх найважливіші модифікації. Детально принципи побудови механізмів формування та обробки сигналів стандартів DVB-T (T2), DVB-S (S2) і DVB-C (C2) будуть розглянуті відповідно у 4-му, 5-му та 6-му розділах даної книги.

Коротко зупинимося на основних операціях з сигналом в стандарті DVB. Попередня обробка пакетів в DVB в принципі аналогічна 8-VSB, хоча механізми реалізації функцій різні. На вхід кодера надходять транспортні пакети MPEG-2 по 188 байт (1 синхробайт (завжди 4716) + 187 байт даних) (рис. 2.3). Вони рандомізують за допомогою додавання за модулем 2 з двійковою псевдовипадковою послідовністю (генератор — 15-розрядний зсувний регістр). Генератор ініціалізується через кожні вісім пакетів одним і тим же числом (4B8016). Сінхробайти НЕ рандомізують, кожен восьмий сінхробайт інвертують.

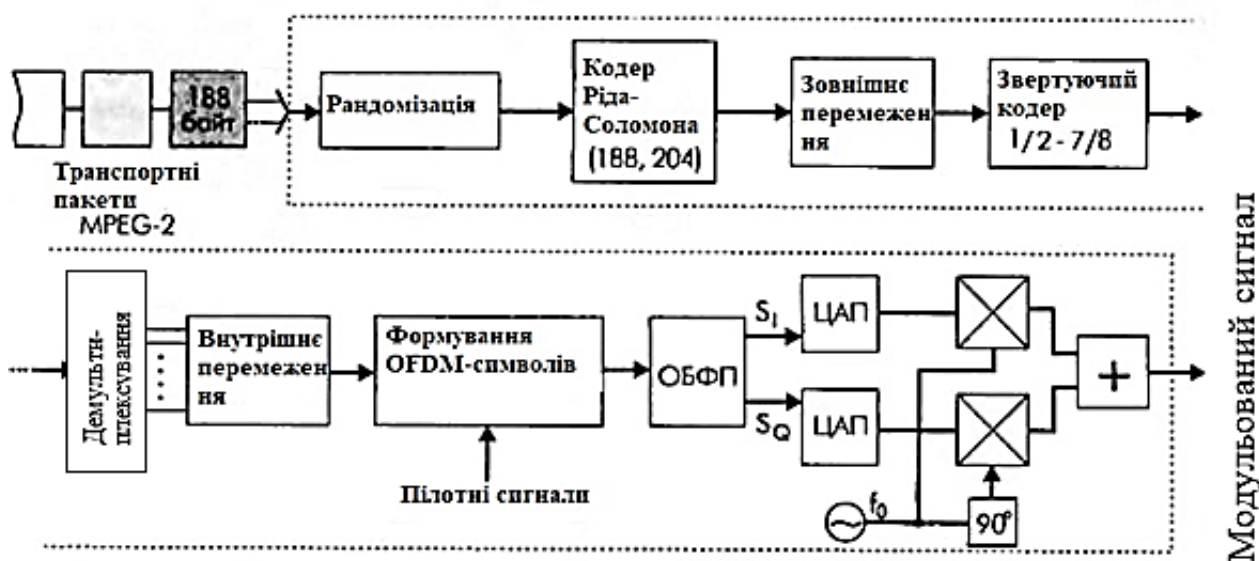


Рисунок 2.3 — Формування сигналів в стандарті DVB-T [4]

Після рандомізації пакети захищають кодом Ріда-Соломона, в результаті чого до 188 байт додаються 16 перевірочних — можливе виправлення до восьми помилкових байт на кодований 204-байтний пакет.

Наступна операція — зовнішнє перемежування. 204-байтні пакети перемішуються, причому так, що синхробайти залишаються на своїх місцях. Потім виконується внутрішнє згорткове кодування. Його реалізує зсувний регістр з шести тригерів, що перетворює кожен вхідний біт в два вихідних (швидкість кодера $\frac{1}{2}$). В DVB можна вибирати швидкість згорткового кодування $\frac{1}{2}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{5}{6}$, $\frac{7}{8}$.

До сих пір функціонально все було аналогічно системі 8-VSB.

Для забезпечення високої спектральної ефективності використовуються інші види квадратурної багатопозиційної модуляції (див. Табл. 2.1). При цьому для підвищення ефективності боротьби з завмираннями сигналів, пов'язаними з характерним для наземного ефірного телебачення їх перевідбиттям від багатопверхових міських будівель, в стандарті, DVB-T додатково використовується ортогональна частотна модуляція (OFDM) з спеціальними захисними інтервалами, а також гнучке управління параметрами завадостійкого кодування. Це дозволяє адаптивно змінювати ступінь завадозахищеності і швидкість передачі в залежності від реальної завадової ситуації. Дані можливості дозволяють створювати системи ефірного цифрового телебачення, оптимальні для кожного населеного пункту або міста. Стандарт DVB-T дозволяє застосовувати звичайне застаріле антенно-розподільне обладнання без всяких доробок, тоді як в ATSC необхідне застосування вузьконаправлених ТВ антен з можливістю підстроювання (за допомогою мотора), що не гарантує при цьому впевнений прийом.

Проекти, які вже реалізовані, показали незаперечні переваги стандартів DVB. В Австралії було проведено глибокий порівняльний аналіз стандартів DVB-T та ATSC, результатом якого з'явився вибір DVB-T. У Сінгапурі були проведені порівняльні випробування DVB-T, ATSC і японського стандарту ISDB-T, який є модифікацією DVB-T, і вибір припав на стандарт DVB-T. Виділення діапазону для мовлення DVB-T в США також підтвердило перевагу цього стандарту перед ATSC, зокрема, досягнуто реальне зменшення потужності передавача при збереженні прийнятної якості ТВ мовлення.

Протистояння американського і європейського стандартів в Україні також питання минулого, оскільки вибір на користь DVB зроблений остаточно. Практично у всіх населених пунктах України приймаються передачі наземного цифрового телебачення в стандарті DVB-T2. У 2017 році здійснено повний перехід до цифрового телевізійного мовлення.

Головні групи DVB стандартів по областях використання

Назва стандарту	Призначення	Опис	Модуляція
DVB-S	Супутникове мовлення (<i>Satellite services</i>)	Передача компресованої відео-, аудіо- та додаткової цифрової інформації через супутник	Квадратурна фазова модуляція QPSK, 8PSK
DVB-S2	Супутникове мовлення другого покоління (<i>Satellite 2nd generation</i>)	Те ж, що і DVB-S з можливістю використовувати додаткові типи модуляції з підвищеною у декілька разів пропускну спроможністю каналу зв'язку, а також інші удосконалення	QPSK, 8PSK, 16APSK або 32APSK,
DVB-SH	Супутникове мобільне мовлення (<i>Satellite handheld</i>)	Супутникове/наземне мовлення з можливістю мобільного прийому. Можливість сумісного використання супутникових та наземних систем зв'язку (гібридні мережі).	QPSK, 8PSK, 16APSK
DVB-C	Кабельне мовлення (<i>Cable</i>)	Передача компресованої відео-, аудіо- та додаткової цифрової інформації через кабельні мережі.	16-QAM, 32-QAM, 64-QAM, 128-QAM або 256-QAM,
DVB-C2	Кабельне мовлення другого покоління (<i>Cable 2nd generation</i>)	Цифрове кабельне телебачення другого покоління	QPSK, 16-QAM, 64-QAM, 256-QAM, 1024-QAM, 4096-QAM
DVB-T	Наземне ефірне мовлення (<i>Terrestrial</i>)	Передача компресованої відео-, аудіо- та додаткової цифрової інформації через мережу наземного ефірного телебачення	COFDM з багатопозиційною модуляцією піднесучих QAM или 64-QAM (або QPSK)
DVB-T2	Ефірне мовлення другого покоління (<i>Terrestrial 2nd generation</i>)	Те ж, що й DVB-T з використанням нових видів модуляції та каналного кодування, що збільшує пропускну спроможність каналу цифрового телевізійного мовлення в порівнянні з DVB-T у два рази. Стандарт DVB-T2 несумісний з DVB-T	COFDM з багатопозиційною модуляцією піднесучих QPSK, 16-QAM, 64-QAM або 256-QAM
DVB-H	Наземне ефірне мобільне мовлення (<i>Handheld</i>)	Те ж, що й DVB-T, тільки для мобільного прийому	COFDM
DVB-IPDC	Передача даних через IP-протокол (<i>IP Datacast</i>)	Спосіб подання інформації для мобільного телебачення DVB-H (в загальному випадку — для передачі по мережам IP).	COFDM

2.4 Особливості стандарту ISDB

В Японії цифрове телебачення з'явилося в жовтні 1996р. Компанія PerfecTV передавала сигнал за допомогою DVB-S. Трохи пізніше, в грудні 1997р. На японський ринок цифрового телебачення вийшла компанія DirecTV, яка також запропонувала мовлення в тому ж форматі. Однак стандарт DVB-S не у повному обсязі задовільняв вимоги основних японських телерадіомовних компаній, наприклад, NHK, Nippon Television, TBS, Fuji Television, TV Asahi, TV Tokyo і WOWOW. Саме з цієї причини організація по стандартизації та розподілу радіочастот Association of Radio Industries and Businesses (ARIB) взялася за створення свого власного стандарту для передачі цифрового телебачення і радіо під єдиною назвою Integrated Services Digital Broadcasting (ISDB).

Стандарт цифрового телебачення ISDB інтегрує в себе різні види цифрового контенту. Це може бути HDTV, SDTV, звук, графіка, текст і т.п. Вимоги до стандарту варіювалися, але основними пунктами були: сумісність з HDTV, висока ефективність використання частотного діапазону, а також доступ до мережі. Супутниковий стандарт ISDB-S це модифікований європейський стандарт DVB-S з збільшеною 1,5 рази пропускною здатністю. З використанням цього стандарту через один транспондер стало можливим передавати одночасно два HDTV-каналу.

Сьогодні в Японії систему мовлення ISDB-S підтримали SKY PerfecTV!, Skyport TV, Sky D, CS burn, Platone, EP, DirecTV.

Основних специфікацій стандарту ISDB чотири:

- наземна ISDB-T;
- супутникова ISDB-S;
- кабельна ISDB-C;
- мобільна.

Також, як і в стандартах ATSC і DVB, для стиснення відеопотоку при ISDB-мовленні використовується система кодування MPEG-2.

У стандарті ISDB визначена підтримка функції захисту цифрового контенту — RMP (Rights management & protection). Як відомо, цифровий контент може бути записаний з використанням DVD або HD-рекордера, а далі — використаний при тиражуванні піратських дисків. Голлівуд наполіг на внесення поправок в цифровий формат мовлення ISDB, що і стало причиною появи системи RMP. Цифровий контент при використанні даної системи має три можливих маркування — «copy onse», «copy free» і «copy never». Пояснити роботу системи просто. Якщо програма йде в режимі «copy onse», то вона може бути один раз збережена на жорсткому диску рекордера, однак її неможливо буде переписати на інший носій.

У ISDB використовується транспортний потік MPEG-2 для передачі стислих відео і звуку, а також додаткових даних. Для інтерактивних додатків застосовується BML (Broadcast Mark-up Language — мова розмітки мовлення). Визначено декілька стандартів якості телевізійної трансляції: SDTV (720 × 480); HDTV (1280 × 720 або 1920 × 1080).

Крім MPEG-2, використовується специфіковане кодування відео по MPEG-4 для дозволів CIF, SIF, QCIF, QSIF і QVGA. Основний метод стиснення звуку — MPEG-4.

У ISDB-T підтримуються електронні програми передач MPEG-4EPG (Electronic Program Guides), доступу в Інтернет (включаючи доступ через мобільний телефон, дротову локальну мережу 10/100 Base-T, модем телефонної лінії фіксованого зв'язку, безпроводову локальну мережу IEEE 802.11).

Важлива особливість ISDB — обов'язкове шифрування інформації, навіть при передачі безкоштовних загальнонаціональних телепрограм. Для цього потрібні картки доступу абонента В-CAS однойменної японської компанії, що надаються з кожним проданим апаратом. Більш того, ретельно опрацьовані питання захисту контенту та управління правом доступу RMP (Rights management and protection).

Важлива увага приділяється надійності прийому на внутрішні антени, захист від зовнішніх імпульсних завад, а також прийому рухомими приймачами. Наприклад, стандарт ISDB-T передбачає прийом сигналу HDTV в автомобілі на швидкості до 100 км/год, тоді як DVB допускає прийом на мобільний термінал тільки програм SDTV, а в стандарті ATSC взагалі не передбачений рухомий прийом.

Супутникова версія ISDB-S (BS) має швидкість 52,2 Мбіт/с при модуляції 8PSK і транспондері з смугою 34,5 МГц. Успадкований варіант CS підтримує тільки один транспортний потік в транспортному каналі зі швидкістю 34 Мбіт/с у смузі 27 МГц. Використовується модуляція QPSK, а також MPEG-2 MP @ ML (480i або 480p) для відео і MPEG-2 BC для звуку.

Для кабельної специфікації ISDB-C визначена модуляція 64 QAM в двох версіях (один транспортний потік — один тракт, або кілька потоків в тракті). При цьому в двох кабельних каналах можлива ретрансляція одного супутникового каналу або наскрізна передача OFDM-сигналу ISDB-T.

ISDB-T (модуляція PSK/QAM ущільнення каналів COFDM) забезпечує потік 23,2 Мбіт/с в смузі 5,6 МГц, а також цифрове радіомовлення в частотному діапазоні 2,6 ГГц з модуляцією CDMA.

Стандарт ISDB діє в Японії з кінця 2003 року. Він також прийнятий в Бразилії, Чилі, Перу та Аргентині.

Питання для самоконтролю

1. Назвіть і коротко охарактеризуйте основні системи передачі цифрового телебачення.
2. Які основні операції над цифровим сигналом ТБ і порядок їх виконання на передавальній стороні.
3. Які основні операції над цифровим сигналом ТБ і порядок їх виконання на приймальній стороні.
4. Назвіть і коротко охарактеризуйте основні стандарти цифрового телебачення.
5. Поясніть сутність американського стандарту цифрового телебачення ATSC.
6. Поясніть сутність європейського стандарту цифрового телебачення DVB.
7. У чому сутність прийнятої в ATSC багатопозиційною амплітудної модуляції VSB
8. Назвіть основні групи стандартів DVB по областям їх застосування.

Література до розділу 2

1. Hervé Benoit. Digital television: satellite, cable, terrestrial, IPTV, mobile TV in the DVB framework / Hervé Benoit. — 3rd ed. 2008. — 290 p.
2. Локшин Б.А. Цифрове мовлення: Від студії до телеглядача. — М.: Компанія Сайрус СИСТЕМС, 2001. — 446 с.
3. ISDB-T — Digital terrestrial broadcasting in Japan. TV Test Transmitter R & S SFQ / R & S SFL. News from Rohde & Schwarz. Number 177 (2003 / I)
4. Takahashi Yasuo. Feature / Standard Structure of ISDN-T. Digital Broadcasting Expert Group (DiBEG). Japan (Toshiba). February, 2008.
5. Мамч Г.В. Основи радіозв'язку та телебачення. Навчальний посібник для вузів. — М.: Гаряча лінія — Телеком, 2007. — 416 с.
6. Зубарев Ю.Б., Кривошеєв М.И., Красносельський І.М. Цифрове телевізійне мовлення. Основи, методи, системи. — М.: НИИР, 2001. — 568 с.

3 СТАНДАРТИ НАЗЕМНОГО ЕФІРНОГО ЦИФРОВОГО ТЕЛЕБАЧЕННЯ DVB-T І DVB-T2

3.1 Стандарт наземного ефірного телевізійного мовлення DVB-T

3.1.1 Загальна характеристика стандарту DVB-T

Стандарт DVB-T цифрового ефірного ТБ-мовлення для Європи і інших країн був прийнятий в 1996 р. — на два роки пізніше аналогічних стандартів для супутникових (DVB-S) і кабельних (DVB-C) каналів зв'язку. Ця затримка була викликана необхідністю застосування більш складних технічних методів передачі цифрової інформації при збереженні прийнятної вартості цифрового ефірного телевізора, а також через не дуже високу комерційну кон'юнктуру, зважаючи на відсутність вільних ТБ-каналів в діапазоні ДМВ у більшості країн Європи. Знизити вартість цифрового телевізора вдалося за рахунок застосування в стандарті DVB-T апробованих технічних рішень і технологій, розроблених для систем цифрового супутникового і кабельного мовлення. Це зажадало уніфікації ряду методів обробки цифрових сигналів в зазначених системах. Дане завдання було вирішене шляхом розробки комерційних вимог до цифрової системи ефірного мовлення, на підставі яких були вибрані необхідні уніфіковані технічні рішення.

При цифровому наземному ефірному телевізійному мовленні основним руйнівним чинником цифрового каналу є завади пов'язані з багатопроменевим розповсюдженням радіохвиль. Цей вид завад особливо характерний для ефірного прийому в містах з різноповерховою забудовою через багаторазове відбиття радіосигналу від будівель та інших споруд. При багатопроменевому прийомі в декодер надходять два або більше однакових по характеру чергування символів цифрові послідовності, але зміщені у часі. Оскільки аналіз переданого значення символу «0» або «1» у декодері зазвичай проводиться в середині символу, то в разі, якщо затримка радіосигналу другого променя стає близькою або більше половини тривалості символу, відбувається різке зростання цифрових помилок, аж до повного руйнування цифрового каналу. При стаціонарному ефірному прийомі боротися з впливом багатопроменевості можна шляхом застосування гостронаправлених багатоелементних ТБ-антен, що зазвичай і робиться в системах колективного ефірного прийому. Але це не вирішує проблеми повністю, оскільки при цьому не можна буде гарантувати впевнений прийом цифрових ТБ-програм на переносні приймачі, в яких використовуються прості антени. Радикальним вирішенням цієї проблеми стало застосування в ефірних каналах ТБ-мовлення модуляції COFDM (Coded Orthogonal Division Multiplexing), спеціально розробленої для боротьби з перешкодами при багатопроменевому прийомі.

3.1.2 Особливості використання та параметри COFDM

При COFDM використовується ортогональне частотне мультиплексування (OFDM) спільно з перешкодостійким каналним кодуванням. При COFDM послідовний цифровий потік перетворюється у велике число паралельних потоків (субпотоків), кожен з яких передається на окремій піднесучій частоті. Група несучих частот, яка в даний момент часу переносить біти паралельних цифрових потоків, називається «символом COFDM». Завдяки тому, що використовується велика кількість паралельних потоків (зазвичай 1705 або 6817 субпотоків), тривалість одного символу в паралельних потоках істотно більше, ніж в послідовному потоці даних (відповідно 280 або 1120 мкс — залежно від числа використовуваних субпотоків). Це дозволяє в декодері затримати момент оцінки значень прийнятих символів на час, протягом якого зміни параметрів радіоканалу через дію ехо-сигналів припиняться, і канал стане стабільним. Таким чином, при COFDM часовий інтервал символу субпотoku T_s ділиться на дві частини — захисний інтервал Δ , протягом якого оцінка значення символу в декодері не проводиться, і робочий інтервал символу T_u , за час якого приймається рішення про значення прийнятого символу (рис. 3.1).

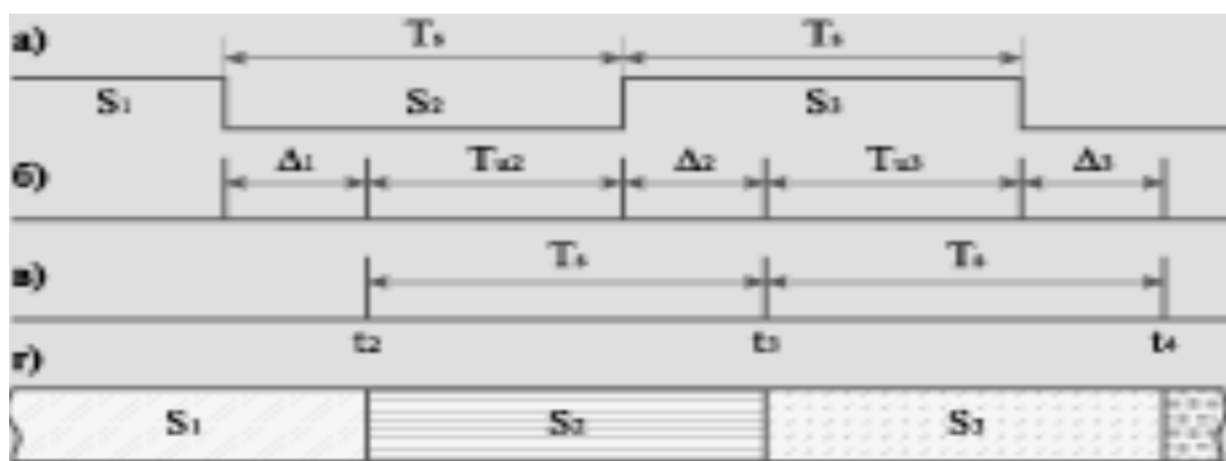


Рисунок 3.1- Взаємне розташування часових інтервалів:

- а) послідовність інформаційних символів S_1, S_2, S_3 одного субпотoku;
- б) захисні ($\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3$) і робочі інтервали (T_{u1}, T_{u2}); в) моменти початку і закінчення модуляції несучої (t_2, t_3, t_4) інформаційними символами S_1, S_2, S_3 ;
- г) піднесучі, модульовані символами S_1, S_2, S_3

Для забезпечення близького до оптимального використання радіоспектра при різних конфігураціях мереж ТВ-мовлення застосовуються різні значення захисних інтервалів. Завдяки цьому система може використовуватися для мовлення як в одночастотній мережі з великою зоною покриття, так і для малих зон, що обслуговуються одним передавачем.

Для одночастотної радіомережі типовим видом ехо-сигналів є сигнали від сусідніх по територіальному розміщенню радіопередавачів, які

передають однакові символи COFDM. Ці сигнали не відрізняються від класичних ехо-сигналів і їх можна оцінювати як ехо-сигнали, якщо вони будуть надходити в приймач під час захисного інтервалу Δ . Таким чином, вибір тривалості захисного інтервалу залежить від розміщення сусідніх передавачів одночастотних радіомереж ТВ мовлення. Збільшення тривалості захисного інтервалу дозволяє збільшити відстань між сусідніми радіопередавачами. З іншого боку, тривалість захисного інтервалу доцільно вибирати невеликою, оскільки захисний інтервал не використовується для передачі корисної інформації і його введення обмежує її обсяг.

Такі параметри OFDM, як число піднесучих в груповому спектрі, величина їх частотного рознесення, тривалість захисного і робочого інтервалу інформаційного символу взаємопов'язані і вибираються шляхом компромісних рішень. При розробці стандарту DVB-T вибір цих параметрів виявився найбільш складним і дискусійним питанням. Частотне рознесення Δf між сусідніми несучими $f_1, f_2 \dots f_n$ в груповому радіоспектрі COFDM (рис. 3.2) вибирається з умови можливості виділення у демодуляторі індивідуальних несучих. При цьому можливе застосування двох методів частотного поділу (демультиплексування) несучих: смугової фільтрації; ортогональних перетворень сигналів.

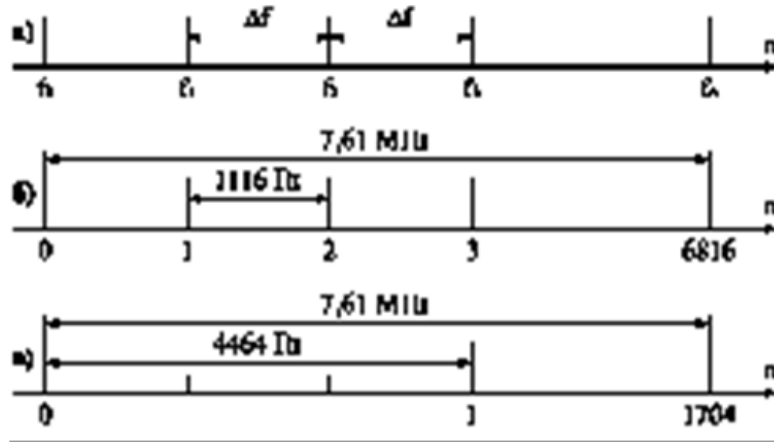


Рисунок 3.2 — Груповий спектр піднесучих COFDM:
 а) частотне рознесення піднесучих;
 б) груповий спектр при частотному рознесенні 1116 Гц;
 в) груповий спектр при частотному рознесенні 4464 Гц

У першому випадку частотний зсув між модульовані несучими (рис. 3.2а) вибирається таким, щоб їх перші бічні смуги сусідніх символів не перекривалися. Ця умова буде виконана, якщо величину частотного розносу Δf вибрати рівній $2/T_u$, де T_u — робочий інтервал інформаційного символу (див. Рис. 3.1). Однак при цьому ефективність використання радіоспектра буде невисокою.

Тому обрано ортогональний метод поділу несучих, при якому частотний розніс може бути зменшений у два рази в порівнянні з першим методом. За рахунок цього у два рази підвищується спектральна ефективність передачі цифрової інформації (біт/с)/Гц. У нашому випадку дві модульовані несучі будуть ортогональними, якщо інтеграл від їх добутку за час тривалості робочого інтервалу T_u дорівнює нулю. З цієї причини при ортогональному методі демодуляції несучих групового спектру взаємні перешкоди від сусідніх несучих будуть також дорівнюють нулю, незважаючи на те, що їх сусідні бічні смуги взаємно перекриваються (див. Рис. 2.25) Для виконання умов ортогональності необхідно, щоб частотний рознос між несучими був постійний і точно дорівнює значенню $\Delta f = 1/T_u$, тобто на інтервалі T_u має укладатися ціле число періодів різницевої частоти $f_2 - f_1$. Виконання цього співвідношення досягається введенням в модемі COFDM двох функціональних блоків для демодуляції *сигналів синхронізації несучих частот групового спектру та сигналів синхронізації тактових частот*.

Основні параметри сигналів COFDM наведені в табл. 3.1. У стандарті ефірного мовлення DVB-T передбачені два режими модуляції COFDM, названі режимами 8К і 2К, для яких використовуються два значення робочих інтервалів інформаційних символів: $T_{u1} = 896$ мкс — для режиму 8К і в 4 рази менше значення $T_{u2} = 224$ мкс — для режиму 2К. Цим робочим інтервалам відповідають два значення частотного розносу несучих в груповому спектрі COFDM: $\Delta f_1 = 1/896$ мкс = 1116 Гц і $\Delta f_2 = 1/224$ мкс = 4464 Гц (рис. 3.2б, в), при яких в груповому спектрі OFDM міститься $n_1 = 6817$ для першого режиму і $n_2 = 1705$ несучих — для другого режиму модуляції. Загальна ширина спектра групового сигналу в обох випадках дорівнює 7,61МГц.

Надзвичайно важливо з практичної точки зору, що спектр групового сигналу COFDM можна розмістити в стандартному ефірному радіоканалі аналогового телебачення шириною 8МГц, забезпечуючи між сусідніми радіоканалами захисні частотні інтервали по $\sim 0,39$ МГц. Узгодженість спектру групового сигналу COFDM з існуючими радіоканалами ефірної мережі ТВ-мовлення суттєво спрощує впровадження системи цифрового телебачення.

Стандартом для кожного режиму модуляції передбачені 4 відносних значення (від тривалості робочого інтервалу) захисних інтервалів $1/4$; $1/8$; $1/16$ і $1/32$. Відповідні їм абсолютні значення тривалостей захисних інтервалів і інформаційних символів в мкс і періодах тактової частоти $T_0 = 7/64$ мкс наведені в табл. 4.1. У цій же таблиці вказаний максимальний територіальний розніс між ТВ-передавачами однієї ТВ-програми в синхронній одночастотній мережі ефірного мовлення. Він може вибиратися при проектуванні мережі в межах від 8,4 до 67,2 км і від 2,1 до 16,8 км відповідно для режимів модуляції 8К і 2К.

Основні параметри COFDM

Режим модуляції	8К	2К
Тривалість робочого інтервалу T_u в мкс, в числі періодів T_0 (тактовий період $T_0 = 7/64$ мкс)	896 8192	224 2048
Частотне рознесення несучих $\Delta f = 1/T_u$, Гц	1116	4464
Число піднесучих в спектрі групового сигналу, n	6817	1705
Ширина спектра групового сигналу несучих, МГц	7,61	7,61
Відносна тривалість захисного інтервалу, Δ/T_u	1/4, 1/8, 1/16, 1/32	1/4, 1/8, 1/16, 1/32
Тривалість захисного інтервалу Δ в числі періодів T_0	224, 112, 56, 28 2048, 1024, 512, 256	56, 28, 14, 7 512, 256, 128, 64
Тривалість символу повідомлення $T_s = \Delta + T_u$ в числі періодів T_0	1120, 1008, 952, 924 10240, 9216, 8704, 8448	280, 252, 238, 231 2560, 2304, 2176, 2112
Максимальне віддалення ТВ-передавачів в одно-частотній мережі мовлення	67,2 33,6 16,8 8,4	16,8 8,4 4,2 2,1

Зупинимося на причинах, за якими в стандарті ефірного мовлення DVB-T були прийняті два варіанти режимів модуляції (8К і 2К), оскільки ці фактори необхідно враховувати при проектуванні мережі мовлення.

Режим модуляції 8К дозволяє в одночастотній мережі ефірного мовлення використовувати територіальний рознос між передавачами однакових ТВ-програм до 67 км. При цьому забезпечуються значна зона покриття, прийнятні потужності ТВ-передавачів і стандартні висоти антенно-щоглових споруд. Економічні переваги такої мережі стають особливо помітними при організації ТВ-мовлення в країнах з великими територіями, за рахунок скорочення загального числа передавальних телевізійних станцій мережі. З цих причин в стандарт був введений режим модуляції 8К. Технічно режим 8К реалізується шляхом виконання в модуляторі інверсного дискретного перетворення Фур'є і прямого дискретного перетворення Фур'є — в демодуляторі телевізора, для чого потрібні процесори з двійковою ємністю $2^{13} = 8192 = 8К$. Однак, наявні в першій половині 90-х років минулого століття Фур'є-процесори першого покоління не підходили для цього ні за швидкістю, ні за вартістю. Це не дозволяло розпочати одночасно з прийняттям стандарту розробку апаратури з режимом модуляції 8К [2]. З цієї причини було прийнято рішення ввести в стандарт другий — технічно простіший режим 2К, для якого вже були необхідні процесори з двійковою

ємністю $2^{11} = 2048 = 2К$. В результаті було прийнято загальний стандарт з модуляцією 2К і 8К з різним числом несучих. Специфікація стандарту 2К дозволила почати впровадження цифрового ефірного мовлення, а специфікація стандарту 8К могла бути реалізована пізніше, після розробки відповідного процесора. Відзначимо, що з появою процесорів 8К і необхідності побудови мережі ефірного мовлення з великою зоною покриття перевагу необхідно віддати режиму модуляції 8К і використовувати його при створенні мережі цифрового ефірного мовлення.

3.2.2 Методи модуляції несучих в груповому сигналі COFDM

Стандартом передбачено, що в модемі COFDM можуть бути використані наступні види модуляції несучих групового сигналу:

- квадратурна фазова модуляція (QPSK);
- 16- і 64-рівнева квадратурна амплітудна модуляція (16-QAM або 64-QAM) з рівномірним або нерівномірним розташуванням вершин векторів сигналу в кодовому просторі сигналів.

Вибір конкретного виду модуляції здійснюється в залежності від необхідної швидкості передачі даних з урахуванням необхідної надмірності, необхідної для їх завадостійкого кодування. Цю надмірність легко оцінити, виходячи з того, що при завадостійкому кодуванні в модемі використовуються згорткові коди з відносними швидкостями: $\frac{1}{2}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{5}{6}$, $\frac{7}{8}$, в результаті чого швидкість цифрового потоку після завадостійкого кодування збільшується в число раз, рівне одиниці, поділеній на відносну швидкість коду. Наприклад, при використанні згорткового коду з відотною швидкістю $\frac{3}{4}$, швидкість цифрового потоку для збереження необхідної інформаційної пропускної здатності необхідно збільшити у $\frac{4}{3} = 1,33$ рази. Дані, для вибору виду модуляції у залежності від необхідної швидкості цифрового потоку для різних значень відотної швидкості згорткового коду і відотної тривалості захисного інтервалу в інформаційному символі, наведені в табл. 3.2. Дані цієї таблиці не залежить від режиму модуляції 8К або 2К, так як при переході від режиму 8К до режиму 2К зі зменшенням числа піднесучих у 4 рази, одночасно у 4 рази збільшується швидкість передачі даних на кожній піднесучій. У табл. 3.2 також вказані необхідні значення SNR , дБ (відношень сигнал/шум) в ефірному радіоканалі для двох випадків ефірного прийому — на стаціонарну багатоелементну антену і на антену переносного телевізора. Наведені значення SNR забезпечують ймовірність помилок $2 \cdot 10^{-4}$ на виході декодера згорткового коду. Остаточний вибір вказаних параметрів системи цифрового мовлення здійснюється шляхом порівняльного аналізу кількох альтернативних варіантів.

Швидкість передачі даних при модуляції OFDM 8К і 2К

Вид мод.	Швідк коду	SNR, дБ		Корисна швидкість, Мбіт/с			
		Перен. Антена	Стац. Антена	$\Delta/T_u=1/4$	$\Delta/T_u=1/8$	$\Delta/T_u=1/16$	Δ
QPSK	1/2	3,6	5,4	4,98	5,53	5,85	6,03
QPSK	2/3	5,7	8,4	6,64	7,37	7,81	8,04
QPSK	3/4	6,8	10,7	7,46	8,29	8,78	9,05
QPSK	5/6	8,0	13,1	8,29	9,22	9,76	10,05
QPSK	7/8	8,7	16,3	8,71	9,68	10,25	10,56
16-QAM	1/2	9,6	11,2	9,95	11,06	11,71	12,06
16-QAM	2/3	11,6	14,2	13,27	14,75	15,61	16,09
16-QAM	3/4	13,0	16,7	14,93	16,59	17,56	18,10
16-QAM	5/6	14,4	19,3	16,59	18,43	19,52	20,11
16-QAM	7/8	15,0	22,8	17,42	19,35	20,49	21,11
64-QAM	1/2	14,7	16,0	14,93	16,59	17,56	18,10
64-QAM	2/3	17,1	19,3	19,91	22,12	23,42	24,13
64-QAM	3/4	18,6	21,7	22,39	24,88	26,35	27,14
64-QAM	5/6	20,0	25,3	24,88	27,65	29,27	30,16
64-QAM	7/8	21,0	27,9	26,13	29,03	30,74	31,67

3.2.2 Особливості неієрархічного та ієрархічного режимів модуляції

При квадратурній фазовій (QPSK) і амплітудній модуляції (16-QAM або 64-QAM) сигнал несучої формується з використанням квадратурної модуляції шляхом сумування двох квадратурних компонентів **I** і **Q**. Орієнтація вектору **I** співпадає з віссю абсцис — синфазна компонента $\cos\omega t$, а вектор **Q** співадає з віссю ординат — квадратурна компонента $\sin\omega t$. При цьому фаза вектора **I** приймається за нульову і відносно неї здійснюється оцінка фазових положень векторів модульованого сигналу — дійсні числа, а по осі ординат — уявні. В системі координат **I** і **Q** вектору **I** відповідає сигнал $\cos\omega t$, а вектору **Q** — сигнал $\sin\omega t$.

Таким чином простором сигналів модульованої несучої є дискретні положення вершин сумарного вектора (**I** + **Q**) в системі координат **I** і **Q**.

У системі COFDM при використанні модуляції QPSK вектора **I** і **Q** мають однакові і постійні амплітуди, дискретно змінюються тільки фази, які можуть набувати значень 0° або 180° — для вектора **I** і 90° або 270° — для вектора **Q**. При цьому вершини сумарного вектора (**I**+**Q**) з переходом від одного фазового стану в інше описують коло (рис. 3.3). При 4-QAM вектора **I** і **Q** приймають такі ж фіксовані значення фази, що й при QPSK, але за рахунок дискретної зміни амплітуд квадратурних компонент.

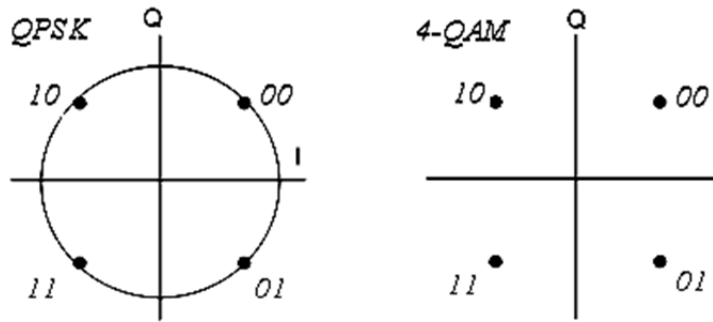


Рисунок 3.3 — Простір сигналів QPSK і 4-QAM

По суті 4-QAM це той же фазоманіпульований сигнал, що і QPSK, але реалізований іншим методом.

При 4-QAM вершини сумарного вектора ($I+Q$) лежать в вершинах квадрата, який вписується в коло QPSK, тобто простори сигналів QPSK і 4-QAM збігаються. Таким чином, якщо вибрати однакові маніпуляційні коди, то сигнали QPSK і 4-QAM можна буде формувати і демодулювати одними і тими ж пристроями, що корисно при створенні уніфікованого модему COFDM для декількох видів модуляції.

У порівнянні з 4-QAM перехід до 16-QAM дозволяє збільшити швидкість передачі даних у 2 рази, а перехід до 64-QAM — у 4 рази.

У стандарті передбачено два види дискретизації амплітуд векторів I і Q — з рівномірним і нерівномірним кроком.

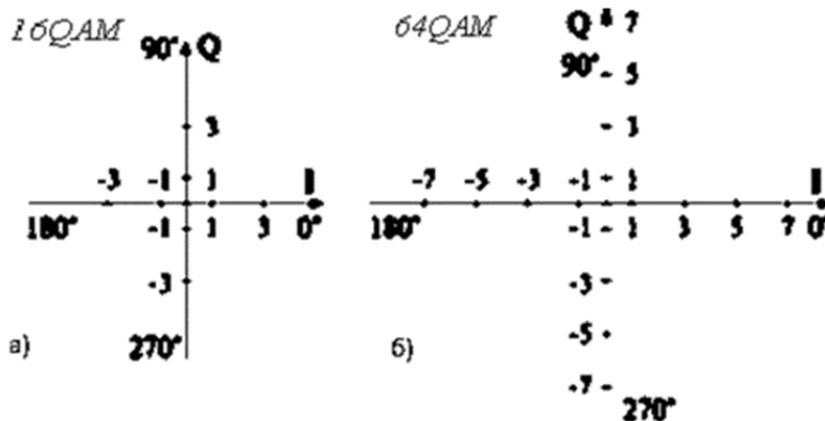


Рисунок 3.4 — Дискретні значення фаз і амплітуд векторів I і Q за неієрархічному режимі модуляції 16-QAM і 64-QAM

При рівномірній дискретизації режим модуляції зветься *неієрархічним*. Він забезпечує однакову стійкість для всіх переданих кодових комбінацій. У цьому режимі модуляції амплітуди векторів I і Q приймають по 4 фіксованих значення, рівних $(-3; -1; +1; +3)$ кроків дискретизації амплітуди для 16-QAM і по 8 фіксованих значень, рівних $(-7; -5; -3; -1; +1; +3; +5; +7)$ кроків дискретизації амплітуди для 64-QAM (рис. 4.4 а, б).

Використання ієрархічного режиму модуляції дозволяє підвищити живучість системи цифрового мовлення при несприятливих умовах ефірного прийому. Наприклад, при низькому SNR, наявності завад від інших радіозасобів, прийом на кімнатну антену і т.п.

У ієрархічному режимі цифровий потік розбивається на два потоки. Швидкість першого потоку дорівнює $\frac{1}{2}$ при 16-QAM і $\frac{1}{3}$ при 64-QAM від швидкості основного потоку. При цьому швидкість 2-го потоку складає, відповідно, $\frac{1}{2}$ або $\frac{2}{3}$ від швидкості основного потоку. Перший потік кодується з більш високою завадостійкістю, і в ньому передається найбільш значна частина інформації, наприклад, старші розряди відео- і звукокоданих. Другий потік кодується з меншою завадостійкістю і використовується для передачі менш значущої частини інформації. При цьому значенню сигнал/шум для порогових точок демодуляції першого і другого потоку вибирається в межах 10...15 дБ.

При ієрархічній модуляції у першій частині потоку використовуються більш високі профілі стандарту MPEG-2. Тобто замість одного основного профілю стандарту в MPEG-2 використовуються два профілі з масштабованими SNR, при яких живучість системи при несприятливих умовах прийому (при зменшенні SNR) штучно підвищується. Тобто при несприятливих умовах, коли не вдається демодулювати другий цифровий потік, ТВ-зображення на екрані телевізора зберігається, хоча і відтворюється з погіршеною якістю (підвищеним рівнем шумів і зниженою чіткістю). З поліпшенням умов прийому якість зображення повністю відновлюється.

Перехід до ієрархічної модуляції здійснюється за рахунок застосування двох значень кроку дискретизації значень векторів I і Q . Менше значення кроку дискретизації d_1 залишається таким же, як і при неієрархічній модуляції, а більше значення d_2 вибирається у 2 або 4 рази більше d_1 , тобто $d_2 = a \cdot d_1$, де $a = 2$ або 4 .

Простір сигналів 16- або 64-QAM будується наступним чином. Для перших від початку координат точок уздовж позитивних і негативних напрямків вісей I і Q використовується крок дискретизації $d_2/2$. Решта точок на зазначених вісях дискретизуються з кроком d_1 (рис. 3.5 а,б).

На рис. 3.5 а, б показані дискретні значення амплітуд векторів I і Q при ієрархічній 64-рівневій QAM. Кожен вектор може мати 8 фіксованих амплітуд рівних $-8, -6, -4, -2, +2, +4, +6, +8$ кроків дискретизації d_1 при $a = 2$ або $-10, -8, -6, -4, +4, +6, +8, +10$ кроків дискретизації d_1 при $a = 4$.

У разі 16-QAM число фіксованих значень амплітуд векторів I і Q зменшується до 4, і ці дискретні значення будуть збігатися з вищевказаними на інтервалах від $(-4, -2, +2, +4)$ при $a = 2$ і від $(-6, -4, +4, +6)$ при $a = 4$. При модуляції амплітуди векторів I і Q можуть в довільному порядку приймати одне з 4 (при 16-QAM) і одне з 8 (при 64-QAM)

зазначених фіксованих значень. У підсумку в просторі сигналів 16/64-QAM будуть присутні 16 або 64 сумарних вектора ($I + Q$), відстань між вершинами яких буде максимальним при значеннях амплітуд векторів (I , Q) рівних: $(2,2)$; $(2, -2)$; $(-2, 2)$; $(-2, -2)$ — для випадків 16/64-QAM з $a = 2$ і $(4,4)$; $(4, -4)$; $(-4, 4)$; $(-4, -4)$ — для випадків 16/64-QAM з $a = 4$. Ці кодові комбінації будуть мати максимальну завадостійкість, і їх необхідно використовувати при передачі найбільш значащої частини інформації.

На рис. 3.6 як приклад показані простір сигналів і маніпуляційні коди модему COFDM при ієрархічній модуляції 64-QAM з $a = 2$.

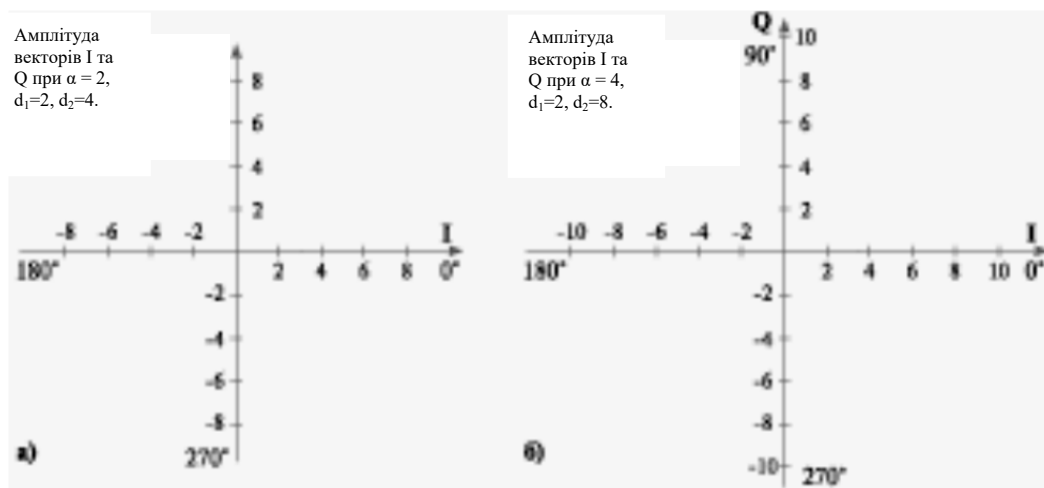


Рисунок 3.5 — Дискретні значення амплітуд векторів I і Q при ієрархічній 64-рівневій QAM

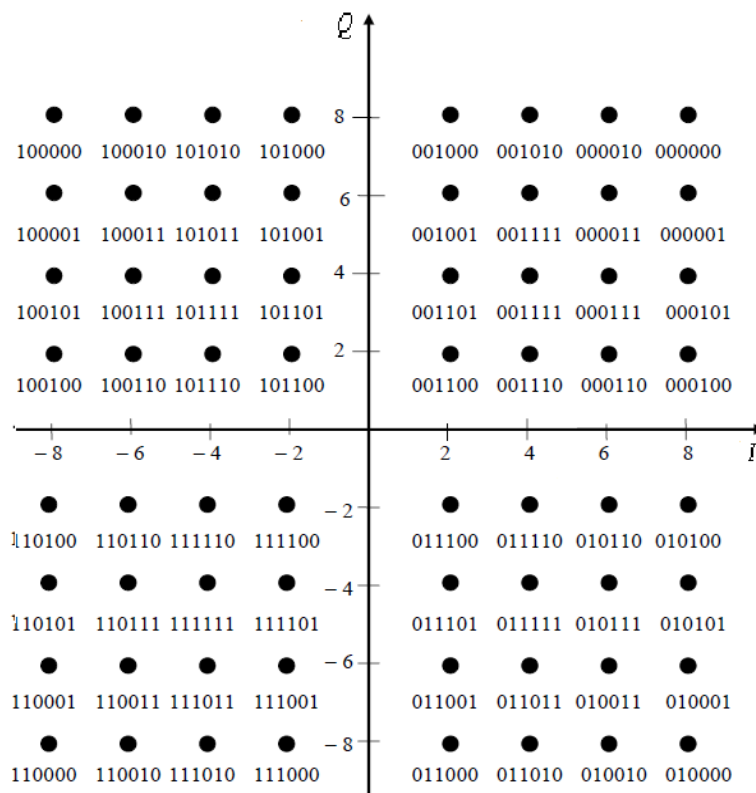


Рисунок 3.6 — Простір сигналів і маніпуляційні коди модему OFDM при ієрархічній модуляції 64-QAM з $a = 2$

3.1.5 Структура кадру COFDM

При виборі структури кадру необхідно забезпечити, по-перше, швидке входження в синхронізм демодулятора цифрового телевізора, з тим щоб не викликати роздратування у телеглядачів в моменти перемикання телевізора з однієї програми на іншу. Подруге, формат кадру COFDM повинен бути узгоджений з форматом транспортного пакета MPEG-2 (тривалість пакета 204 байти), з тим щоб взаємні перетворення цих форматів в модемі могли бути виконані простими технічними засобами. В результаті врахування цих вимог в стандарті була прийнята двоступенева структура передачі даних у вигляді супер-кадру, що складається з 4 кадрів OFDM. При цьому в одному супер-кадрі міститься ціле число транспортних пакетів MPEG-2, що дозволяє виробляти взаємні перетворення форматів транспортних пакетів і супер-кадру OFDM без введення в модем OFDM стаффінг-синхронізації. У той же час наявність в супер-кадрі 4 кадрів підвищує в 4 рази швидкість передачі сигналів синхронізації, за рахунок чого забезпечується прийнятний час входження в синхронізм демодулятора телевізора.

Структура кадру OFDM показана на рис. 3.7. Кадр складається з 68 символів OFDM, яким присвоєні номери від 0 до 67. Тривалість кадру (фрейму) дорівнює $T_F = 68T_S$, а значення T_S (тривалість інформаційного символу) для різних режимів роботи наведені в табл. 3.1. Кадр містить для режимів модуляцій 8K і 2K, відповідно 6817 і 1705 піднесучих.

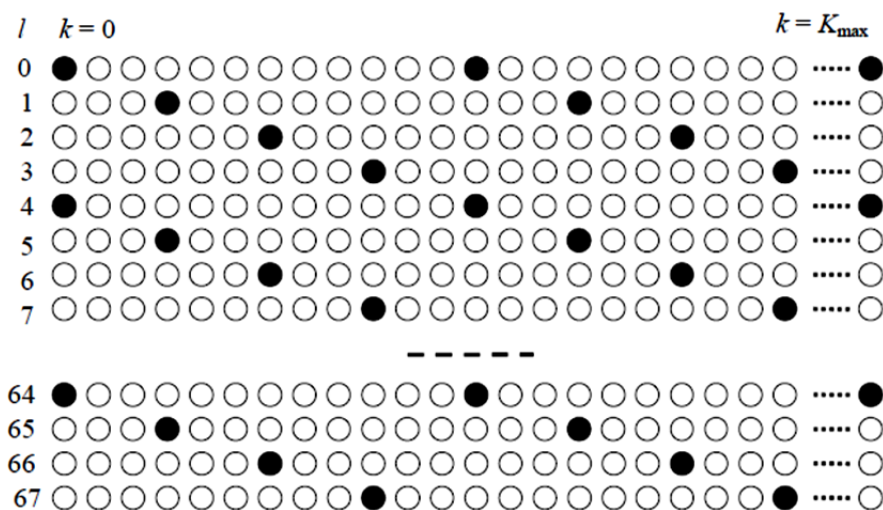


Рисунок 3.7 — Фрагмент структури кадру COFDM з розосередженими пілотними (опорними) сигналами

Для роботи приймального пристрою необхідно разом з інформаційними символами передавати такі опорні сигнали:

- сигнали для фазового автопідстроювання опорних частот демодулятора;
- сигнали тактової синхронізації функціональних блоків демодулятора;
- сигнали для оцінки стану радіоканалу;

– сигнали управління демодулятором, що містять інформацію про режим модуляції, який використовується.

Для цих цілей в кожному символі COFDM для режимів модуляції 8К і 2К виділено, відповідно, 769 і 193 опорних піднесучих, які в порівнянні з інформаційними піднесучими передаються з підвищеною на 2,5 дБ потужністю. При цьому для фазового автопідстроювання опорної сітки когерентних частот демодулятора використовуються так звані фіксовані опорні несучі, частотні позиції яких в кожному символі COFDM постійні. Всього в одному кадрі для цього в режимах 8К і 2К використовується відповідно 177 і 45 фіксованих несучих. Фіксовані несучі модулюються опорною псевдовипадковою послідовністю.

Для підвищення живучості системи COFDM і зниження числа цифрових помилок в демодуляторі ведеться оцінка поточного стану амплітудно-частотної характеристики наскрізного радіоканалу модему, на підставі чого проводиться розрахунок поточної перехідної характеристики радіоканалу і вибирається оптимальний часовий інтервал («часове вікно») для декодування інформаційних сигналів. Для цього й використовуються так звані розосереджені опорні піднесучі (пілот-сигнали), частотні позиції яких зміщуються при переході від одного символу COFDM кадру до іншого символу COFDM (див. Рис. 3.7). Причому, ці зміни номерів розосереджених несучих здійснюються з періодом 4 символи COFDM, тобто, наприклад, частотні позиції розосереджених несучих в символі OFDM з номером 0 і номером 4 збігаються. В результаті такого періодичного зсуву частот розосереджених опорних несучих відбувається більш точне частотне сканування наскрізної АЧХ радіоканалу. Для цієї мети використовуються в режимах 8К / 2К відповідно 524 і 131 розосереджених опорних несучих, які модулюються опорною псевдовипадковою послідовністю. Крім того, для передачі сигналів управління демодулятором в режимах 8К і 2К використовуються відповідно 68 та 17 розосереджених піднесучих, положення яких в кадрі COFDM задається у вигляді таблиці.

3.1.6 Зовнішнє і внутрішнє завадостійке каналне кодування

Канальне кодування використовується для підвищення завадостійкості системи цифрового ефірного мовлення і узгодження форматів передачі даних кадру COFDM і транспортних пакетів MPEG-2. Канальний кодек включає в себе систему зовнішнього і внутрішнього кодування. Така структура кодека дозволила уніфікувати ряд його функціональних вузлів для наземних ефірних, супутникових і кабельних систем цифрового мовлення за рахунок того, що загальні для цих систем мовлення операції по обробці даних виконуються у зовнішній системі кодування, а додаткова обробка даних, що залежить від виду модуляції і середовища передачі, викону-

ється у внутрішній системі кодування. Така уніфікація дає економічний ефект і скорочує терміни впровадження, так як в цьому випадку для створення апаратури цифрового ефірного мовлення можна використовувати нові технології і спеціалізовані інтегральні схеми, розроблені для систем супутникового і кабельного цифрового мовлення. З цієї причини в стандарті ефірного цифрового мовлення у зовнішній системі каналного кодування модему COFDM використовуються структура циклу обробки даних, методи скремблювання, завадостійкого кодування кодом Ріда-Соломона і згорткового перемежування даних такі ж, як і в системах цифрового супутникового і кабельного мовлення. Крім того, у внутрішній системі каналного кодування модему OFDM використовується той же метод згорткового кодування, який прийнятий в системі цифрового супутникового мовлення.

Розглянемо основні операції, які виконуються модемом COFDM.

Зовнішнє каналне кодування. Цикл обробки даних в системі зовнішнього каналного кодування модему COFDM синхронізується з циклами передачі транспортних пакетів MPEG-2 і включає в себе групу з 8 транспортних пакетів по 188 байтів кожний. Для введення сигналу циклової синхронізації в першому транспортному пакеті циклу проводиться інверсія символів стартової синхрогрупи пакета. В інших семи транспортних пакетах циклу стартові синхрогрупи не інвертуються. Скремблювання вводиться для усунення довгих серій «0» або «1» в транспортних пакетах MPEG-2. За рахунок цього забезпечується стійка робота системи тактової синхронізації приймального пристрою. При цьому, щоб не порушити в демодуляторі циклову синхронізацію, стартові синхрогрупи транспортних пакетів скремблюванню не піддаються.

Завадостійке кодування транспортних пакетів MPEG-2 виконується спільно зі стартовими синхрогрупами пакетів і проводиться кодом Ріда-Соломона, що дозволяє скорегувати 8 пакетів цифрових помилок розміром по 1 байту. Після такого кодування тривалість транспортного пакета зростає з 188 до 204 байтів. Перемежіння даних вводиться для захисту цифрових пакетів від помилок розміром більше 1 байта. З цією метою проводиться перестановка двох сусідніх байтів транспортного пакета на глибину перемеження 12 байтів. При цьому, щоб не порушити в демодуляторі циклову синхронізацію, стартові синхрогрупи в транспортних пакетах перемежінню не піддаються і залишаються на своїх часових позиціях.

Внутрішнє каналне кодування. Внутрішнє каналне кодування модему COFDM вводиться з метою захисту переданої інформації, по-перше, від селективних завмирань несучих в груповому сигналі COFDM при роботі в синхронній одночастотній мережі ТБ-мовлення. Подруге, для захисту від завад при багатопроменевому прийомі в переносних ТВ-приймачах, у яких використовуються прості кімнатні дипольні антени. Крім

того, ця система завадостійкого кодування повинна знизити коефіцієнт цифрових помилок на виході демодулятора с $10^{-1} \dots 10^{-2}$ до рівня $2 \cdot 10^{-4}$, що необхідно для нормальної роботи зазначеної вище уніфікованої зовнішньої системи кодозахисту модему COFDM.

Для підвищення завадостійкості цифровий потік з виходу зовнішньої системи кодозахисту модулятора проходить згорткове кодування. При цьому, запозичене з системи цифрового супутникового мовлення згорткове кодування не є оптимальним для більш складних умов роботи демодулятора COFDM наземного ефірного ТБ. З цієї причини при розробці стандарту пропонувались й інші коди. Однак порівняльні оцінки коригувальних можливостей різних кодів і такі ж оцінки вартості створення нових технологій і спеціалізованих інтегральних схем для реалізації нових методів кодування показали доцільність уніфікації та стандартизації згорткового кодування для ефірного та супутникового мовлення, що і було зроблено в стандарті. Подальша обробка даних при внутрішньому кодуванні вводиться для захисту від селективних завмирань несучих групового спектру COFDM. Для цього проводиться побітно та побайтово перемежування даних для захисту від пакетів цифрових помилок розміром більше 1 байта. З цією метою, як і при зовнішньому завадостійкому кодуванні, проводиться перестановка двох сусідніх байтів транспортного пакета на глибину перемежування 12 байтів. При цьому, щоб не порушити в демодуляторі циклову синхронізацію, стартові синхрогрупи в транспортних пакетах перемежуванню не піддаються і залишаються на своїх часових позиціях.

Розглянуті вище механізми формування сигналів ефірного цифрового телебачення стандарту DVB-T показані на рис. 3.8 у вигляді послідовності з'єднаних функціональних блоків, що реалізують ці механізми [4].

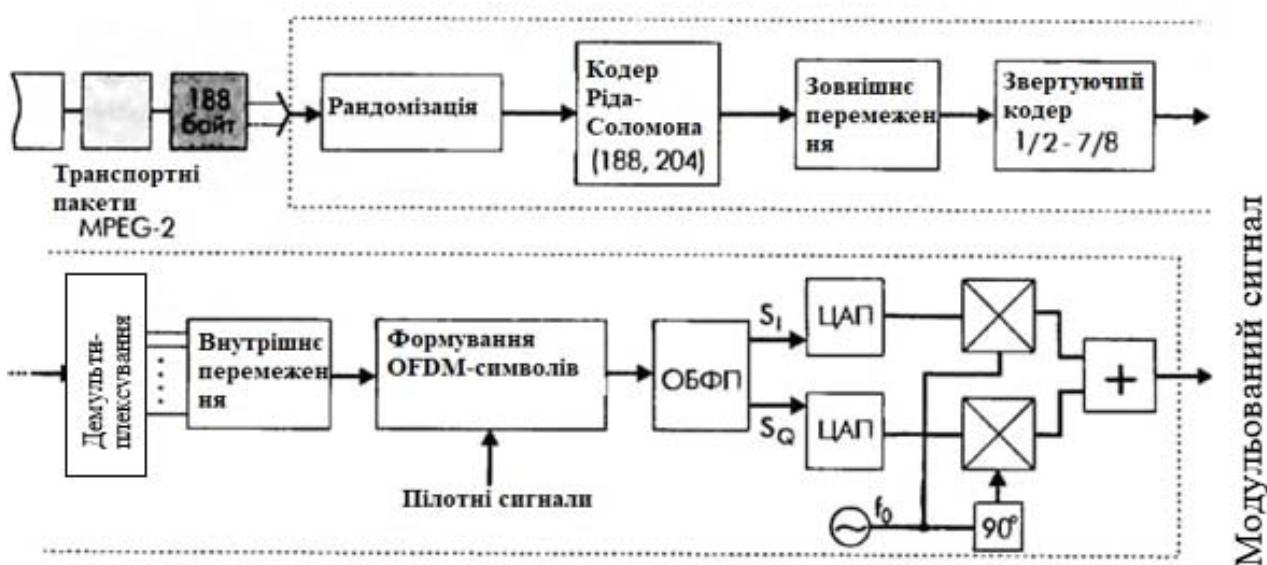


Рисунок 3.8 — Формування сигналів в стандарті DVB-T

На вхід кодера надходять транспортні пакети MPEG-2 по 188 байт (1 сінхробайт (завжди 47_{16}) + 187 байт даних) (рис. 3.8), вони рандомізують шляхом сумування за модулем 2 з двійковою псевдовипадковою послідовністю (генератор — 15-розрядний зсувний регістр). Генератор ініціалізується через кожні вісім пакетів одним і тим же числом ($4B80_{16}$). Сінхробайти не рандомізують, кожен восьмий сінхробайт інвертують. Рандомізатор (скремблер), являє собою (рис. 3.9) сукупність генератора псевдовипадкової послідовності (ПВП), двійкових суматорів (логічні елементи XOR — «виключаюче АБО»), а також логічного елемента множення &.

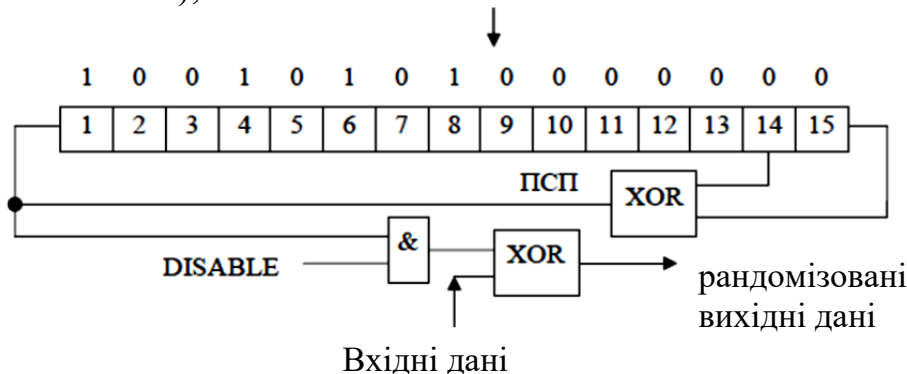


Рисунок 3.9 — Скремолирование транспортного потока

На один вхід суматора надходить вхідні дані, а на другий — ПВП. Породжуюча послідовність ПВП має вигляд $1+x^{14}+x^{15}$.

З приходом першого сінхробайта $4B80_{16}$ групи пакетів проводиться ініціалізація скремблера за допомогою завантаження у регістр послідовності 100101010000000 . При цьому сам сінхробайт проходить транзитом на вихід рандомізатора. Починаючи з наступного байта вхідних даних генератор ПВП працює з частотою надходження біт, які подаються на двійковий суматор старшим розрядом вперед. Під час надходження сінхробайт інших семи пакетів групи генератор ПВП продовжує працювати, але вихід генератора ПВП блокується сигналом DISABLE на вході логічного елемента &, розташованого на виході рандомізатора, даючи на виході елемента нульовий логічний рівень.

Після рандомізації пакети захищаються блоковим кодом Ріда-Соломона RS (204, 188, 8), здатним виправляти вісім будь-яких помилкових байт в 188-байтовому вхідному пакеті на підставі аналізу вихідного 204-байтового пакета. Даний кодер реалізує укорочений (на 51 байт) варіант повного коду Ріда-Соломона RS (255, 239, 8) стосовно до транспортного пакету. У процесі кодування до 188 байт даних додаються 16 перевірочних. В результаті забезпечується виправлення до восьми помилкових байт на один кодований 204-байтний пакет.

Наступною операцією, яка сприяє суттєвому зменшенню впливу пакетних помилок, як показано в розділі 1, є зовнішнє перемешування або

перемішування (англ. — interleaving). Дані перед передачею по каналу зв'язку переставляються в завданому порядку, а на приймальному кінці відновлюється вихідний порядок, тобто виконується депеременування. При цьому пакетна помилка, що виникла в каналі зв'язку, перетворюється в набір розосереджених у часі одиночних помилок, які простіше виявляються і виправляються у декодері Ріда-Соломона. В DVB можна вибирати швидкість згорткового кодування (1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8), використовуючи не обидва елементи вихідних пар, а лише один.

До сих пір функціонально все було аналогічно тому, як це відбувається в американській системі цифрового телебачення ATSC, а також системах кабельного і супутникового цифрового телебачення стандартів DVB-C та DVB-S. Далі починаються принципові відмінності, пов'язані з модуляцією радіосигналу.

У стандарті DVB-T використана модуляція COFDM (Coded Orthogonal Frequency-Division Multiplexing) — варіант мультиплексування за допомогою ортогональних несучих (OFDM) з попереднім кодуванням сигналу. При модуляції OFDM весь діапазон каналу мовлення (в Європі — 8 МГц) розбитий на велику кількість ортогональних піднесучих. Ортогональність означає, що усереднений за часом добуток двох несучих дорівнює нулю. Частоти піднесучих визначаються формулою

$$f_n(t) = \cos 2\pi(f_0 + n/\tau)t, \quad (3.1)$$

де f_0 — нижня частота діапазону; n — номер піднесущої ($n = 0 \dots N-1$; N — число піднесучих); τ — часовий інтервал передачі одного символу. Потік даних розбивається на N субпотоків, несуча кожного з яких модулюється з набагато меншою швидкістю. Зсув несучих по частоті дорівнює $1/\tau$.

Оскільки в окремому субканалі швидкість передачі невелика, перед кожним символом можна ввести захисний інтервал — часовий відрізок до $0,25\tau$, протягом якого транслюється фрагмент вже переданого символу (для збереження ортогональності несучих). Основне призначення захисних інтервалів — боротьба з міжсимвольною інтерференцією, викликаною перевідбиттями сигналів. Дійсно, оскільки швидкість символів мала, перевідбитий сигнал у приймачі «накладається» на прямий сигнал в інтервалі одного символу, а не наступного, потрапляючи в захисний інтервал.

Незалежна (ортогональна) багаточастотна передача з захисними інтервалами дозволяє також успішно протистояти потужним вузькосмуговим завадам.

У системі передачі з однієї несучої VSB основний засіб боротьби з адитивними перешкодами — еквалайзер, однак при повному придушенні несучої сигнал відновити вже неможливо. При багаточастотній передачі «пропадуть» тільки сигнали, що потрапили в смугу перешкоди. Оскільки сигнал кодований, інформацію можна відновити за даними з інших субканалів.

Стандрт DVB-T передбачає можливість використання в одному каналі (при прийнятій в Європі ширині ТВ-каналу 8 МГц) до 8 тис. Піднесучих ($8 \times 1024 = 8192$ або 8К). Реально задіяно 1705 (режим 2К COFDM) або 6817 (режим 8К) несучих. Кожна поднесушая модулюється за допомогою 4-позиційної квадратурної фазової маніпуляції (QPSK), 16- або 64-позиційної квадратурної амплітудної модуляції (QAM). Відповідно на кожній поднесущей один модуляційний символ переносить від 2 до 6 біт інформації.

Відповідно з числом рівнів модуляції вхідний потік даних розбивається на n субпотоків — по числу біт в модуляційному символі. Для QPSK таких субпотоків два, для 16-QAM — чотири. Демультіплексування відбувається побітно — скажімо, при модуляції 64-QAM ($n = 6$) перший біт потрапляє в перший з субпотоків, шостий — в шостий, сьомий — знову в перший і т.д. В DVB в кожному субпотокі біти переставляються за певним правилом (своїм для кожного субпотокі) в межах блоку з 126 біт — внутрішнє перемежування. Паралельні виходи пристроїв перемежування формують модуляційний символ: 2-, 4- або 6-розрядний. На одній несучій OFDM передається один символ, тому в режимі 8К одночасно транслюється 48 груп по 126 символів — всього $48 \times 126 = 6048$ інформаційних несучих (або 12 груп по 126 символів на 1512 несуть у режимі 2К). Одночасно передаються QAM-символи, які входять в OFDM-символ. Останні розподіляються по субканалам OFDM не послідовно, а паралельно після перемежування за певним законом. Тому, якщо OFDM-символ пропадає, то його дані можна відновити, оскільки біти одного кодованого пакета виявляються розподіленими по багатьом OFDM-символам.

Очевидно, що реалізувати метод передачі OFDM «в лоб», тобто використовувати кілька тисяч генераторів модульованих піднесучих, вельми проблематично. А на приймальній стороні це взагалі задача, яку до недавнього часу було неможливо розв'язати. Однак сучасні методи цифрової обробки сигналів дозволили знайти ефективні рішення, використовуючи відпрацьовані алгоритми прямого та зворотного швидкого перетворення Фур'є (див. П.р. 1. 6).

Алгоритми швидкого дискретного перетворення Фур'є як прямого, так і зворотного, досить добре опрацьовані, в тому числі і з точки зору їх апаратної реалізації. Вони найбільш ефективні при N виду 2^m . Тому в 8К-COFDM число несучих умовно прийнято рівним $2^{13} = 8192$. Величина $1/T$ зветься системною тактовою частотою. При переході до іншого частотного плану, наприклад, від смуги ТВ-каналу 8 МГц до 7 або 6 МГц, достатньо змінити системну тактову частоту, зберігаючи незмінною всю часову структуру обробки сигналу, а разом з нею й основні функціональні вузли. При цьому системна тактова частота однакова в режимах 2К і 8К, т. Д. Від числа несучих швидкість передачі прямо не залежить, змінюється тільки надійність доставки контенту.

Таким чином, за допомогою зворотного швидкого перетворення Фур'є з вхідного масиву модуляційних символів формується вихідний COFDM-символ. Часовий інтервал його передачі складається з власне часу передачі символу T_s і захисного інтервалу тривалістю до $T_s/4$, протягом якого «повторно» передається частина попереднього символу («повторно» взято в лапки, оскільки захисний інтервал йде перед інформаційним). Відзначимо, що крім 6048 (в режимі 8К) інформаційних субканалів він включає ще й пілотні сигнали, а також відомості про параметри передачі — усього 6817 модульованих несучих.

Як зазначалося вище, пілотні сигнали — це піднесучі модульовані фіксованими псевдовипадковими послідовностями з точно відомими значеннями фаз і амплітуд. Одна частина пілотних сигналів (безперервні) — передаються на фіксованих несучих в кожному OFDM-символі, інша (розподілені) — передаються випадковим чином в довільні моменти часу. Призначення пілотних сигналів — синхронізація і оцінка параметрів каналу передачі.

Синтезувати OFDM-символи недостатньо, необхідно ще сформувати радіосигнал в заданій частотній області (з нижньої частотою f_o). Перенесення символу в необхідний діапазон — це його зміщення на частоту f_o , що в комплексній формі еквівалентно множенню на комплексне (у вигляді квадратурних складових) подання несучої f_o . При цьому амплітуди перемножуються, а аргументи складаються. Виділяючи дійсну (синфазну) і уявну (квадратурну) складові $S(n)$ і помножуючи їх відповідно на $\cos(2\pi f_o t)$ та $\sin(2\pi f_o t)$ і їх сумовування отримуємо повний сигнал одного OFDM-символу.

Описані механізми дозволяють гнучко вибирати необхідний режим мовлення, а також поєднувати два потоки пакетів MPEG-2 — з високою і низькою швидкістю. Можливу швидкість визначають вид модуляції, швидкість згорткового кодування (ШК), величина захисного інтервалу T_3 ($\tau/4$, $\tau/8$, $\tau/16$, $\tau/32$). З огляду на те, що при 8К — OFDM $\tau = 896$ мкс, швидкість змінюється в межах від 4,98 Мбіт/с (QPSK, ШК = $1/2$, $T_3 = \tau/4$) до 31,67 Мбіт/с (64-QAM, ШК = $7/8$, $T_3 = \tau/32$).

3.1.7 Особливості промислового зразка приймача стандарту DVB-T

Вище розглянуті основні принципи формування сигналу стандарту DVB-T і послідовність виконання основних операцій. Ці операції включають рандомізацію, зовнішнє, а потім внутрішнє завадостійке кодування, демультіплексування кодованого цифрового потоку, QPSK або QAM модуляція паралельних потоків, зворотне швидке перетворення Фур'є, яке реалізує OFDM, цифроаналогове перетворення з формуванням двох квадратурних компонент, модуляція цими компонентами коливання проміжної частоти. Завершальними є операції перетворення сформованого сигналу

на виділену телекомпанії частоту дециметрового діапазону, посилення до рівня, необхідного для забезпечення заданої зони покриття, і випромінювання антеною

У приймачі необхідно виконати інверсні операції в зворотному порядку. Сигнал необхідно прийняти, демультіплексировати і декодувати, що складніше, ніж синтезувати його в передавачі. Для цього в приймачах використовуються кореляційні детектори, декодери з алгоритмами Вітербі та Ріда Соломона. І тільки після дерандомізації (дескремблювання) отримуємо необхідний мультимедійний цифровий потік MPEG-2. Як видно структура приймача досить складна. Транспортні пакети MPEG-2 також треба декодувати і сформувати ТВ-сигнал — цифровий або аналоговий, в залежності від типу телевізора. При цьому, незважаючи на таку неминуче високу складність, приймальний пристрій має бути компактним і недорогим. Тому цифровий телевізійний приймач — це досить складний програмно-апаратний комплекс і тільки технологічні досягнення останніх років дозволяють робити його недорогим при масовому випуску. Прикладом такого підходу є DVB-T ресивери в однокристальному виконанні SQC 6100 компанії Infineon (див. Рис. 3.9). Ця мікросхема підтримує практично всі режими DVB-T: 2K / 8K — COFDM; телевізійні канали зі смугою 6, 7 або 8 МГц; усі швидкості згорткового кодування і методи модуляції. Її застосування робить приймач DVB-T конструктивно надзвичайно простим і дешевим.

Аналоговий сигнал з антени надходить до тюнера на мікросхемі типу TUA60xx. Він посилює, фільтрує потрібний ТВ-канал і перетворює його сигнал на першій проміжну частоту 36,125 МГц (рис.3.10).

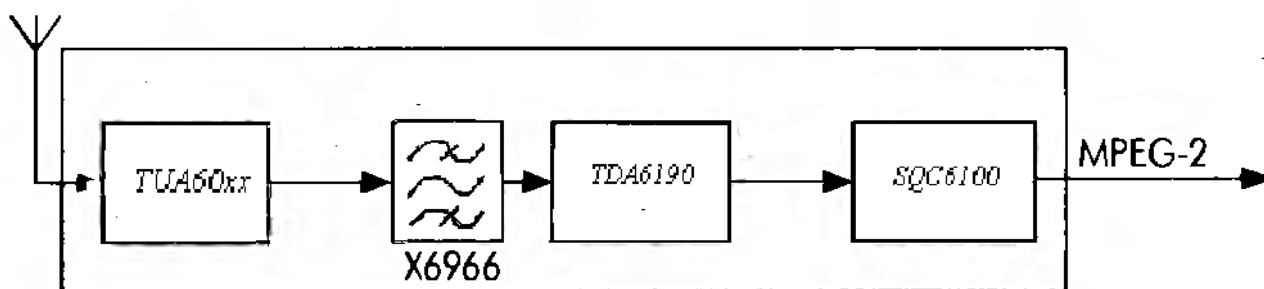


Рисунок 3.10 — DVB-T-приймач на базі ресивера SQC 6100

Після фільтру X6966 на поверхневих акустичних хвилях сигнал перетворюється змішувачем на мікросхемі TDA 6190 на другу ПЧ 7,225 МГц і далі подається на демодулятор SQC 6100. На виході цієї інтегральної мікросхеми формується цифровий потік транспортних пакетів MPEG-2.

3.2 Стандарт наземного ефірного телевізійного мовлення DVB-T2

3.2.1 Загальна характеристика стандарту DVB-T2

DVB-T2 (Digital Video Broadcasting — Second Generation Terrestrial) — друге покоління європейського стандарту ефірного (наземного) цифрового телебачення DVB-T. Стандарт DVB-T2 покликаний поліпшити як мінімум на 30% ємність мереж цифрового телебачення у порівнянні з DVB-T при тій же інфраструктурі мережі і частотних ресурсах. DVB-T2 принципово відрізняється як архітектурою системного рівня (MAC-рівня), так і особливостями фізичного рівня, внаслідок чого приймачі стандартів DVB-T2 та DVB-T несумісні.

У DVB-T2 використовується стандарт стиснення MPEG-4 AVC і OFDM модуляція, однак, з більшою кількістю піднесучих, ніж в DVB-T, що забезпечує більш стійкий прийом цифрового сигналу в умовах багатопроміневого поширення. У DVB-T2 передбачена велика кількість різних режимів, що робить цей стандарт дуже гнучким. Для корекції помилок в DVB-T2 застосовується таке ж кодування, яке було раніше вибрано для стандарту супутникового телебачення DVB-S2. Поєднання кодування з низькою щільністю перевірок на парність (LDPC) і кодування Боуза-Чоудхурі-Хоквінгема (BCH) забезпечує дуже високу стійкість сигналу й відповідно високу якість зображення в умовах високого рівня шумів та завад.

Змінено також кілька параметрів OFDM сигналу — число несучих, відносну тривалість захисного інтервалу та характер розміщення пілот-сигналів. Це дозволило знизити до мінімуму частку службової інформації у каналі передачі. Істотний приріст стійкості в складних ефірних умовах забезпечує також використання повороту сигнального сузір'я з Q-затримкою. Для забезпечення необхідних умов прийому (наприклад, кімнатна антена/антена на даху) передбачений механізм роздільної настройки стійкості сигналу з урахуванням особливостей прийому. Цей же механізм дозволяє настроїти передавач так, щоб дати можливість приймачу економити обчислювальний ресурс за рахунок необхідності декодування тільки однієї програми, а не всього пакета програм.

Спираючись на вище вказані переваги стандарту цифрового телебачення DVB-T2 його й було затверджено й успішно впроваджено в Україні.

3.2.2 Особливості перетворення цифрових потоків в передавальних та приймальних системах стандарту DVB-T2

3.2.2.1 Класифікація і структура цифрових потоків

У стандарті розрізняються три основних типи магістральних потоків: транспортний (Transport Stream — TS), узагальнений інкапсульований (Generic Stream Encapsulation — GSE) і узагальнений безперервний потік

(Generic Continuous Stream — GCS). Кожен потік являє собою послідовність користувальницьких пакетів (UP — User Packet).

Транспортний потік — це послідовність пакетів фіксованої довжини (пакети MPEG-2 довжиною 188 байт)

Потік GSE характеризується пакетами змінної або фіксованої довжини, яка вказується в заголовках цих пакетів.

Потік GCS являє собою безперервний потік бітів. Реально — це або послідовність пакетів без вказівки їх довжини, або пакети максимально можливої довжини 64 Кбіт.

Пакети кожного магістрального потоку об'єднуються в потокові ВВ-кадри (рис. 3.11).



Рисунок 3.11 — Структура потокового ВВ-кадра

ВВ-кадр містить ВВ-заголовок (80 біт), поле даних і поле вирівнювання. В останньому можна передавати дані внутріканальної сигналізації. Узаголовку пакета міститься інформація про тип транспортного потоку, розміри призначеного для користувача пакета (при необхідності) і всього поля даних, наявності режимів видалення порожніх пакетів.

Стандарт DVB-T2 орієнтований на передачу телевізійних потоків, в яких для вирівнювання швидкості потоку використовуються порожні пакети. Тому в DVB-T2 передбачено видалення цієї надлишкової інформації, але з можливістю її відновлення на приймальному кінці.

3.2.2.2 Особливості завадодостійкого канального кодування в стандарті DVB-T2

При канальному кодуванні у DVB-T2 використовується, як і у DVB-T, каскадне поєднання зовнішнього та внутрішнього кодерів. Але в якості зовнішнього застосований не кодер Ріда — Соломона, а блоковий кодер Боуза-Чоудхурі-Хоквінгема (BCH). Внутрішнім є кодер LDPC з перевіркою на парність. Ефективність виправлення помилок в системах стандарту DVB-T2 завдяки каскадному включенню кодерів BCH і LDPC (BCH & LDPC) значно вище в порівнянні з кодерами Ріда-Соломона і Вітербі, які застосовуються в системах стандарту першого покоління DVB-T. Як наслідок в системах і мережах SFN стандарту DVB-T2 швидкість кодування може бути набагато вище і загальна пропускна здатність каналу істотно зростає.

Структура потокового FEC-кадру з BCH & LDPC кодуванням представлена на рис. 3.12.

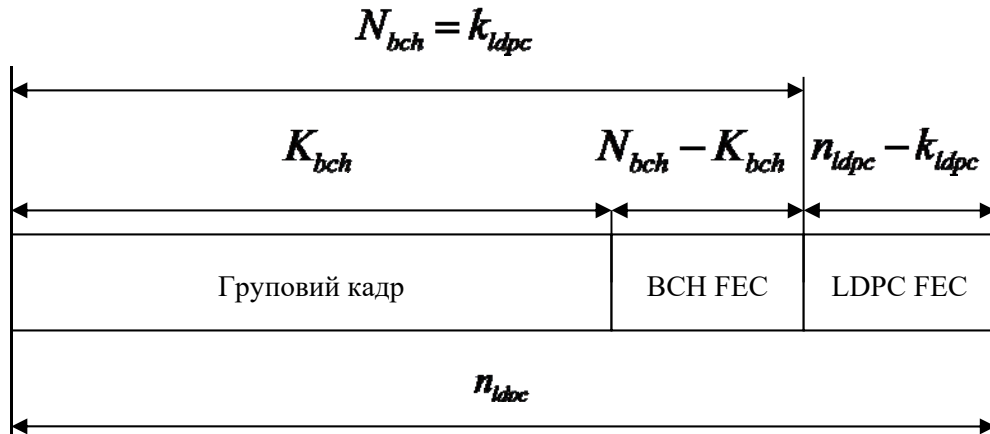


Рисунок 3.12 — Структура потокового FEC-кадру DVB-T2

Повна довжина кадру з заводозахисним кодуванням становить 64800 біт. В якості опції допускається і більш короткий варіант FEC-кадру довжиною в 16200 біт. Він може застосовуватись для зменшення затримок прийому низькошвидкісних послуг.

3.2.2.3 Особливості COFDM в стандарті DVB-T2

При розробці DVB-T2 проводилися порівняння декількох варіантів модуляції. В результаті був залишений варіант COFDM с захисними інтервалами GI (Guard Interval), який використовується в DVB-T.

У COFDM кожен символ містить велику кількість ортогональних піднесучих, модульованих одночасно по фазі і амплітуді. Зокрема, DVB-T передбачає два режими формування сигналу з множинними несучими: 2k і 8k, реалізованих з використанням зворотного швидкого перетворення Фур'є (IFFT — Inverse Fast Fourier Transform) відповідних розмірностей. При цьому довжина захисного інтервалу вибирається у залежності від дальності ефірного мовлення та інших параметрів мережі передачі. Довші захисні інтервали потрібні в одночастотних мережах, де сигнали з сусідніх передавачів можуть приходити на приймач із значним запізненням щодо основного сигналу. Захисний інтервал являє собою надбудову в символі, що зменшує частку транспортного ресурсу. У DVB-T ця надбудова може займати до $\frac{1}{4}$ загального обсягу переданих даних.

З метою зменшення частки захисного інтервалу в загальному обсязі даних в DVB-T2 введені два нових режиму: 16k і 32k з відповідним збільшенням числа ортогональних несучих частот. Перехід до режимів з великим числом несучих частот при збереженні абсолютної величини захисного інтервалу дозволяє помітно знизити його частку в загальному обсязі цифрового потоку, що значно підвищує продуктивність системи передачі

даних. Наприклад, при переході від режиму 8k до 32k частка захисного інтервалу знижується з 25% до 6% (рис. 3.13).



Рисунок 3.13 — Порівняльна оцінка частки захисного інтервалу GI в загальній тривалості символу для режимів 8k і 32k

Максимальна тривалість захисного інтервалу в DVB-T2 перевищує 500 мкс, що цілком достатньо для будівництва великої регіональної одно-частотної мережі.

Таким чином, у DVB-T2 використовується більш широкий ряд розмірностей IFFT і захисних інтервалів. Розмірності IFFT: 1k, 2k, 4k, 8k, 16k, 32k, а відносна тривалість захисних інтервалів: 1/128, 1/32, 1/16, 19/256, 1/8, 19/128, 1/4.

Як вже зазначалося, у COFDM кожна піднесуча піддається квадратурній модуляції. У стандарті DVB-T найвищою є 64-позиційна квадратурна амплітудна модуляція (64-QAM), при якій забезпечується передача 6 біт інформації однієї несучою. У DVB-T2 число позицій збільшено до 256. При цьому однією несучою може передаватись до 8 біт інформації. Збільшення числа позицій модуляції неминуче призводить до зменшення завадозахищеності. Однак, завдяки кодуванню LDPC & FEC вдалось значно знизити ймовірність помилок і збільшити ефективність використання каналу в порівнянні з DVB-T у 2 рази.

Розширений спектр у режимі 32k стандарту DVB-T2 має низький рівень позасмугових складових, з мінімальним рівнем таким же, як у нормального (не розширеного) спектру, і значно нижчим у порівнянні з рівнем у режимі 2k (рис. 3.14). Крім того, за рахунок розширення на 2% робочої смуги каналу 8 МГц, (з 7,61 МГц до 7,77 МГц) додатково підвищена продуктивність системи передачі даних.

Використання розподілених пілот-сигналів. Пілот-сигнали призначені для передачі службової інформації і несуть декодеру інформацію про параметри сигналу, використовуються для синхронізації, оцінки якості каналу передачі даних і компенсації каналних спотворень.

Розрізняють *безперервні* пілот-сигнали, які передаються на одній і тій же піднесучій частоті, *розподілені*, які передаються на декількох піднесучих, а також пілот-сигнали закриття кадрів.

Розподілені пілот-сигнали, які використовуються в DVB-T2 для оцінки якості каналу, повинні розташовуватися досить щільно для стеження за змінами в кожній з комірок символів в залежності від частоти і часу.

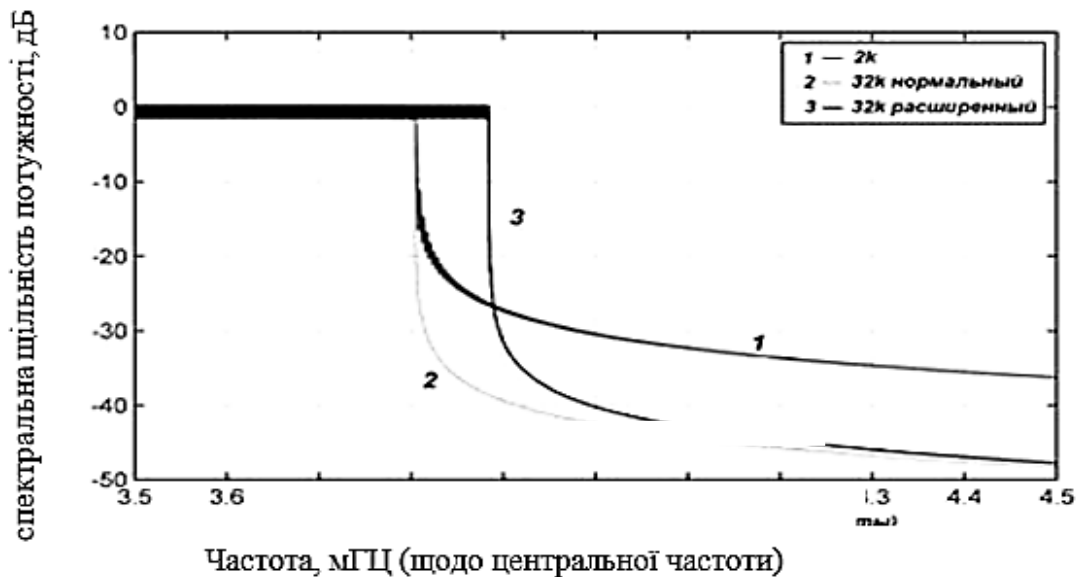


Рисунок 3.14 — Фрагмент теоретичного DVB-T2 спектру каналу 8 МГц, $GI = 1/8$

У DVB-T2 можливий вибір з 8 різних моделей пілот-сигналів PP1...PP8, які дають можливість системі адаптуватися до конкретних особливостей каналу.

Найбільш стійкою до інтерференції є модель PP1 (рис. 3.15), що має невелику відстань між пілот-сигналами.

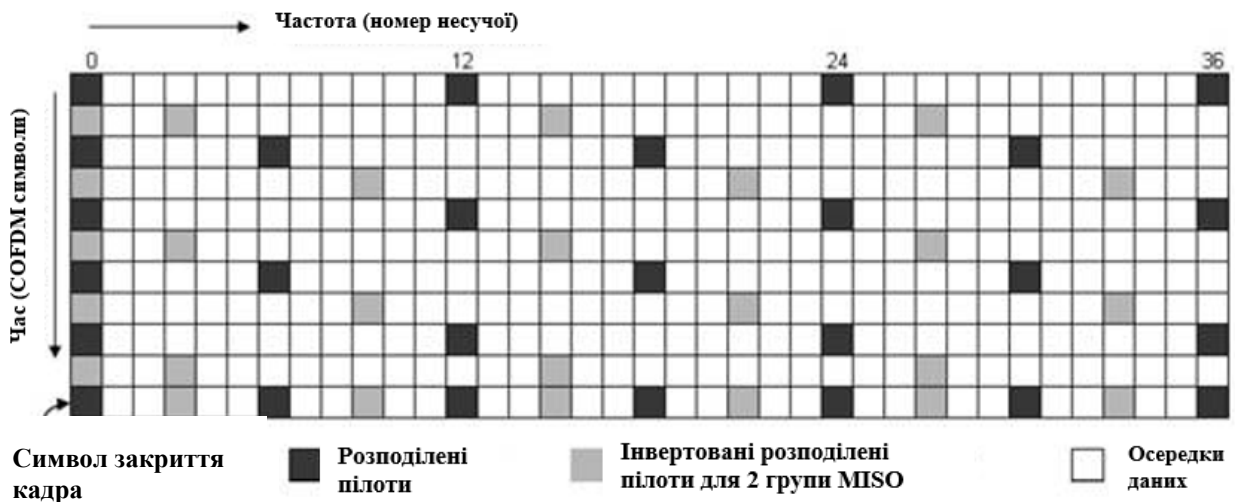


Рисунок 3.15 — Шаблон PP1 (MISO) розподілених пілот-сигналів

У той же час, завдяки збільшенню цієї відстані, моделі PP6 і PP7 (рис. 3.16 та рис. 3.17) є більш уразливими до інтерференції, але забезпечують більш високу продуктивність передачі інформації.

Модель розподілу пілот-сигналів PP8 (рис. 3.18) призначена для прийому у стаціонарних умовах з зовнішньою антеною, але не для портативного і мобільного прийому.

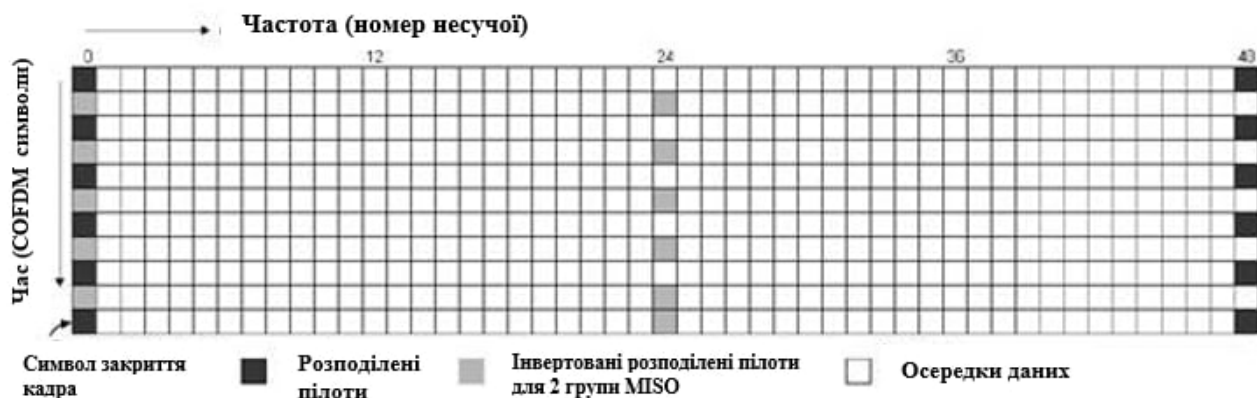


Рисунок 3. 16 — Шаблон PP6 (MISO) розподілених пілот-сигналів

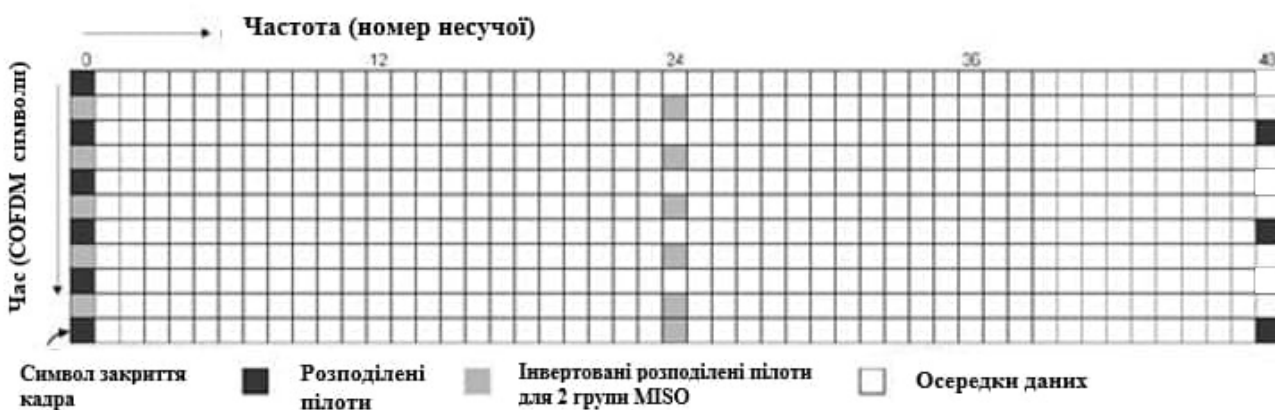


Рисунок 3.17 — Шаблон PP7 (MISO) розподілених пілот-сигналів

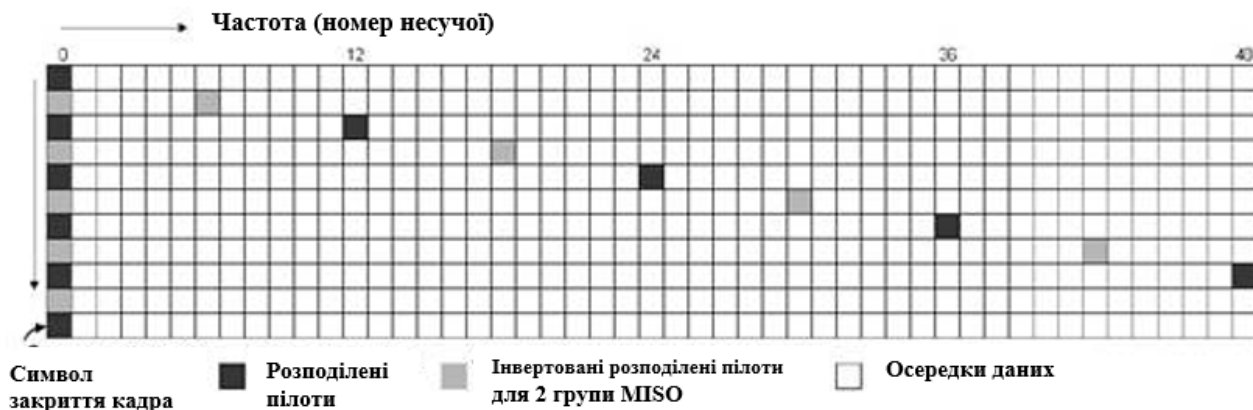


Рисунок 3. 18 — Шаблон PP8 (MISO) розподілених пілот сигналів

Вибір певної моделі розподілу пілот-сигналів повинен бути здійснений виходячи з компромісу між якістю переданої інформації (ймовірністю помилок на біт) і продуктивністю роботи системи (швидкістю передачі даних).

В результаті, якщо в DVB-T розподілені пілот-сигнали складають 8% всіх несучих (фіксована модель), то в DVB-T2 цей показник варіюється в межах від 1% до 4%.

3.2.3 Структура кадру DVB-T2

Структура кадру DVB-T2 показана на рис. 3.19. На верхньому рівні структура кадру складається з суперкадрів, які діляться на DVB-T2 кадри (в подальшому скорочено — T2 кадри), які складаються з символів OFDM.

Суперкадр може мати частину для майбутнього розширення кадру FEF (Future Extension Frame).

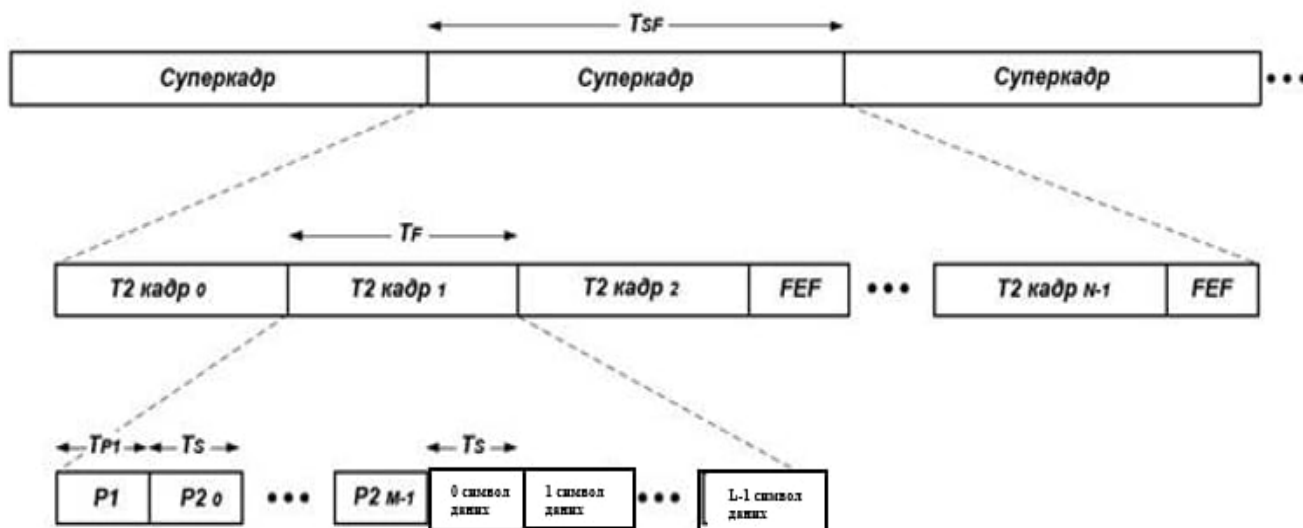


Рисунок 3.19 — Структура кадру DVB-T2. Суперкадр, кадри і OFDM символи

Кадр фізичного рівня T2 починається з преамбули P, що є OFDM символом з диференціальною фазовою модуляцією DBPSK (Differential phase shift keying), захисними інтервалами з двох сторін (з сумарною довжиною $\frac{1}{2}$ тривалості символу).

Для каналу 8 МГц загальна тривалість символу 224мкс, яка включає тривалість корисної частини «А» символу $T_{P1A} = 112$ мкс плюс два захисних інтервалу «С» і «В» тривалістю $T_{P1C} = 59$ мкс і $T_{P1B} = 53$ мкс (рис. 4.14). Символ P1 використовується для синхронізації та ідентифікації потоку DVB-T2, а також містить інформацію про T2 кадри, а саме, число номінальних піднесучих в OFDM (1k-32k) і формат передачі, наступної за P1 преамбули P2 (режими MISO або SISO).

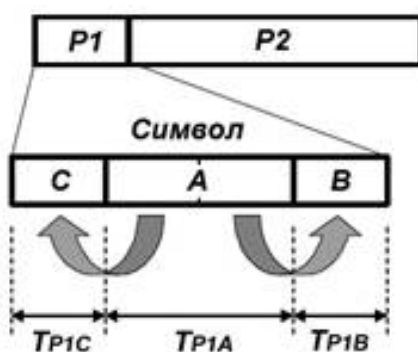


Рисунок 3.20 — Структура символу P1

Уся інша інформація про T2 кадрі (довжина, вид модуляції, швидкість кодування і т.п.) передається в преамбулі P2, яка може займати кілька OFDM-символів.

Далі слідує поле даних (інформаційні OFDM символи). Замикає T2 кадр спеціальний символ закриття OFDM кадру — завершальний OFDM-символ.

Комерційні вимоги до DVB-T2 включали забезпечення різних рівнів завадостійкості для різних послуг шляхом використання різних схем модуляції та швидкості завадостійкого кодування. У DVB-T2 це досягається шляхом розміщенням OFDM символів всередині кадру так, що кожна послуга передається цільним блоком, який займає в кадрі певний слот (рис. 3.21).

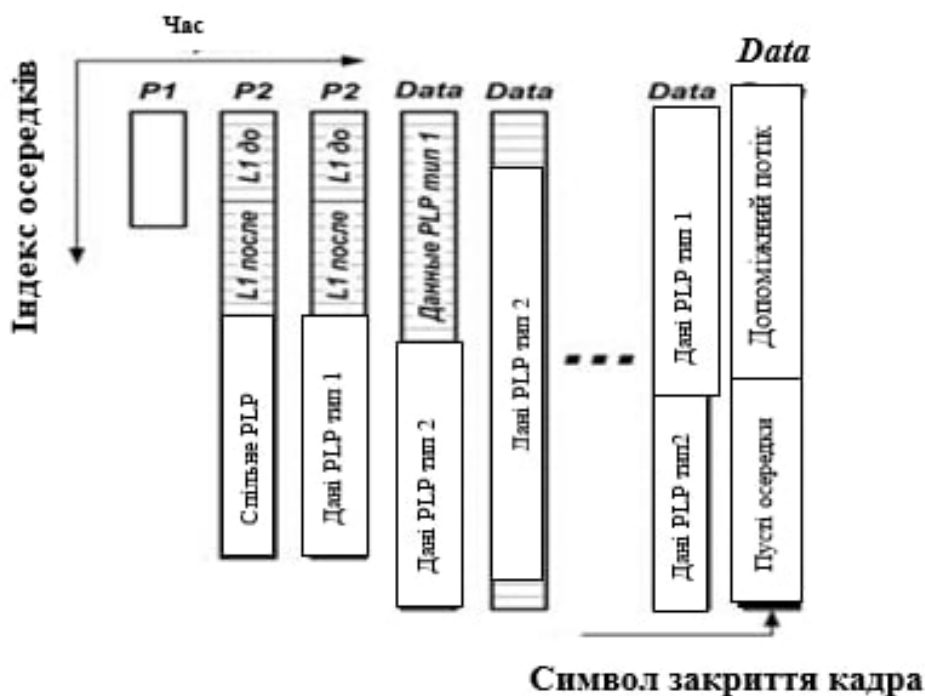


Рисунок 3.21 — Структура об'єднання послуг в T2 кадрі

Загальний PLP — це інформація, загальна для групи з кількох PLP. Наприклад, таблиці програм і сервісів PSI/SI для кількох транспортних потоків.

Потоки PLP типу 1 в T2-кадрі не поділяються на фрагменти, тобто у кожному T2-кадрі може бути тільки один фрагмент PLP типу 1.

Нарешті, потоки типу 2 можуть в межах T2-кадру розділятися на кілька фрагментів (від 2 до 6480).

3.2.4 Особливості перемешування в стандарті DVB-T2

В DVB-T2 використовується три типи включених касадно перемешувачів:

- бітовий перемешувач, який рандомізує біти в межах FEC-блоку;

– часової перемежував, який перерозподіляє дані FEC-блоку по символам в рамках кадру DVB-T2. Таке перемежування підвищує стійкість сигналу до імпульсних завад та до зміни характеристик радіоканалу.

– частотний перемежував, який рандомізує дані в рамках OFDM-символу з метою послабити ефект селективних частотних завмирань.

Комплексне використання вказаних трьох типів перемежувачів практично гарантує, що спотворені елементи, в тому числі при пакетних помилках, після депережування в декодері будуть розсосереджені по LDPC FEC-кадру, а це, у свою чергу, дозволить декодеру LDPC відновлення втрачену інформацію.

3.2.5 Поворот сигнального сузір'я та циклічні Q затримки

DVB-T2 використовує QPSK, 16 QAM, 64 QAM і також 256 QAM. Крім того, сигнальне сузір'я може бути повернуто в I/Q системі координат (повернене сузір'я). Такий поворот може істотно підвищити стійкість сигналу до дії завад. Завдяки повороту сузір'я на точно підібраний кут для кожного виду модуляції (29° для QPSK, $16,8^\circ$ — для 16-QAM, $8,6^\circ$ для 64-QAM та на кут, який відповідає $\arctg(1/16)$ для 256-QAM), кожна з точок сузір'я набуває унікальні I, Q координати (рис.3.22).

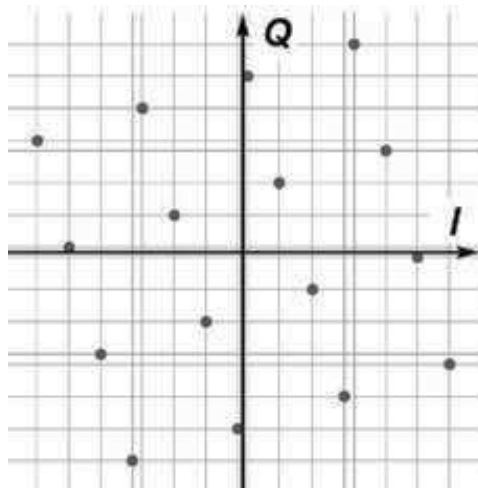


Рисунок 3.22 — Повернуте сузір'я для 16-QAM модуляції

Перед початком повороту квадратурна (IQ) координата кожного модуляційного символу циклічно зсувається, тобто береться з попереднього символу.

3.2.6 Використання режиму MISO

Як зазначалося раніше, для одночастотних SFN мереж може бути введений режим MISO (Multy Input Multy Output), завдяки якому вдається зменшити інтерференційні спотворення сигналів в областях перекриття зон обслуговування передавачів.

Загальна конфігурація мережі MISO показана на рис. 3.23.

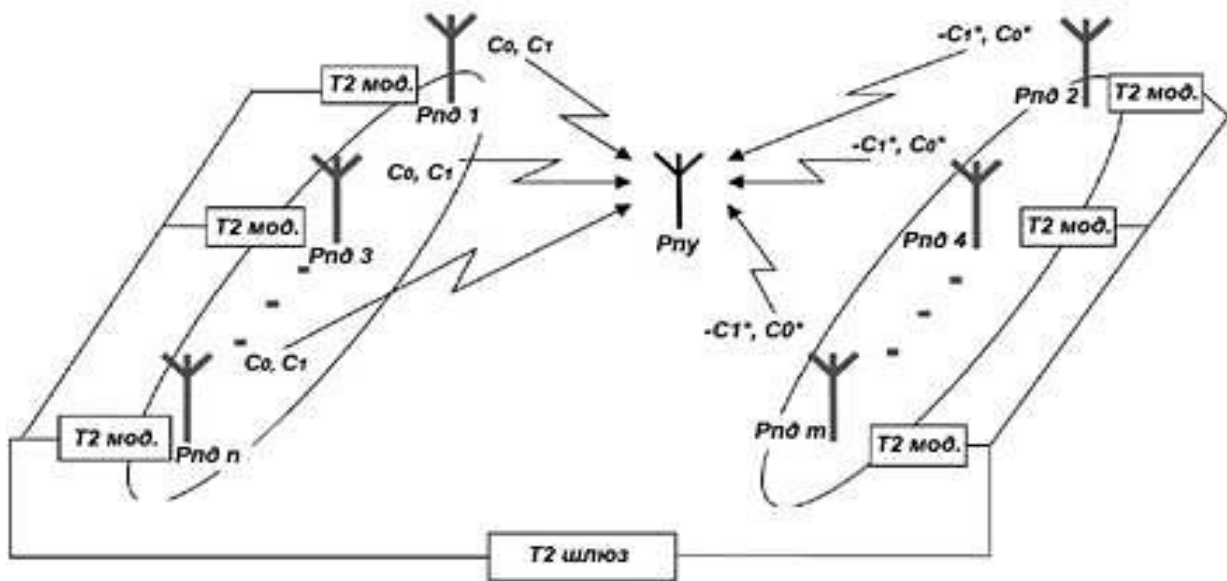


Рисунок 3.23 — Узагальнена структура мережі DVB-T2 MISO

З схеми видно, що основною відмінністю мережі MISO і стандартного мережевого мовлення у тому, що в MISO мережі передається дві версії одного корисного сигналу одночасно декількома передавачами. Зазвичай передавачі географічно відокремлені один від одного. Передача декількох версій корисного сигналу в режимі MISO дозволяє підвищити відношення сигнал/шум в мережі або збільшити швидкість передачі даних.

У стандарті DVB-T2 для об'єднання сигналів окремих каналів використовується один з варіантів схеми Alamouti. Одною з основних переваг цієї конкретної схеми є те, що вона може бути реалізована відносно простим способом. Використання тільки однієї прийомної антени та схеми Alamouti дозволяє отримати значне поліпшення сигнал/шум.

Виграш від використання схеми Alamouti в мережі на основі MISO можна зрозуміти, звернувшись до рис.3.23. Кожен з декількох передавачів мережі входить в одну з двох груп, де кожен передавач розглядається як джерело корисної інформації.

Джерела сигналу першої групи передають немодифіковані версії кожного сузір'я, такі, якими вони були б в «стандартних» SFN. (C_0 і C_1 на рис. 3.23).

Джерела сигналу в другій групі передають змінену у зворотному порядку версію пари кожного сузір'я. Друга група передає C_1^* і C_0^* , де * означає операцію спряження. Приймач відтворює сигнал з комбінованих компонентів відносно простим способом, який не вимагає великих додаткових складнощів в порівнянні зі стандартним приймачем без обробки за алгоритмом MISO.

На схемі також показані дві частини обладнання, які необхідні для того, щоб мережа працювала правильно: T2 шлюз і DVB-T2 модулятори.

T2 шлюз (інтерфейс T2 модуляторів) виробляє T2-MISO потік, який містить всю інформацію, необхідну для опису змісту і міток часу T2 кадрів. T2-MISO потік подається на T2 модулятори, які забезпечують необхідні затримки і Alamouti кодування.

Усі передавачі в MISO мережі прив'язані до базової частоти. Таким чином, сигнали синхронізовані по частоті і у часі так само, як в «стандартній» мережі SFN. Зазвичай для цієї мети використовується GPS.

На рисунку показана необмежена кількість передавачів на групу. Хоча на практиці при побудові DVB-T2 MISO мережі кожна група складається усього з двох або трьох передавачів.

3.2.7 Зменшення відношення пікової до середньої потужності передачі

Значну частку витрат на передачу становить вартість електроенергії, яка використовується для живлення передавачів. COFDM сигнали характеризуються відносно високим відношенням пікової до середньої потужності. У зв'язку з цим в DVB-T2 включені дві технології, що дозволяють знизити цей показник приблизно на 20%. і істотно знизити витрати на електроживлення:

– резервування тонів. У цьому випадку 1% несучих залишається в резерві, і не переносять ніяких даних, але можуть використовуватись передавачем для зменшення пік-фактору;

– активне розширення сигнального сузір'я. У цьому випадку частина крайніх точок сузір'я відводиться далі від центру. Це зменшує піки потужності сумарного сигналу. Оскільки ці зміни стосуються тільки крайніх точок в області вільній від інших точок, це істотно не впливає на процес декодування даних на приймальній стороні.

3.2.8 Додаткові функції стандарту DVB-T2

Специфікація T2 включає два додаткових інструменти, які в перспективі можна буде використовувати для розширення кадру. По-перше, структура кадру T2 передбачає можливість введення сигналізації для ще неіснуючих типів кадрів, які будуть призначені для поки ще не визначених типів сигналів (рис. 3.24). Однак зміст кадрів майбутнього розширення (FEF — Future Extension Frames) поки не визначено.

DVB-T2 також може вмикати сигналізацію, необхідну для майбутнього застосування частотно-часових зрізів (TFS — Time Frequency Slicing). Хоча основна специфікація передбачає прийом без застосування TFS, в сигналізацію включені мітки, які дозволять майбутнім ресиверам, оснащеним двома тюнерами, працювати з TFS-сигналами.

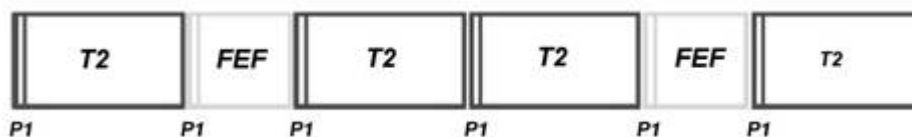


Рисунок 3.24 — Співіснування T2 кадрів і розширення FEF

Такий сигнал буде займати кілька РЧ-каналів (рис. 3.25), і різні фрагменти кожної з послуг будуть в загальному випадку передаватися на різних частотах. Ресивер буде стрибками перебудовуватися з каналу на канал, збираючи фрагменти даних, що відносяться до вибраної послуги. Це дозволить формувати пакети з розмірами, що значно перевищують допустимі для одного РЧ-каналу, що, в свою чергу, дасть можливість виграшу завдяки статистичному мультиплексуванню значної кількості каналів і гнучкості частотного планування.

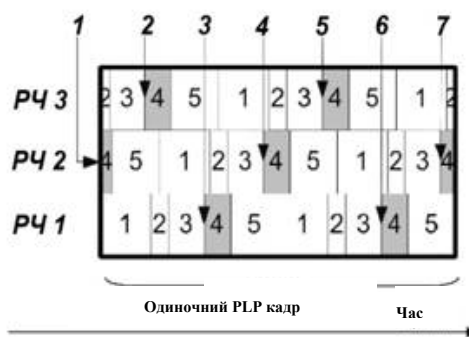


Рисунок 3.25 — Приклад реалізації TFS на 3-х частотах

Таким чином, завдяки введенню додаткових режимів OFDM (16 і 32k), більш ефективному захисту від помилок на основі використання кодування LDPC, використання та інтеграції базової структури кадру стандарту DVB-S2, повороту сигнального сузір'я з Q-затримкою, зниження пік-фактора при передачі і використання режиму MISO в стандарт DVB-T2 забезпечує істотне поліпшення характеристик цифрового телевізійного мовлення:

- збільшена не менше, ніж на 30% пропускна здатність і поліпшені характеристики SFN в порівнянні з DVB-T;
- можливість передачі програм як на стаціонарні, так і мобільні приймачі;
- широке використання інфраструктури DVB-T;
- зниження експлуатаційних витрат на передачу за рахунок зменшення відносини пікової потужності до середньої потужності;

Стандарт DVB-T2 дозволяє також надавати різні цифрові сервіси та послуги:

- оповіщення у надзвичайних ситуаціях;
- доступ до державних електронних послуг;
- широкосмуговий доступ в Інтернет;

- телебачення високої чіткості HDTV та SHDTV;
- телегід;
- інтерактивне гібридне телебачення в стандарті HBB TV, яке об'єднує всі сучасні можливості інтернету та цифрового телебачення;
- поява в найближчому майбутньому 3D-телебачення в новому стандарті DVB 3D-TV.

На даний момент цифрове ефірне телемовлення в стандарті DVB-T2 ведеться вже в більшості країн Європи.

В Україні тестове мовлення цифрового телебачення в стандарті DVB-T2 з київської телевежі почалося 18 серпня 2011 року. З березня 2012 року почалася масова реалізація для населення України ресиверів-приставок для забезпечення можливості прийому цифрового ефірного телебачення в стандарті DVB-T2.

Питання для самоконтролю

1. У чому основна відмінність стандартів ефірного цифрового телевізійного мовлення DVB-T і DVB-T2 від інших стандартів групи DVB.
2. Зобразіть структуру часового інтервалу субпотоків символу T_s в стандарті DVB-T і поясніть її особливість.
3. Зобразіть груповий спектр несучих COFDM сигналу стандарту DVB-T при частотному рознесенні 1116 Гц і 4464 Гц.
4. Запишіть основні параметри COFDM стандарту DVB-T у режимах 2к і 8к.
5. Які багатопозиційні методи модуляції несучих в груповому сигналі COFDM передбачені стандартом DVB-T.
6. Поясніть відмінності неієрархічного та ієрархічного режимів модуляції.
7. Поясніть принцип і основні операції зовнішнього завадостійкого каналного кодування в стандарті DVB-T.
8. Поясніть принцип і основні операції внутрішнього завадостійкого каналного кодування в стандарті DVB-T.
9. Зобразіть спрощену структурну схему промислового зразка приймача цифрового ТБ стандарту DVB-T.
10. Дайте загальну характеристику стандарту DVB-T2 та причини його несумісності з стандартом DVB-T.
11. Назвіть основні типи цифрових потоків, які використовуються в цифровому телебаченні стандарту DVB-T2 та особливості їх перетворення на передавальній і приймальній стороні.
12. Поясніть особливості COFDM в стандарті DVB-T2.
13. Назвіть основні особливості завадостійкого каналного кодування в стандарті DVB-T2.

14. Зобразіть структура кадру стандарту DVB-T2.
15. Назвіть особливості перемешування в стандарті DVB-T2.
16. Поясніть переваги використання повороту сигнального сузір'я з Q-затримкою в стандарті DVB-T2.
17. За рахунок чого забезпечується зменшення відношення пікової до середньої потужності передачів стандарту DVB-T2.

Література до розділу 3

1. ETSI EN 302 755 V1.2.1 (2011-02), «Digital Video Broadcasting (DVB); Frame structure channel coding and modulation for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2)», ETSI, Sophia Antipolis, 2011. 177 p.
2. User Requirements for Terrestrial Digital Broadcasting Services. DVB document A004, Dec. 1994.
3. EBU, «Frequency and Network Planning Aspects of DVB-T2», Status: Report, Geneva, 2011. 89 p.
4. Шахновіч І. Новий стандарт цифрового телевізійного мовлення / І. Шахнович // ЕЛЕКТРОНІКА: Наука, Технологія, Бізнес, № 6 2009.
5. Уеллес Н. DVB-T2: Новий стандарт мовлення для телебачення високої чіткості / Нік Уеллес, Кріс Нокс // Теле-Спутник, № 11 (157), 2008. С. 92-97.
6. Локшин Б. А. Цифрове мовлення: від студії до телеглядача / Б. А. Локшін. — М. : Компанія Сайрус СИСТЕМС, 2001. — 447 с.
7. Локшин М.Г. Проблеми побудови наземних мереж цифрового телебачення // Електрозв'язок, №3, 2007.
8. Резолюція першої сесії Регіональної конференції радіозв'язку з планування наземної радіомовної служби в частинах Районів 1 і 3 в смугах частот 174-230 і 470-862 МГц — Женева, 10–28 травня 2004 р.
9. Гельгор А.Л., Попов Е.А. Система цифрового телевізійного мовлення стандарту DVB-T: Учеб. посібн. — СПб.: Изд-во політехн. ун-ту, 2010. — 207 с.
10. Рекомендація МСЕ-R BT.1368-6. Критерії планування наземних цифрових телевізійних систем.
11. Блох В. DVB-T2 — новий стандарт мовлення для ТВЧ // телебачення й радіомовлення, № 4. 2011. С. 33-35.

4 СТАНДАРТИ СУПУТНИКОВОГО ЦИФРОВОГО ТЕЛЕБАЧЕННЯ DVB-S та DVB-S2

4.1 Загальні відомості про системи і стандарти супутникового цифрового телевізійного мовлення

Радіус дії передавальної станції ефірного наземного телебачення залежить головним чином від висоти передавальної антени. Бажання збільшити висоту підвісу передавальної антени породило численні технічні пропозиції по використанню для цих цілей різних типів літальних апаратів. Проте можливості істотного практичного збільшення висоти підйому антен з'явилися лише із запуском першого штучного супутника Землі та з початком інтенсивної розробки різних систем телевізійного мовлення з використанням супутникових ретрансляторів. Супутникове телевізійне мовлення є найшвидшим, найнадійнішим та найекономічнішим способом передачі сигналу ТБ високої якості у будь-яку точку Землі.

Сучасні мовні ШСЗ розміщуються на геостаціонарній орбіті (ГО) — круговій орбіті заввишки ~ 36 т. км, яка лежить в площині екватора [1–4]. Рухаючись по ГО, супутник залишається нерухомим відносно поверхні Землі, оскільки обертається з тією ж кутовою швидкістю, що і Земля (див. рис. 4.1). Зона видимості геостаціонарного ШСЗ перекидає біля однієї третини земної поверхні.

У 1994 р. в рамках консорціуму DVB Project був створений Європейський стандарт супутникової цифрової системи багатoprogramного телевізійного мовлення — DVB-S (European Standard EN 300 421 v.1.1.2, 1997-08). Для супутникового мовлення виділені спеціальні ділянки радіочастотного спектру в сантиметровому і міліметровому діапазонах хвиль. Найбільш освоєна ділянка KU- діапазону з частотами 10,7...12,75 ГГц.



Рисунок 4.1 — Геостаціонарна кругова орбіта ІСЗ

У жовтні 1996 р. було прийнято проект Рекомендацій з загальними функціональними вимогами до багатoproграмних систем супутникового телевізійного мовлення, а в жовтні 1999 р. був прийнятий проект нових Рекомендацій, у яких зафіксовано існування чотирьох схожих за архітектурою стандартів: DVB-S, DSS, G1-MPEG-2 и ISDB-S.

Однією з особливостей застосування ШСЗ є обмеженість енергетичного потенціалу супутникового ретранслятора, в силу чого в супутниковому мовленні традиційно використовують методи обробки, що вимагають мінімального відношення сигнал/шум на вході демодулятора в обмін, наприклад, на смугу частот сигналу. У аналоговому супутниковому телевізійному мовленні це був вибір частотної модуляції замість амплітудної, а в цифровому мовленні — потужне каскадне завадостійке кодування і фазова модуляція з невисокою позиційністю (наприклад, QPSK замість більш швидкісної 16 QAM).

Важливою особливістю цифрового супутникового мовлення є те, що багатoproграмність забезпечується за рахунок мультиплексування цифрових потоків, а робота передавача ШСЗ здійснюється тільки в нелінійному режимі, який, завдяки підвищеному ККД дозволяє збільшити його середню вихідну та еквівалентну ізотропну потужність на 2,5...4 dB при тих же потужностях джерел живлення та розмірах рефлекторів параболіпних антен. На приймальному боці таке підвищення енергетики сигналу ретранслятора еквівалентне зменшенню необхідного діаметру рефлектора приймальної антени у 2 рази порівняно з прийомом сигналів аналогового мовлення.

4.2 Стандарт DVB-S

4.2.1 Особливості перетворення цифрових потоків в передавальних і приймальних системах стандарту DVB-S

Спутникові системи стандарту DVB-S призначені для доставки сигналів і послуг багатoproграмного цифрового телевізійного мовлення звичайної якості (SDTV) або високої чіткості (HDTV) в частотних діапазонах фіксованої і радіомовної супутникової служб з їх безпосереднім прийомом на індивідуальні приймачі-декодери або приймачі, підключені до систем кабельного телебачення після первинного та вторинного розподілах програм [5, 7, 10]. Нині практично усе спутникове ТБ мовлення на усі п'ять континентів здійснюється за стандартом DVB-S або DVB-S2.

Структурна схема передавальної частини стандарту DVB-S зображена на рис. 4.2.

На передавальній стороні виконуються наступні перетворення потоку даних для його адаптації до супутникового радіоканалу:

- транспортне мультиплексування;

- адаптація і рандомізація транспортного потоку;
- зовнішнє кодування за допомогою коду Ріда-Соломона (RS);
- зовнішнє перемежування;
- внутрішнє згорткове кодування і перемежування;
- формування сигналу в основній смузі частот і його модуляція.

Вхідний цифровий потік має фіксовану довжину пакетів, сумарна довжина транспортного пакету MPEG-2 складає 188 байт, з яких 1 байт синхронізації.

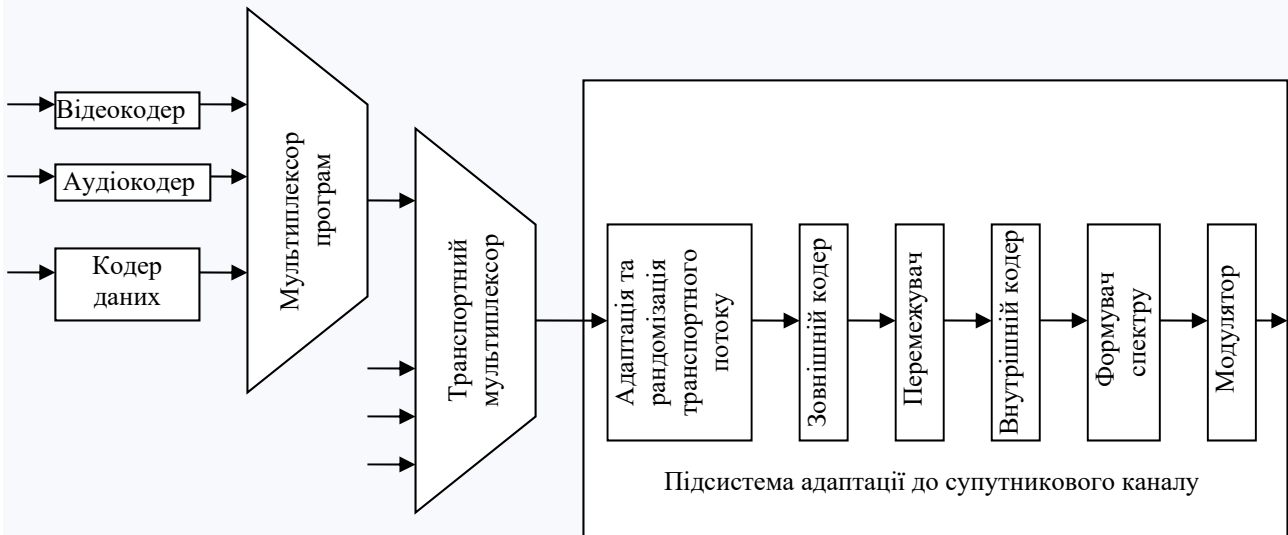


Рисунок 4.2 — Структурна схема передавальної частини системи супутникового цифрового телебачення стандарту DVB-S

Процес рандомізації аналогічний тому, що використовується у стандарті DVB-T (див. розділ 3.1, рис. 3.8). Ініціалізуюча послідовність 100101010000000 завантажується в регістр псевдовипадкової двійкової послідовності на початку кожного восьмого транспортного пакету. Період псевдовипадкової послідовності складає 1503 байти.

4.2.2 Методи модуляції і завадостійкого кодування

Основним видом модуляції в стандарті DVB-S прийнята QPSK, хоча в окремих випадках можуть використовуватися 8PSK і навіть 16QAM. Застосування завадостійкого кодування дозволяє значно понизити потрібне для роботи демодулятора відношення енергії в одному біті інформації до потужності шуму E_b/N_0 (див. табл. 4.1).

Пакети транспортного потоку MPEG-2 по 188 байт кожен (рис. 4.3 а) після рандомізації (рис.4.3б) надходять в систему зовнішнього кодування. На першому етапі зовнішнього кодування використовується скорочений код Ріда-Соломона RS з 16 байт, який додається до кожного транспортно-

го пакета з 188 байт (рис.4.3в) для захисту пакетів від короточасних (локальних) помилок.

Таблиця 4.1

Потрібне для роботи демодулятора відношення E_b/N_0

Модуляція	Швидкість внутрішнього кодування	Спектральна ефективність, біт/Гц	Запас на реалізацію модему, dB	E_b/N_0
QPSK	1/2	0,92	0,8	4,5
	2/3	1,23	0,8	5
	3/4	1,38	0,8	5,5
	5/6	1,53	0,8	6
	7/8	1,61	0,8	6,4
8PSK	2/3	1,84	1	6,9
	5/6	2,3	1,4	8,9
	8/9	2,46	1,5	9,4
16QAM	3/4	2,76	1,5	9
	7/8	3,22	2,1	10,7

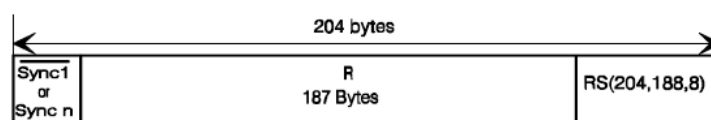
Далі виконується зовнішнє перемежування з глибиною 12 байт, що забезпечує можливість використання RS коду і в умовах повільних завмирань. Фрейм після перемежування показано на рис.4.3г. Після перемежування фрейм складається з поєднаних пакетів із захистом від помилок розділених інвертованими або неінвертованими MPEG-2 синхронізуючими байтами.



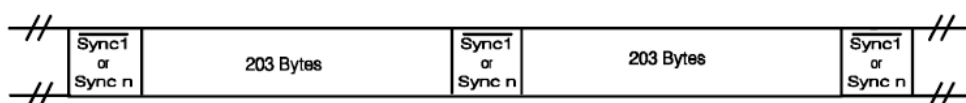
а) Пакет MPEG-2 транспортного потоку



б) Рандомізований пакет транспортного потоку



в) Кодований кодом Ріда-Соломона пакет RS (204,188,Т=8)



г) Фрейм після перемежування, глибина перемежування 12 bytes

Рисунок 4.3 — Операції RS кодування та перемежування

Зовнішній перемикач (рис. 4.4) складається з гілок, які мають різну затримку і циклічно підключаються за допомогою вхідного і вихідного комутаторів. Кожна гілка відповідає затримці обслуговування черг зсувного регістра. Для цілей синхронізації байти синхронізації мають бути спрямовані в гілку «0» перемикача з нульовою затримкою.

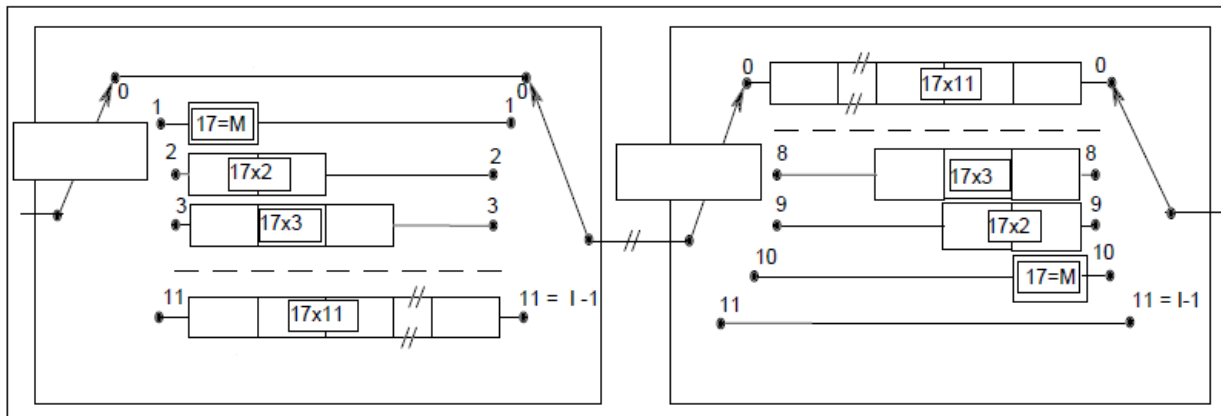


Рисунок 4.4 — Структурна схема перемикача/деперемікача

Принцип роботи деперемікача на приймальному боці такий же, як і перемикача на передавальному, але індекси гілок й відповідно затримки реверсують (0-й відповідає найбільшій затримці).

У стандарті DVB-S використовується внутрішнє згорткове кодування з кодовим обмеженням $j=7$ і можливістю гнучкої зміни відносної швидкості кодування (1/2, 2/3, 3/4, 5/6 і 7/8). Конкретне значення відносної швидкості кодування вибирається з урахуванням рівня потужності сигналу і ширини смуги частот радіоканалу. Це дозволяє вибирати найбільш відповідну якість корекції помилок для цього сервісу або швидкості передачі даних.

У приймальному пристрої використовується універсальний декодер згорткового коду з автоматичним вибором потрібної швидкості. Кодек згортального коду по термінології стандарту DVB-S відноситься до внутрішньої системи кодозахисту модему. Декодер згорткового коду здійснює перший рівень кодозахисту і повинен працювати при коефіцієнті помилок вхідного сигналу в межах $10^{-2} \dots 10^{-1}$, знижуючи коефіцієнт помилок у вихідному потоці до $2 \cdot 10^{-4}$ або меншого значення. Великі інтегральні схеми, необхідні для реалізації згорткових кодерів і декодерів з тактовими частотами до 45 МГц, випускаються серійно.

Модуляція і демодуляція здійснюється на проміжній частоті 70 або 140 МГц. У стандарті DVB-S використовується технічно відносно простий когерентний чотирьохпозиційний фазовий модем з маніпуляцією у кодї Грея, який добре себе зарекомендував у супутникових лініях зв'язку. Такий модем забезпечує хорошу захищеність від завад, ефективно використовує енергетичні можливості лінії зв'язку та простий в реалізації (рис. 4.5).

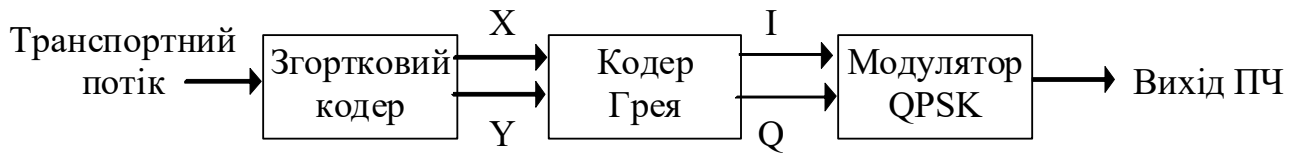


Рисунок 4.5 — Структурна схема модулятора з внутрішньою системою кодозахисту

При 4-позиційній фазовій маніпуляції (QPSK) фаза несучої може набувати 4 фіксовані значення залежно від комбінацій двійкових символів на I (сінфазному) та Q (квадратурному) входах модему. Для забезпечення сумісності модуляторів і демодуляторів різних фірм виробників ці значення стандартизовані. Комбінації двійкових символів 00 на входах I і Q модему відповідає фаза несучої 45° , а комбінації двійкових символів 10 — фаза 135° . Відображення бітів у сигнальному просторі представлено на рис. 4.6.

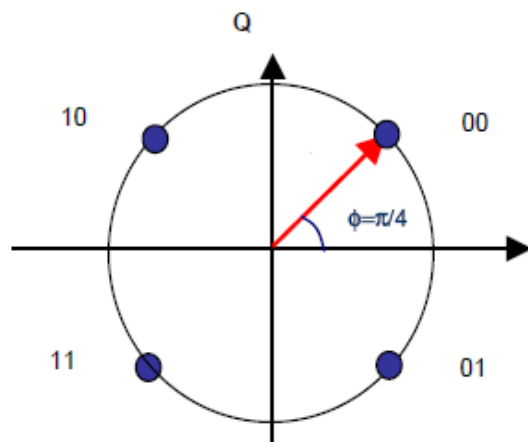


Рисунок 4.6 — Відображення бітів в QPSK сузір'ї

Перед модуляцією сигнали фільтруються з коефіцієнтом згладжування $\alpha = 0,35$. При цьому характер АЧХ фільтру визначається виразом:

$$\begin{aligned}
 H(f) &= 1 && \text{для } |f| < f_N(1 - \alpha); \\
 H(f) &= \left\{ \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \sin \frac{\pi}{2f_N} \left[\frac{f_N - |f|}{\alpha} \right] \right\}^{1/2} && \text{для } f_N(1 - \alpha) < |f| < f_N(1 + \alpha); \quad (4.1) \\
 H(f) &= 0 && \text{для } |f| > f_N(1 + \alpha),
 \end{aligned}$$

де $f_N = 1/2T_s$ частота Найквіста.

Початкова невизначеність фази в системі синхронізації несучого коливання усувається після демодуляції за результатами декодування стартових синхрогруп в системі циклової синхронізації демодулятора з урахуванням періодичної модифікації полярності цих сигналів через кожні 8 пакетів.

4.3 Стандарт DVB-S2

4.3.1 Загальна характеристика стандарту DVB-S2

Стандарт другого покоління DVB-S2 забезпечує усі найважливіші види послуг супутникового мовлення: телевізійне мовлення стандартного (SDTV) і підвищеної якості (HDTV); доступ в Інтернет; професійні додатки (репортажні послуги, доставка ТБ-програм до наземних передавачів) та ін.

Основні переваги стандарту DVB-S2 над DVB-S:

- збільшена на 30% пропускна спроможність (для користувачів супутникового інтернету це означає зменшення тарифів, для телеглядачів — збільшення числа каналів + поліпшення якості зображення);

- висока гнучкість (система супутникового ТБ залишається працездатною при будь-яких параметрах сигналів, які відповідають параметрам нині чинних транспондерів, надаючи можливість використання сигналів з різною спектральною ефективністю);

- здатність передачі будь-якого формату вхідного цифрового потоку, включаючи один або декілька транспортних потоків MPEG, безперервні бітові потоки, пакети IP і ATM;

- більш висока стабільність та завадостійкість.

У цьому стандарті застосовані останні розробки в області каналного кодування в поєднанні з ширшим вибором видів модуляції сигналів (QPSK, 8PSK, 16APSK і 32APSK), що дозволяє збільшити швидкість передачі при збереженні необхідного високого рівня захисту від помилок [8–11].

У залежності від вибраної швидкості кодування та типу модуляції в припущенні каналу з аддитивним гаусовим шумом та ідеального демодулятора система здатна працювати при $SNR=2,4\text{дБ}$ при QPSK 1/4 і $SNR\geq 16\text{дБ}$ при 32 APSK 9/10. Це потенційно забезпечує збільшення пропускної здатності на 20–35% в порівнянні з DVB-S за однакових умов передачі і виграш у 2–2,5 дБ при прийманні при тій же спектральній ефективності.

4.3.2 Особливості перетворення цифрових потоків в передавальних і приймальних системах стандарту DVB-S2

Структурна схема передавальної частини стандарту DVB-S2 показана на рис. 4.7.

Процес рандомізації практично аналогічний реалізованому в стандарті DVB-S. Відмінність полягає тільки в довжині фрейма. Принципи ж зовнішнього і внутрішнього кодування істотно відрізняються.

Корекція помилок — це ключовий інструмент для досягнення найкращих характеристик супутникового каналу передачі інформації в умовах високого рівня шумів та завад.

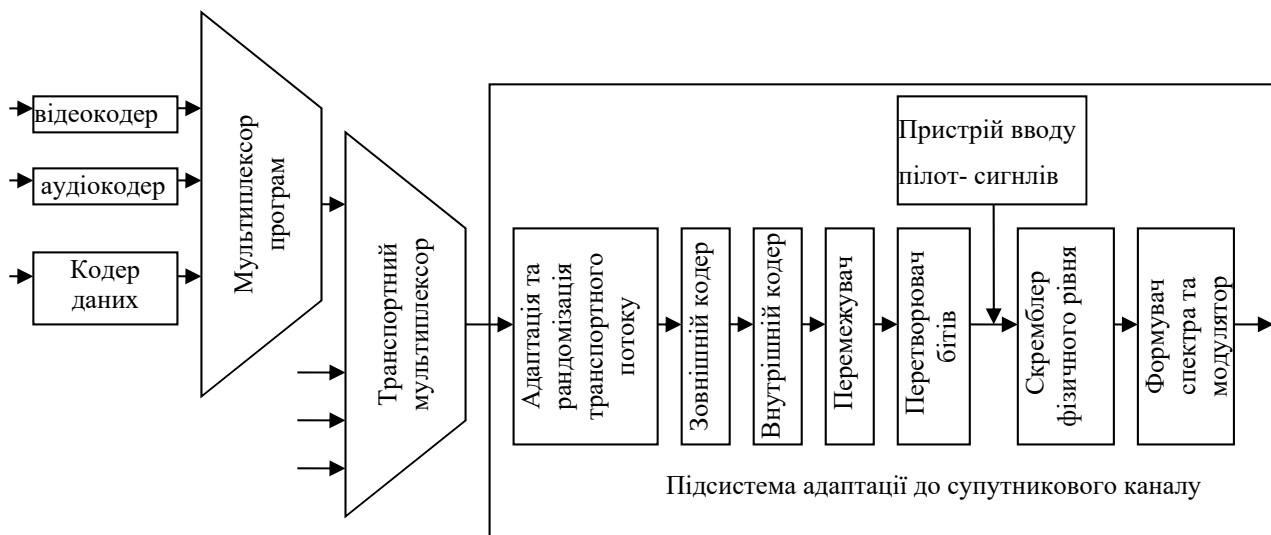


Рисунок 4.7 — Структурна схема передавальної частини системи супутникового цифрового телебачення стандарту DVB-S2.

Для каналів з випадковим характером помилок (з адитивними завадами типу «білого шуму») практичний інтерес представляють три види кодів: згортковий, Ріда-Соломона та турбокоди з низькою щільністю перевірки на парність (Low Density Parity Check codes — LDPC). Поєднання декількох схем завадостійкого кодування дозволяє врахувати різні умови експлуатації. Так, **згортковий код** зазвичай використовується для *передачі мовного трафіку*, коли вірогідність помилки на біт може бути досить великою, але не критичною для сприйняття і розуміння інформації. При *передачі даних*, коли потрібно більш високу надійність, застосовуються так звані **каскадні коди**, коли зовнішнім є код Ріда-Соломона, а внутрішнім — згортковий.

У процесі вибору кодів для нового стандарту проводилося комп'ютерне моделювання, в результаті якого переможцем була вибрана система, у якій в якості зовнішнього коду використовувався BCH-код (Bose — Chaudhuri — Hocquenghem — Боуза — Чоудхури — Хоквінгема), а в якості внутрішнього — LDPC-код. Така система дозволяє максимально близько підійти до межі Шенона для каналів з адитивним «білим» (гаусовим) шумом. Вибрані LDPC коди не критичні до затримок, оскільки використовують дуже довгі блоки по 64800 біт. При цьому доступні наступні швидкості кодування — 1/4, 1/3, 2/5, 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6, 8/9 і 9/10, які визначаються типом модуляції і надійністю каналу передачі. Швидкості 1/4, 1/3, 2/5 призначені для роботи з модуляцією QPSK на ненадійних лініях, коли рівень сигналу близький до рівня шуму.

4.3.3 Методи модуляції і завадостійкого кодування в стандарті DVB-S2

Стандарт DVB-S2 передбачає використання чотирьох типів модуляції — QPSK, 8PSK, 16APSK та 32APSK. Перші два використовуються в мережах телевізійного мовлення, у яких передавачі транспондерів працюють в нелінійних режимах, близьких до насичення. Два інші використовуються, як правило, в спеціальних системах, але можуть використовуватися також і для цілей мовлення. Правда, у цьому випадку потрібно більш високе співвідношення сигнал/шум на прийомі, а на передавальному боці повинно використовуватися передспотворення сигналу, щоб компенсувати нелінійність транспондера. І хоча ці типи модуляцій вимагають більших енергетичних витрат, зате вони дають кращу ефективність використання спектру. Сузір'я 16APSK і 32APSK оптимізовані для роботи через нелінійний транспондер шляхом розміщення точок на колах, що зменшує вимоги до лінійності передавальних трактів. У той же час при передачі через лінійні тракти їх характеристики порівнянні з 16QAM та 32QAM відповідно.

Вибираючи тип модуляції і швидкість кодування, можна міняти ефективність використання спектру від 0,5 до 4 біт на символ. При цьому потрібно враховувати характеристики транспондера.

DVB-S2, на відміну від DVB-S, має три значення коефіцієнта згладжування (roll-off factor) спектру, які забезпечують різну ефективність використання спектру: $\alpha = 0,35$; $0,25$; та $0,20$. Нижчі значення коефіцієнта забезпечують більшу крутість фронтів спектру, що дозволяє розміщувати сусідні сигнали щільніше один до одного і, відповідно, ефективніше використовувати спектр.

Особливості зовнішнього і внутрішнього каналного кодування в стандарті DVB-2. Розглянемо особливості зовнішнього і внутрішнього каналного кодування в стандарті DVB-S2.

Кожен груповий кадр (K_{bch} біт) обробляється підсистемою FEC кодування. Перевірочні біти при зовнішньому BCH кодуванні додаються після вхідного групового фрейму, а біти контролю парності внутрішнього LDPC кодування додаються після BCH FEC поля (рис. 4.8) [8].

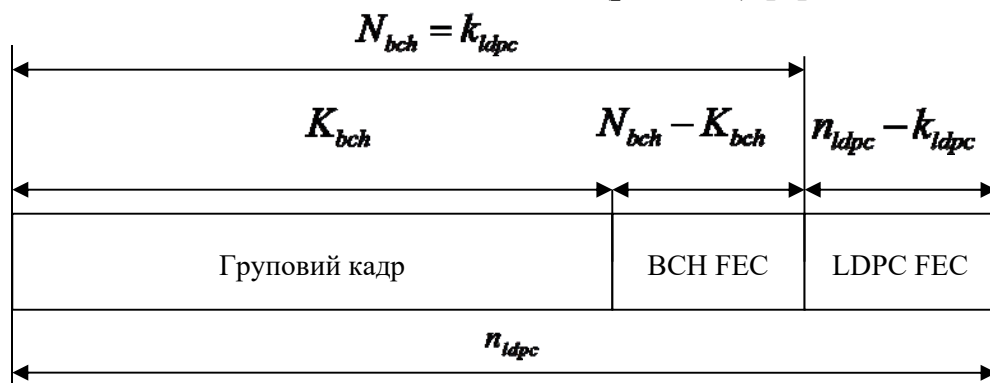


Рисунок 4.8 — Структура потокового FEC-кадру стандарту DVBS2

У табл. 4.2 представлені параметри кодування для нормального FEC фрейму ($n_{ldpc} = 64800$ біт), а в табл. 4.3 — для скороченого FEC фрейму ($n_{ldpc} = 16200$ біт).

Таблиця 4.2

Параметри FEC кодування для нормального FEC фрейму

LDPC код	Блок K_{bch}	ВСН блок N_{bch}	ВСН корекція помилок	LDPC блок n_{bch}
1/4	16008	16200	12	64800
1/3	21408	21 600	12	64800
2/5	25 728	25 920	12	64800
1/2	32 208	32 400	12	64800
3/5	38 688	38 880	12	64800
2/3	43 040	43 200	10	64800
3/4	48 408	48 600	12	64800
4/5	51 648	51 840	12	64800
5/6	53 840	54 000	10	64800
8/9	57 472	57 600	8	64800
9/10	58 192	58 320	8	64800

Таблиця 4.3

Параметри FEC кодування для скороченого FEC фрейму

LDPC код	Блок K_{bch}	ВСН блок N_{bch}	ВСН корекція помилок	LDPC блок n_{bch}
1/4	16008	16200	12	64800
1/3	21408	21 600	12	64800
2/5	25 728	25 920	12	64800
1/2	32 208	32 400	12	64800
3/5	38 688	38 880	12	64800
2/3	43 040	43 200	10	64800
3/4	48 408	48 600	12	64800
4/5	51 648	51 840	12	64800
5/6	53 840	54 000	10	64800
8/9	57 472	57 600	8	64800
9/10	58 192	58 320	8	64800

Код ВСН (N_{bch}, K_{bch}) застосовується до кожного групового фрейму для генерації захищених від помилок пакетів.

Утворюючі поліноми коду ВСН, представлені в табл. 4.4 для нормального коду з $n_{ldpc} = 64800$, а для скороченого з $n_{ldpc} = 16200$ — в табл. 5.5 [8].

Таблиця 4.4

ВСН поліноми для класичного FEC фрейму

$$n_{ldpc} = 64800$$

$g_1(x)$	$1 + x^2 + x^3 + x^5 + x^{16}$
$g_2(x)$	$1 + x + x^4 + x^5 + x^6 + x^8 + x^{16}$
$g_3(x)$	$1 + x^2 + x^3 + x^4 + x^5 + x^7 + x^8 + x^9 + x^{10} + x^{11} + x^{16}$
$g_4(x)$	$1 + x^2 + x^4 + x^6 + x^9 + x^{11} + x^{12} + x^{14} + x^{16}$
$g_5(x)$	$1 + x + x^2 + x^3 + x^5 + x^8 + x^9 + x^{10} + x^{11} + x^{12} + x^{16}$
$g_6(x)$	$1 + x^2 + x^4 + x^5 + x^7 + x^8 + x^9 + x^{10} + x^{12} + x^{13} + x^{14} + x^{15} + x^{16}$
$g_7(x)$	$1 + x^2 + x^5 + x^6 + x^8 + x^9 + x^{10} + x^{11} + x^{13} + x^{15} + x^{16}$
$g_8(x)$	$1 + x + x^2 + x^5 + x^6 + x^8 + x^9 + x^{12} + x^{13} + x^{14} + x^{16}$
$g_9(x)$	$1 + x^5 + x^7 + x^9 + x^{10} + x^{11} + x^{16}$
$g_{10}(x)$	$1 + x + x^2 + x^5 + x^7 + x^8 + x^{10} + x^{12} + x^{13} + x^{14} + x^{16}$
$g_{11}(x)$	$1 + x^2 + x^3 + x^5 + x^9 + x^{11} + x^{12} + x^{13} + x^{16}$
$g_{12}(x)$	$1 + x + x^5 + x^6 + x^7 + x^9 + x^{11} + x^{12} + x^{16}$

Таблиця 4.5

ВСН поліноми для скороченого FEC фрейму

$$n_{ldpc} = 16200$$

$g_1(x)$	$1 + x + x^3 + x^5 + x^{14}$
$g_2(x)$	$1 + x + x^2 + x^6 + x^9 + x^{10} + x^{14}$
$g_3(x)$	$1 + x + x^2 + x^6 + x^8 + x^9 + x^{10} + x^{14}$
$g_4(x)$	$1 + x^4 + x^7 + x^8 + x^{10} + x^{12} + x^{14}$
$g_5(x)$	$1 + x^2 + x^4 + x^6 + x^8 + x^9 + x^{11} + x^{13} + x^{14}$
$g_6(x)$	$1x^3 + x^7 + x^8 + x^9 + x^{13} + x^{14}$
$g_7(x)$	$1 + x^2 + x^5 + x^6 + x^7 + x^{10} + x^{11} + x^{13} + x^{14}$
$g_8(x)$	$1 + x^5 + x^8 + x^9 + x^{10} + x^{11} + x^{14}$
$g_9(x)$	$1 + x + x^2 + x^3 + x^9 + x^{10} + x^{14}$
$g_{10}(x)$	$1 + x^3 + x^6 + x^9 + x^{11} + x^{12} + x^{14}$
$g_{11}(x)$	$1 + x^4 + x^{11} + x^{12} + x^{14}$
$g_{12}(x)$	$1 + x + x^2 + x^3 + x^5 + x^6 + x^7 + x^8 + x^{10} + x^{13} + x^{14}$

ВСН кодування інформаційних біт:

$$m = (m_{k_{bch}-1}, m_{k_{bch}-2}, \dots, m_1, m_0) \quad (4.2)$$

у кодове слово:

$$c = (m_{k_{bch}-1}, m_{k_{bch}-2}, \dots, m_1, m_0, d_{n_{bch}-k_{bch}-1}, d_{n_{bch}-k_{bch}-2}, \dots, d_1, d_0) \quad (4.3)$$

досягається шляхом послідовного виконання наступних операцій:
множенням полінома:

$$m(x) = m_{k_{bch}-1}x^{k_{bch}-1} + m_{k_{bch}-2}x^{k_{bch}-2} + \dots + m_1x + m_0 \text{ на } x^{n_{bch}-k_{bch}}; \quad (4.4)$$

діленням $x^{n_{bch}-k_{bch}}m(x)$ на поліном, що утворює $g(x)$, та отримання залишку

$$d(x) = d_{n_{bch}-k_{bch}-1}x^{n_{bch}-k_{bch}-1} + \dots + d_1x + d_0; \quad (4.5)$$

формуванням полінома кодової комбінації:

$$c(x) = x^{n_{bch}-k_{bch}}m(x) + d(x). \quad (4.6)$$

LDPC кодер кодує інформаційні блоки розміром:

$$k_{ldpc}, i = (i_0, i_1, \dots, i_{k_{ldpc}-1}) \quad (4.7)$$

у кодове слово розміром:

$$n_{ldpc}, c = (i_0, i_1, \dots, i_{k_{ldpc}-1}, p_0, p_1, \dots, p_{n_{ldpc}-k_{ldpc}-1}). \quad (4.8)$$

Передача кодового слова починається з i_0 та закінчується $p_{n_{ldpc}-k_{ldpc}-1}$.

Конфігурація кожного блокового перемежувача для кожного формату модуляції наведена у табл. 4.6.

Таблиця 4.6

Конфігурація блокового перемежувача

Модуляція	Строки для $n_{ldpc} = 64800$	Строки для $n_{ldpc} = 16200$	Колонки
8PSK	21600	5400	3
16APSK	16200	4050	4
32APSK	12960	3240	5

При перемежуванні інформація послідовно записується у стовпцевий перемежувач і послідовно зчитується рядковим перемежувачем (рис. 4.9) [8, 9].

Кожен FEC кадр (з послідовністю 64800 біт для нормального FEC кадру і 16200 біт для скороченого) перетворюється в паралельний код, рівень паралельності η_{MOD} дорівнює 2 для QPSK, 3 для 8PSK, 4 для 16APSK і 5 для 32APSK. Кожна паралельна послідовність відображається в сузір'я, послідовності різної довжини, яка залежить від вибраної ефективності модуляції, яка, у свою чергу, забезпечується відповідною η_{MOD} послідовності символів (I, Q). Вхідна послідовність — FEC фрейм, вихідна послідовність — XFEC фрейм, що складається з $64800/\eta_{MOD}$ або $16200/\eta_{MOD}$ символів модуляції.

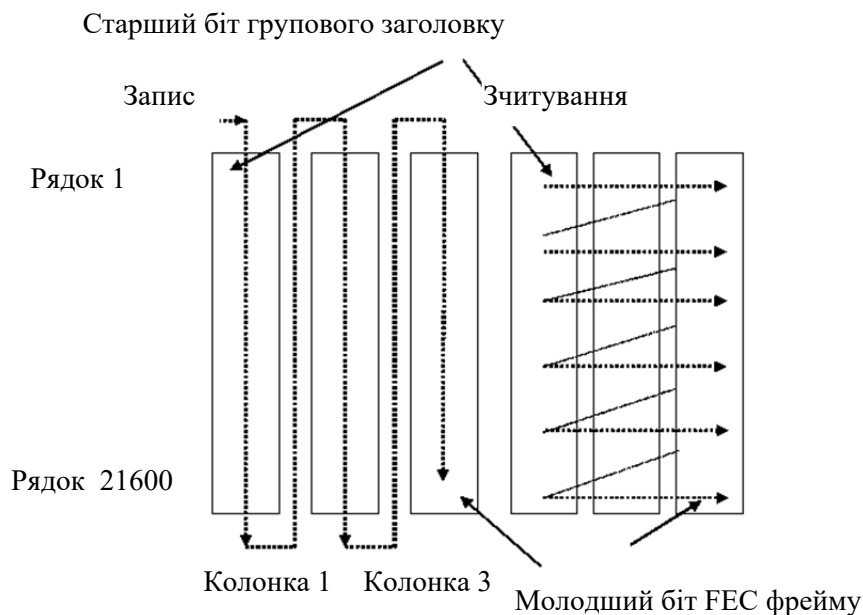


Рисунок 4.9 — Схема біт перемежування для 8PSK и класичного FEC кадру (фрейму) [8, 9]

Відображення бітів в сузір'ї 8PSK представлено на рис.4.10. Біти $3i, 3i+1, 3i+2$ з виходу перемежувача визначають i -й 8PSK символ, де $i = 0, 1, 2, \dots, (N/3) - 1$, N — розмір LDPC кодованого блоку.

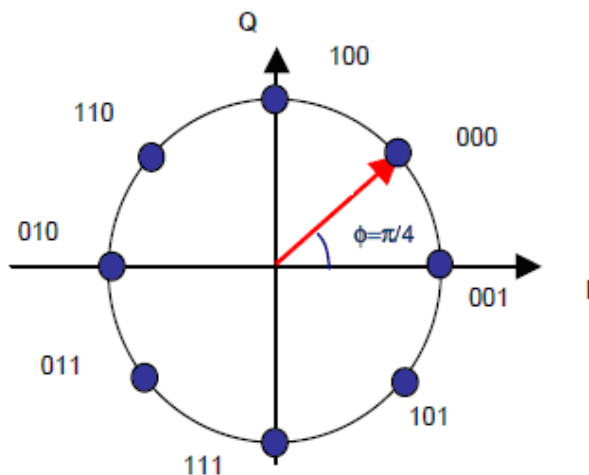


Рисунок 4.10 — Відображення біт у сузір'ї 8PSK

Сузір'я 16APSK складається з двох кілець з рівномірно розподіленими 4 та 12 PSK точками по внутрішньому колу радіусом — R_1 і зовнішньому з радіусом — R_2 (рис. 4.11). Відповідні відношення радіусів зовнішнього кільця до внутрішнього ($\gamma = R_2/R_1$) представлені в табл. 4.7. Біти: $4i, 4i+1, 4i+2, 4i+3$ з виходу перемежувача визначають i -й 8PSK символ, де

$$i = 0, 1, 2, \dots, (N/4) - 1.$$

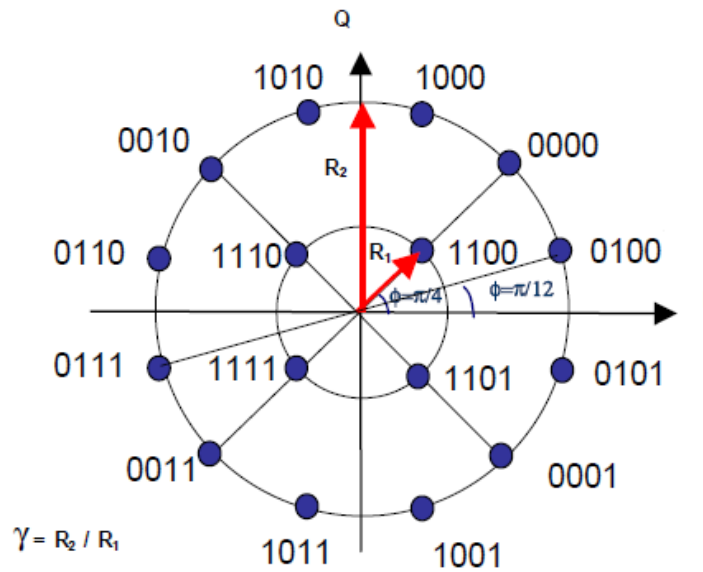


Рисунок 4.11 — Відображення біт у сузір'ї 16PSK

Таблиця 4.7

Оптимальне відношення радіусів — γ для 16APSK

Кодова швидкість	Спектральна ефективність модуляції/кодування	γ
2/3	2,66	3,15
3/4	2,99	2,85
4/5	3,19	2,75
5/6	3,32	2,70
8/9	3,55	2,60
9/10	3,59	2,57

Сузір'я 32APSK складається з трьох кілець з рівномірно розставленими 4, 12 і 16 PSK точками, з внутрішнім радіусом — R_1 , середнього — R_2 та зовнішнього — R_3 (рис. 4.12). У табл. 4.8 наведені значення для $\gamma_1 = R_2/R_1$ і $\gamma_2 = R_3/R_1$. Біти: $5i, 5i+1, 5i+2, 5i+3, 5i+4$ з виходу перемежувача визначають i -й PSK-8 символ, де $i = 0, 1, 2, \dots, (N/5) - 1$ та N — параметри розміру LDPC кодованого блоку [8–11].

У таблиці 4.9 для порівняння представлені характеристики стандартів супутникового мовленням DVB-S та DVB-S2 при використанні транспондера з смугою пропускання 36МГц та використанні приймальної параболічної антени з рефлектором 60 см. Як видно з таблиці, при ідентичному відношенні сигнал/шум смуга пропускання DVB-S2 транспондера більш ніж на 30% збільшена відносно DVB-S транспондера. Це забезпечує можливість трансляції від 21 до 26 каналів стандартної чіткості і 5–6 каналів високої чіткості кожним DVB-S2 транспондером [8–11].

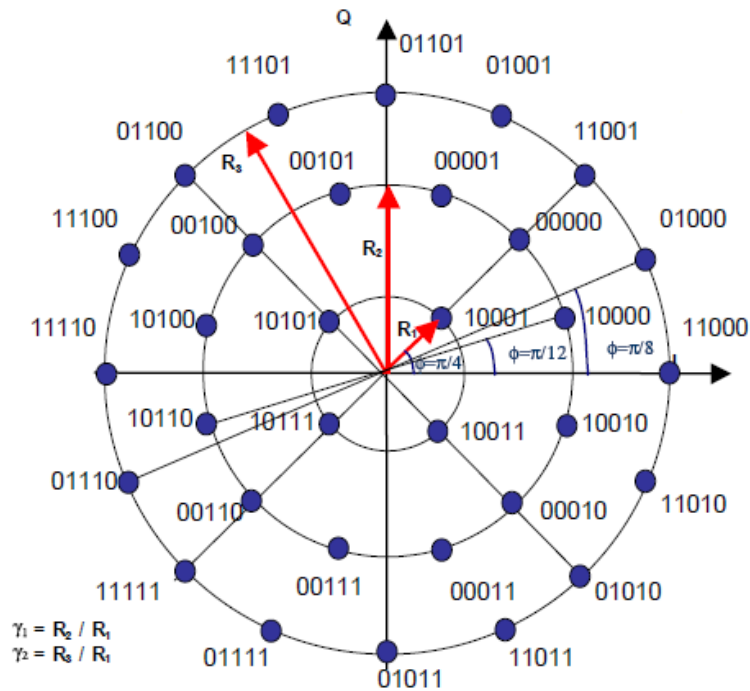


Рисунок 4.12 — Відображення біт у сузір'ї 32APSK

Таблиця 4.8

Оптимальне відношення радіусів: γ_1, γ_2 для APSK-32

Кодова швидкість	Спектральна ефективність модуляції/кодування	γ_1	γ_2
3/4	3,74	2,84	5,27
4/5	3,99	2,72	4,87
5/6	4,15	2,64	4,64
8/9	4,43	2,54	4,33
9/10	4,49	2,53	4,30

Таблиця 4.9

Характеристики стандартів DVB-S та DVB-S2

EIRP, дБВт	51		53.7	
	DVB-S	DVB-S2	DVB-S	DVB-S2
Модуляція та кодування	QPSK 2/3	QPSK 3/4	QPSK 7/8	PSK-8 2/3
Символьна швидкість, МБод	27.5	30.9	27.5	29.7
Відношення сигнал/шум, дБ	5.1	5.1	7.8	7.8
Швидкість передачі інформаційних бітів, Мбит/с	33.8	46	44.4	58.8
Кількість програм стандартної чіткості	7 MPEG-2 15 AVC	10 MPEG-2 21 AVC	10 MPEG-2 20 AVC	13 MPEG-2 26 AVC
Кількість програм високої чіткості	1-2 MPEG-2 3-4 AVC	2 MPEG-2 5 AVC	2 MPEG-2 5 AVC	3 MPEG-2 6 AVC

Залежно від вибраної кодової швидкості і модуляції, система може функціонувати з відношенням сигнал/шум вище 5,1 дБ, використовуючи QPSK з кодовою швидкістю 2/3 або 3/4. При відношенні сигнал/шум вище 7,8 дБ — QPSK з кодовою швидкістю 7/8 або 8PSK з кодовою швидкістю 2/3.

4.3.4 Технологія Multistream в стандарті DVB-S2

Чималу роль в стандарті DVB-S2 відіграє технологія multistream. Ця технологія є частиною стандарту DVB-S2 [1]. Її сутність полягає в тому, що в одному пакеті (на одній несучій частоті) передається декілька незалежних транспортних потоків (TS), кожний з них виглядає як окремий TS-потік з каналами. Технічно можливо, щоб кожний із потоків був з різною модуляцією (QPSK/8PSK) та FEC. Нещодавно multistream став активно застосовуватись для супутникової доставки сигналу для наземних цифрових передавачів. Тому, як правило, всі TS-потоки йдуть з однаковими параметрами. Кожний TS, поступаючи в DVB-S2-модулятор, інкапсулюється у довгі пакети ВВ-фреймів (Base Band) по 64800 байт, тобто приблизно 340 пакетів TS в кожному PL-фреймі (Physical Layer). Далі проходячи через блок завадостійкого кодування (LDPC+VCH), ВВ-фрейми перетворюються в FEC-фрейми. Далі FEC-фрейми перетворюються в PL-фрейми, після чого потоки PL-фреймів, що містять в собі свої TS пакети, складаються і після модуляції передаються в ефір (рис. 4.13, рис. 4.14).

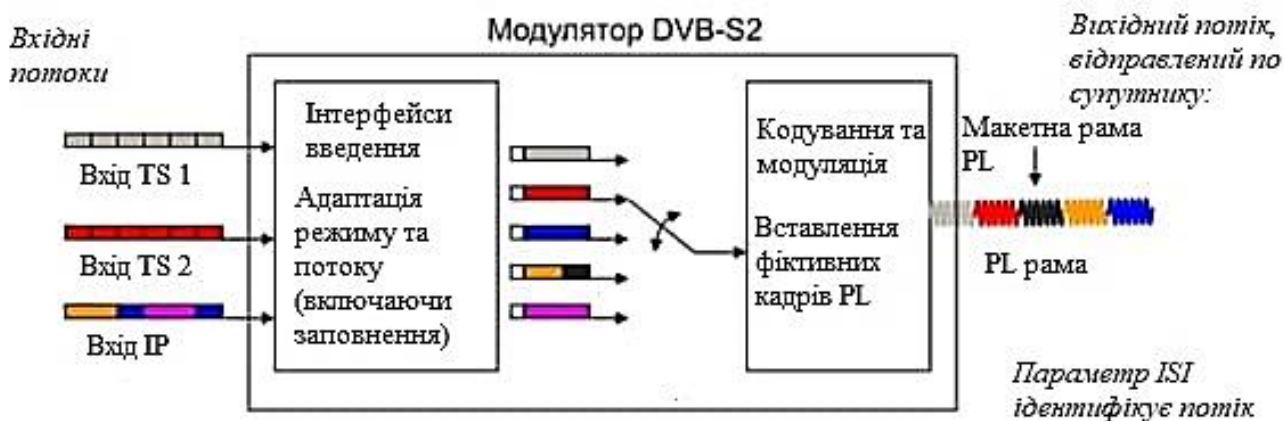


Рисунок 4.13 — Загальний принцип формування потоку Multistream

На рис. 4.15 відображено принцип приймання супутникового радіосигналу технології multistream з наступним формуванням та випромінення цифрових мультиплексів наземною мережею телевізійних передавачів в стандарті DVB-T або DVB-T2.

У порівнянні з передачею кожного пакету на своїй окремій несучій отримуємо вигоду, по-перше за рахунок щільного використання спектру (рис. 4.16, а, б, в) та, подруге за рахунок використання транспондера в режимі насичення, що надає більшої потужності корисному сигналу.

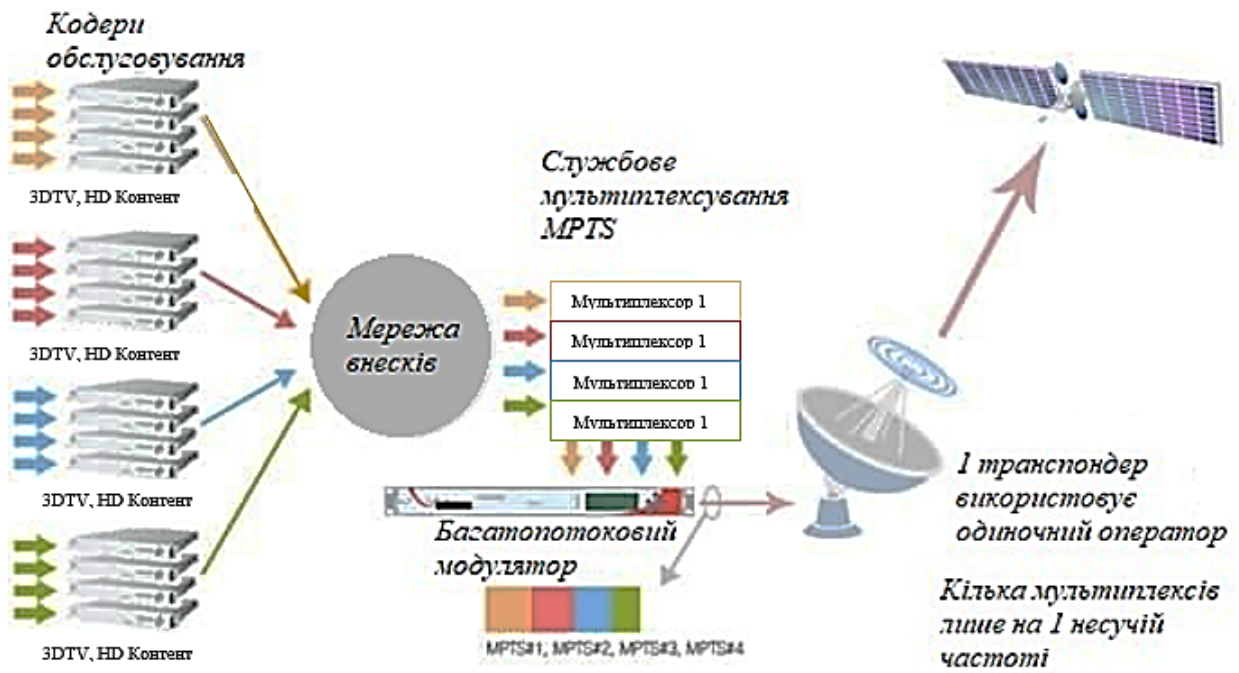


Рисунок 4.14 — Формування multistream потоку на передавальній стороні системи телевізійного мовлення

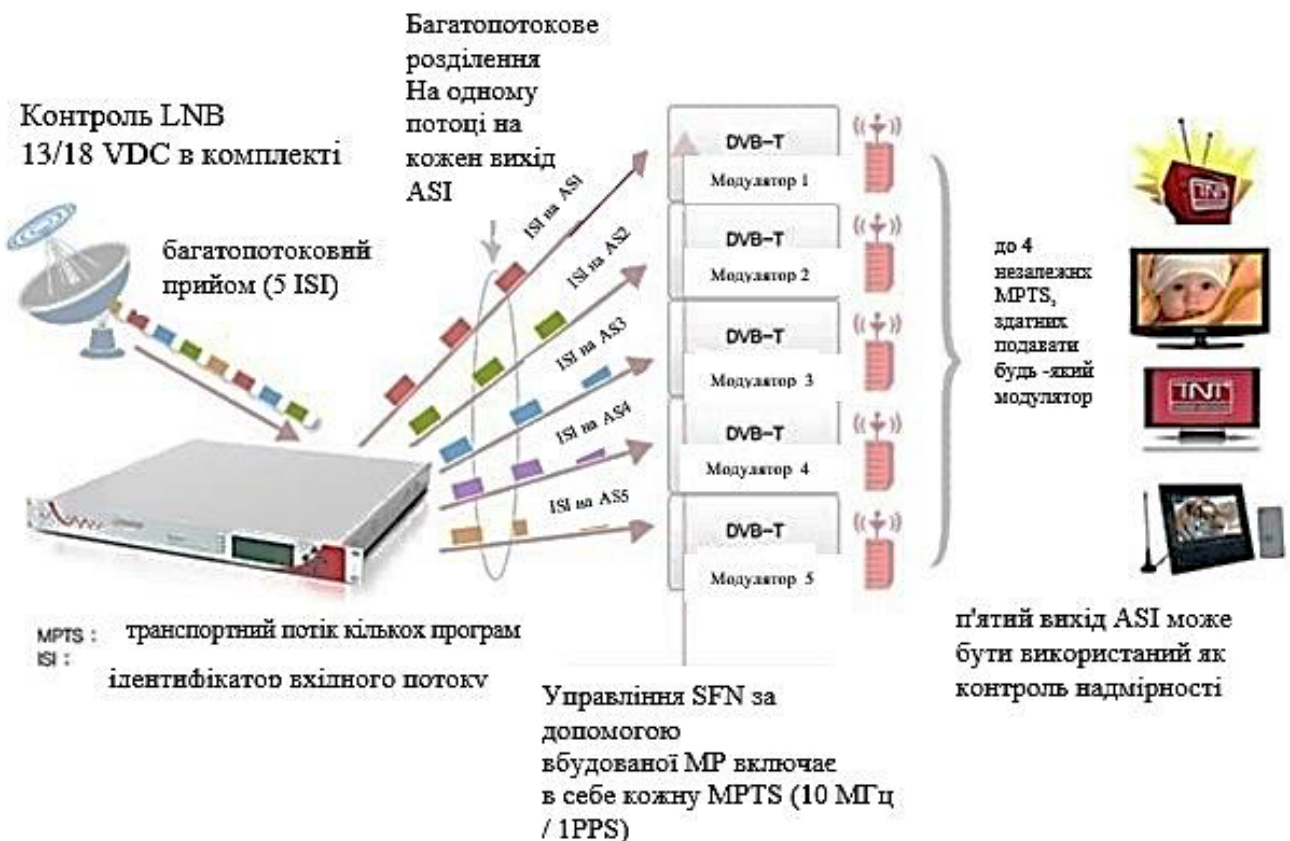
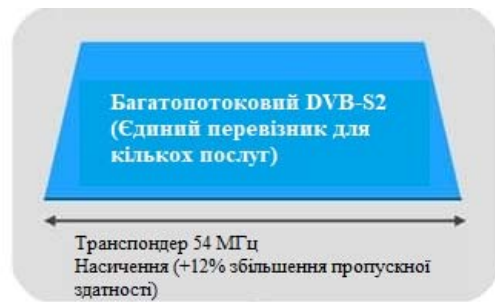


Рисунок 4.15 — Принцип прийому потоку Multistream від супутника



а)



б)

Рис. 4.16 – а) Використання спектру в стандарті DVB-S2;

б) Використання спектру в стандарті DVB-S2 з Multistream;

в) Амплітудна характеристика підсилювача потужності

супутникового транспондера та втрати потужності (back-off) при роботі в лінійному режимі та в режимі насичення



в)

Переваги використання технології Multistream в DVB-S2 в порівнянні зі звичайним DVB-S:

1) зменшення капітальних витрат, так як зменшується кількість одиниць обладнання на передавальній та приймальній сторонах (DVB-S модулятори, IRD приймачі і таке інше);

2) декілька різних мультимедійних послуг передаються на одній несучій та в одній смузі частот, простота додавання нових послуг/мультиплексів;

3) можливість роботи підсилювача потужності супутникового транспондера в нелінійному режимі через відсутність інтермодуляції, що має місце в системах с багатьма несучими. Це забезпечує підвищення випромінюваної КА потужності, тобто підвищення енергетичного потенціалу радіолінії, який можливо при необхідності розміняти на збільшення швидкості передачі інформації за рахунок збільшення швидкості кодування (приблизно на 12%), або зменшити діаметр приймальної антени;

4) прозорий захист інформації від несанкціонованого прийому з мінімальними витратами, так як багатопотокова передача (Multistream) DVB-S2 апаратно не підтримується абонентськими приймачами (STB — Set-Top-Box). Якщо цього виявиться недостатнім, можливе використання скремблювання на фізичному рівні (DVB-S2) чи використання шифрування AES.

4.4 Порівняльна характеристика стандартів DVB-S та DVB-S2

Використання у DVB-S2 внутрішнього (inner) кодування з низькою щільністю перевірок на парність — LDPC [2] і зовнішнього (outer) BCH кодування (Bose, Chaudhuriand, Hocquenghem) дозволяє в тій самій смузі транспондера транслювати цифровий потік з більшими швидкостями та завадозахищеністю.

Слід відзначити, що порогові властивості DVB-S2 у порівнянні з DVB-S виражені більш різко завдяки використанню LDPC та BCH. З досліджень [3], проведених компанією Hughes Network Systems по використанню LDPC-кодування в системах зв'язку нового покоління, зміна відношення енергії символів до спектральної щільності шуму E_s/N_0 на вході декодера LDPC менш ніж на 0,1 дБ приводить до зміни BER (bit error rate чи bit error ratio — щільність помилок) на чотири порядки (в 10 000 раз) (рис. 4.17).

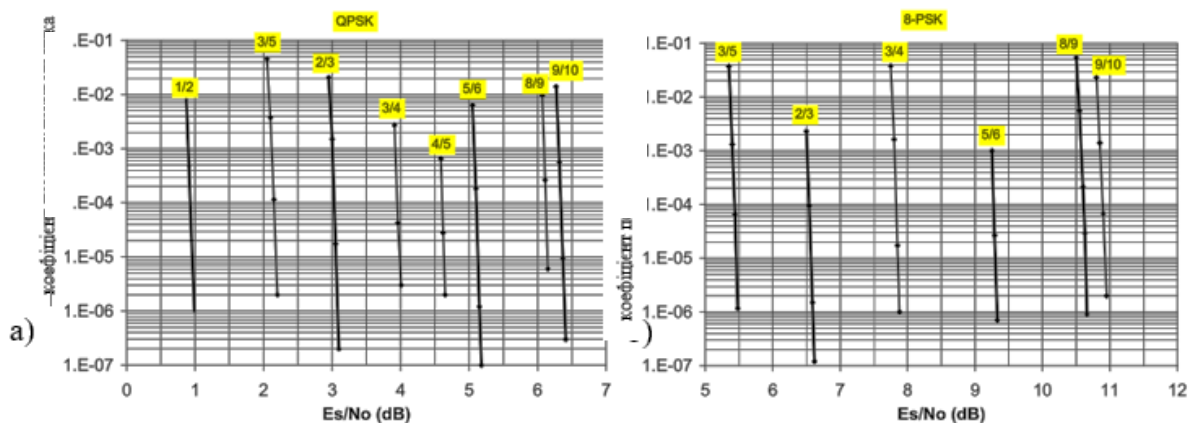


Рисунок 4.17 — Графік залежності кількості помилок від енергетичних відношень сигналу та шуму при використанні LDPC-кодування, QPSK-модуляції (а), 8-PSK та $N = 64800$ біт для гаусівського каналу з білим шумом (б)

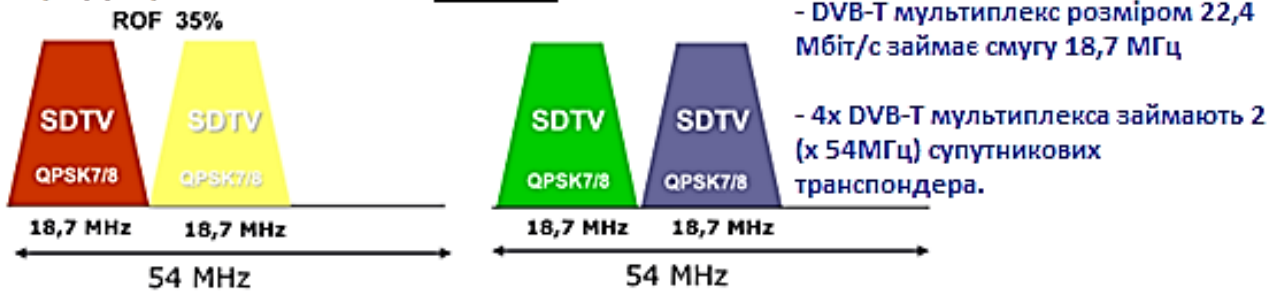
Зв'язок E_s/N_0 — відношення енергії символу до спектральної щільності шуму та E_b/N_0 — відношення енергії біт до спектральної щільності шуму описується виразом

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{E_s}{N_0} - 10 \log n, \quad (4.9)$$

де n — спектральна ефективність несучої.

Спеціалістами з кодування [4] відмічено, що прояв спотворень при зниженні відношення несуча/шум (C/N — Carrier/Noise) в приймальному тракті призводить до появи більших пакетів помилок на виході LDPC-декодера, в результаті чого наступний BCH-декодер вже не може виправити такий потік помилок. В результаті межові явища будуть проявлятися в повному руйнуванні зображення (рис. 4.18).

Традиційне мовлення **DVB-S**:



а)

Використання **DVB-S2** при тих же умовах



б)

Рисунок 4.18 — Переваги використання технології DVB-S2 (б) в порівнянні з технологією DVB-S, (а) при передачі сигналів ефірного цифрового ТВ стандарту DVB-T

Через цей важливий фактор з переходом на DVB-S2 слід підвищувати енергетичний запас (margin), якщо його величина недостатня. Margin — величина, визначаюча енергетичний запас для стійкої роботи приймальної системи. Слід відзначити, як правило, при розрахунках і дослідженні завадостійкості DVB-S та DVB-S2 обмежуються лише аналізом впливу «білого» шуму Additive white Gaussian noise (AWGN) (шуму з рівномірною спектральною щільністю) — через складність моделювання реальних спектрів радіозавод, діючих на приймальні пристрої систем супутникового зв'язку, особливо в діапазоні С (4 ГГц).

У стандарті DVB-S для трансляції ТВ-каналів найчастіше застосовується QPSK з FEC $\frac{3}{4}$, рідше з $\frac{5}{6}$ та $\frac{7}{8}$ (рис. 5.18). Порівняльні розрахунки за допомогою калькулятора [5] для оцінки виграшу від використання DVB-S2 з різними системами модуляції (маніпуляції) для названих систем модуляції DVB-S зведені в таблиці 4.4–4.6.

Для порівняння можливостей стандартів розглянемо забезпечені в їх рамках параметри сигналів при однаковим умовах прийому. Покладемо радіочастотні відношення сигнал несуча/шум C/N на вході приймача рівним 10,9 дБ. Для сигналу стандарту DVB-S з FEC= $\frac{3}{4}$ такий рівень C/N забезпечує отримання Margin = 4,0 дБ. Слід відзначити, що частина операторів

супутникового зв'язку, керуючись тимчасовою рекомендацією [6], забезпечують величину Margin лише не менш 2–2,5 дБ (за умови «чистого неба»).

В таблицях 4.9–4.11 наведені результати обчислень, виконаних за допомогою калькулятора [5] для отримання в DVB-S2 величини Margin не менше ніж у використовуваного DVB-S. Смуга розміщення прийнята однаковою для більшості супутникових транспондерів 36 МГц.

Таблиця 4.9

Виграш DVB-S2 в порівнянні з DVB-S 3/4 QPSK

Параметри каналів	DVB-S 3/4QPSK	DVB-S2				
		2/3 LDPC 8PSK	3/5 LDPC 8PSK	5/6 LDPC QPSK	3/4 LDPC QPSK	2/3 LDPC QPSK
$\Delta f_{\text{розм}}$, МГц	36					
C/N, дБ	10,9					
roll-off	0,35	0,25				
$M_{\text{симв/с}}$	26,66	28,8				
Мбіт/с	36,85	55,7	50,1	46,3	41,8	37,2
Спектральна ефективність (n), біт/Гц	1,38	1,94	1,74	1,62	1,45	1,29
E_b/N_0 , дБ	9,5	7,95	8,4	8,7	9,2	9,7
Threshold, дБ	5,5	3,65	3	3	2,3	1,9
Margin, дБ	4	4,3	5,4	5,7	6,9	7,8

Таблиця 4.10

Виграш DVB-S2 в порівнянні з DVB-S 5/6 QPSK

Параметри каналів	DVB-S 5/6QPSK	DVB-S2			
		3/4LDPC 8PSK	2/3 LDPC 8PSK	3/5LDPC QPSK	4/5LDPC QPSK
$\Delta f_{\text{розм}}$, МГц	36				
C/N, дБ	10,9				
roll-off	0,35	0,25			
$M_{\text{симв/с}}$	26,66	28,8			
Мбіт/с	40,96	62,7	55,75	50,1	44,62
Спектральна ефективність (n), біт/Гц	1,54	2,18	1,94	1,74	1,55
E_b/N_0 , дБ	9,04	7,42	7,93	8,4	8,89
Threshold, дБ	6	4,43	3,65	3	2,67
Margin, дБ	3,04	3	4,28	5,4	6,22

Виграш DVB-S2 в порівнянні з DVB-S 7/8 QPSK

Параметри каналів	DVB-S 7/8QPSK	DVB-S2				
		3/4LDPC 8PSK	2/3 LDPC 8PSK	3/5LDPC QPSK	5/6LDPC QPSK	4/5LDPC QPSK
$\Delta f_{\text{розм}}$, МГц		36				
C/N , дБ		10,9				
roll-off	0,35	0,25				
$M_{\text{симв/с}}$	26,66	28,8				
$M_{\text{біт/с}}$	43	62,7	55,75	50,1	46,5	44,6
Спектральна ефективність (n), біт/Гц	1,61	2,18	1,94	1,74	1,61	1,55
E_b/N_0 , дБ	8,82	7,42	7,93	8,4	8,71	8,89
Threshold, дБ	6,4	4,43	3,65	3	3	2,67
Margin, дБ	2,42	3	4,28	5,4	5,7	6,22

Позначення, використовувани в таблицях 4.9–4.11:

$\Delta f_{\text{розм}}$ — смуга розміщення спектру DVB-S чи DVB-S2 сигналів;

roll-off — коефіцієнт спаду спектру модульованої (маніпульованої) несучої після проходження спеціального смугового фільтру (коефіцієнт вибіркової фільтру);

$M_{\text{симв/с}}$ — символна швидкість;

$M_{\text{біт/с}}$ — отримана швидкість транспортного потоку (пропускна здатність системи);

Спектральна ефективність — показник ефективності використання смуги частот для передачі цифрового потоку. В даному випадку це співвідношення бітової швидкості транспортного потоку без врахування каскадного кодування до символної в супутниковому транспондері ($M_{\text{біт/с}}/M_{\text{симв/с}}$), розмірність Біт/Гц, в загальному розумінні — параметр ефективності систем зі складними видами модуляції;

Threshold — межове значення E_b/N_0 , яке має бути не менше значення необхідного для коректної роботи систем модуляції та декодування в приймальних системах;

Margin = $(E_b/N_0 - \text{threshold})$, дБ — величина, що визначає енергетичний запас для стійкої роботи приймальної системи.

Пояснення та коментарі до результатів обчислень в таблицях 4.9–4.11:

– в крайніх лівих колонках значення DVB-S2 приведені розрахункові дані для отримання максимальної (або близьку до максимальної) швидкості транспортного потоку, а в правих крайніх — для отримання максимальної завадостійкості при збереженні швидкості транспортного потоку;

– у середніх колонках таблиць наведені розрахункові дані для комбінаційного виграшу;

– у таблицях не представлені розрахунки для деяких швидкостей кодування DVB-S2 в перехідній зоні від 8PSK до QPSK через спад позитивних змін. З даної причини в табл.5.9 не приведені розрахунки для FEC 9/10, 8/9 та 4/5 QPSK, а у табл. 5.10 не приведені розрахунки для FEC 9/10, 8/9, та 5/6 QSPK;

– у табл. 4.11 не приведені розрахунки для FEC 9/10 та 8/9 QPSK.

Підвищення швидкості цифрового потоку в DVB-S2 відбувається внаслідок використання 8-позиційної маніпуляції (8PSK), а підвищення завадостійкості при проактивному збереження пропускнуої здатності досягається завдяки використанню 4-позиційної маніпуляції (QPSK); в розрахунках використовувалось включення пілот-сигналу для підвищення стійкості прийому. Це призводить до зниження швидкості цифрового потоку приблизно на 2,4 відсотки.

4.5 Роль стандарту DVB-S2 в побудові мережі національного ефірного цифрового ТБ мовлення стандарту DVB-T2 в Україні

Національна телекомунікаційна мережа України для цифрового ефірного телерадіомовлення чотирьох цифрових пакетів (мультиплексів МХ-1, МХ-2, МХ-3, МХ-5) в стандарті DVB-T2 включає в себе складові трьох ієрархічних рівнів:

- національний центр телемовлення;
- регіональні центри телемовлення;
- малопотужні активні ретранслятори.

Структура побудови складових мережі кожного ієрархічного рівня має свої особливості, виходячи з поставлених завдань.

На рис. 4.19 зображена функціональна схема національного центра телемовлення запропонована в [7].

Вона складається з наступних структурних елементів:

Цифровий комутаційний вузол (ЦКУ) — виконує прийом сигналів усіх телеканалів та їх обробки, для передачі в єдиному форматі в центр формування мультиплексів та забезпечення трансляції каналів на супутник для регіонального мовлення;

Центр формування мультиплексів — призначений для кодування потоків в форматі MPEG-4, управління мультиплексами та їх синхронізації;

Передавальний комплекс містить формувачі, передавачі та міст складання для доставки сформованого радіосигналу через АФС на передавальну антену.

Схема передбачає наступні розподільчі технології передачі відеосигналу по мультиплексам:

- 1-й та 2-й — SDI;

- 3-й — PAL (також транслюється на аналоговий передавач);
- 5-й — IP (ведеться управління всіма мультиплексами, а також призначений для вставки каналів регіонального мовлення).

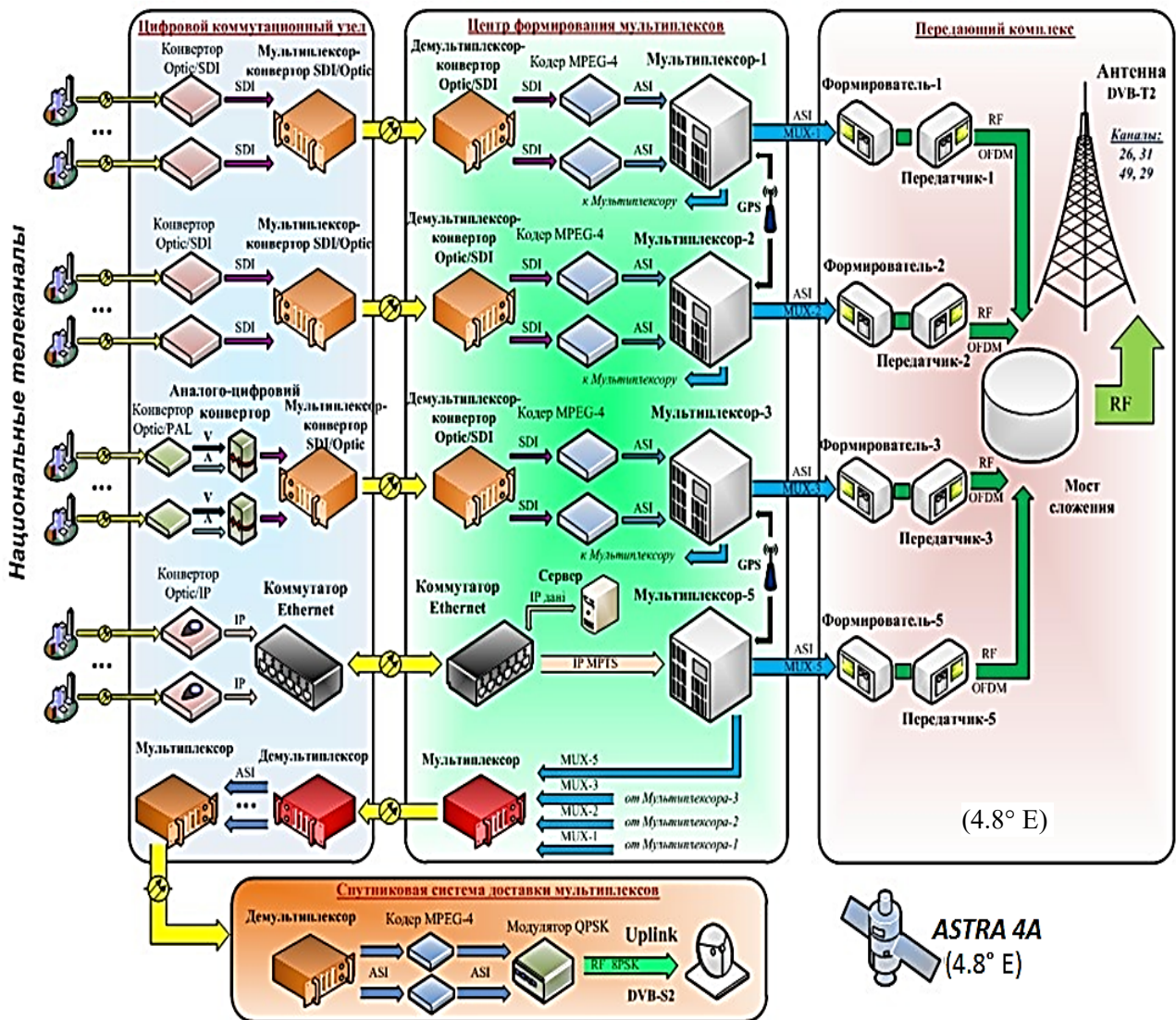


Рисунок 4.19 — Функціональна схема національного стандарту DVB-T2

У цифровому комутаційному вузлі формується загальнонаціональний контент у складі 4-х цифрових мультиплексів МХ-1, МХ-2, МХ-3 та МХ-5. При чому перші три мультиплекси мають повне (8 телепрограм) наповнення, а так званий регіональний мультиплекс МХ-5 заповнений частково (4 телепередачі).

Четвертий мультиплекс МХ-4 функціонує в стандарті DVB-T і не передбачається в даній схемі рис. 4.20).

Сигнали з виходу центрального комутаційного вузла надходять у центр формування мультиплексів, де здійснюється їх кодування кодеком MPEG-4 та модуляція в модуляторі 8PSK для наступної передачі на супутник Astra 4A (4.8° сх.д.). Особливістю супутникової телекомунікаційної мережі доставки

мультиплексів є використання стандарту DVB-S2, 8PSK модуляції та технології багатопоточного мовлення (2 цифрові мультиплекси на одній несійній частоті). Параметри одного такого multistream-потоків наступні: промінь європейський, несуча частота 12188 МГц, поляризація — горизонтальна, модуляція — DVB-S2/8PSK, символна швидкість — SR 30000, FEC 3/4, Multistream, 2 потоки. Цей multistream-потік ТОВ «Зеонбуд» використовує для роздачі у мережу наземних DVB-T2 передавачів по Україні.

Схема з'єднань

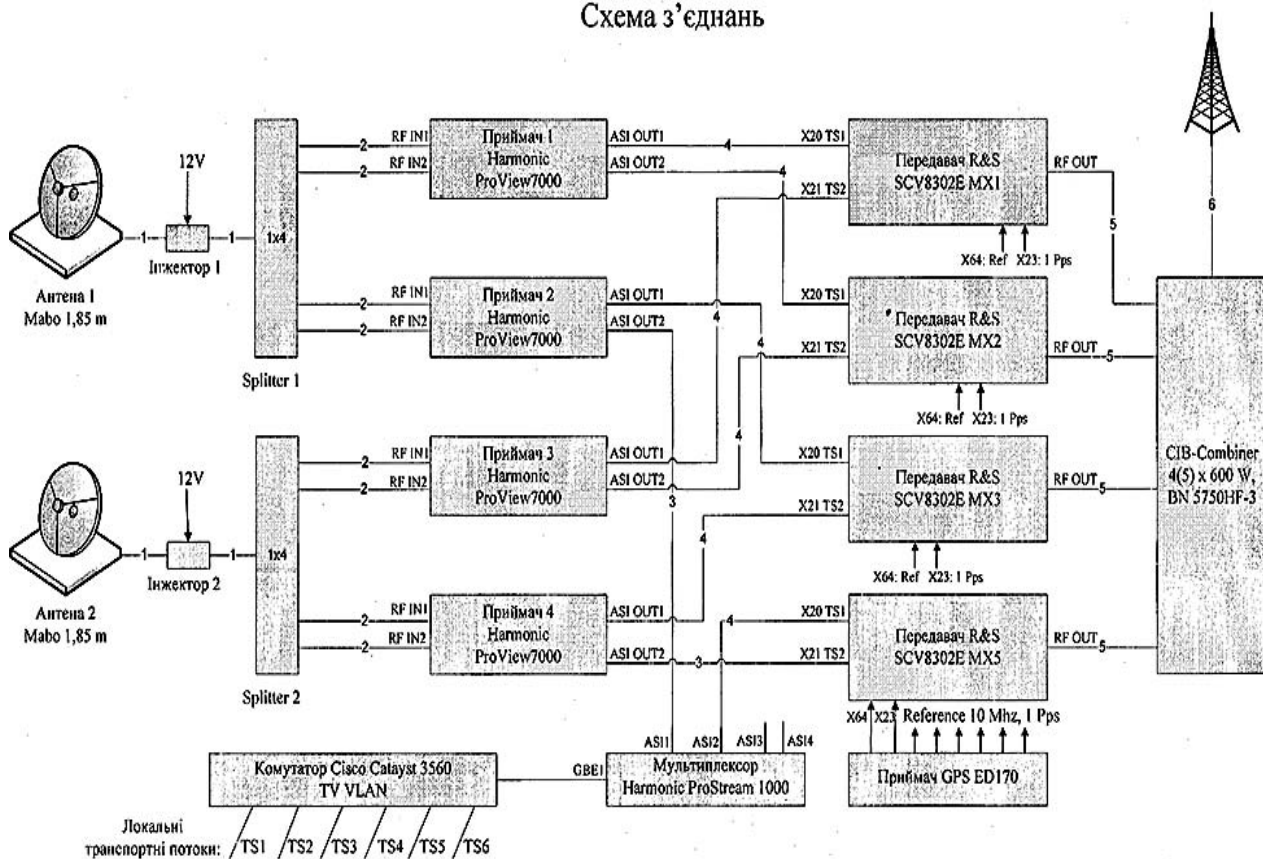


Рисунок 4.20 — Функціональна схема регіонального центру телемовлення

Схема доставки мультиплексів для Києва та регіонів відрізняється. Не менш важливу роль грає той факт, що розташована в Києві телебашта є найвища в Україні і може покрити доволі значну територію.

Для доставки (розподілу) програм регіональних та місцевих радіоканалів на регіональні центри телемовлення може бути використана модифікована мережа радіорелейних ліній зв'язку та мережа на оптоволоконних лініях або комбінація цих ліній.

Схема формування мультиплексів в регіонах (рис. 4.19) має подібні принципи доставки сигналу до передавачів. Різниця пов'язана з додавання до 5-го мультиплексу регіональних та місцевих каналів.

Регіональні центри телемовлення приймають супутниковою станцією сигнал супутника і передають його на регіональний передавальний комплекс.

5-й мультиплекс доповнюється регіональними та місцевими телепрограмами. Далі сигнали для кожного мультиплекса проходять через декодер QPSK по індивідуальному тракту, потрапляють на відповідні формувачі та передавачі. Сумарний радіочастотний сигнал після мосту складання потрапляє в антенно-фідерну систему і випромінюється у ефір передавальною антеною.

Недоліком існуючої мережі стандарту DVB-T2 є її побудова по принципу несинхронної багаточастотної мережі. Тому не забезпечується максимальна ефективність використання радіочастотного ресурсу, наявна значна кількість «білих плям» у покритті.

4.6 Розподіли поляризаційно-частотних ресурсів супутникових ретрансляторів

Як приклад розглянемо частотний план транспондерів супутника Hot Bird 8. Цей супутник запущений на геостаціонарну орбіту з точкою стояння 13° східної довготи 4 серпня 2006 і має на борту 64 транспондера K_u діапазону. Схема розподілу поляризаційно-частотних ресурсів супутника Hot Bird 8 представлена на рис. 4.20 у вигляді умовних огинаючих спектрів транспондерів [6].

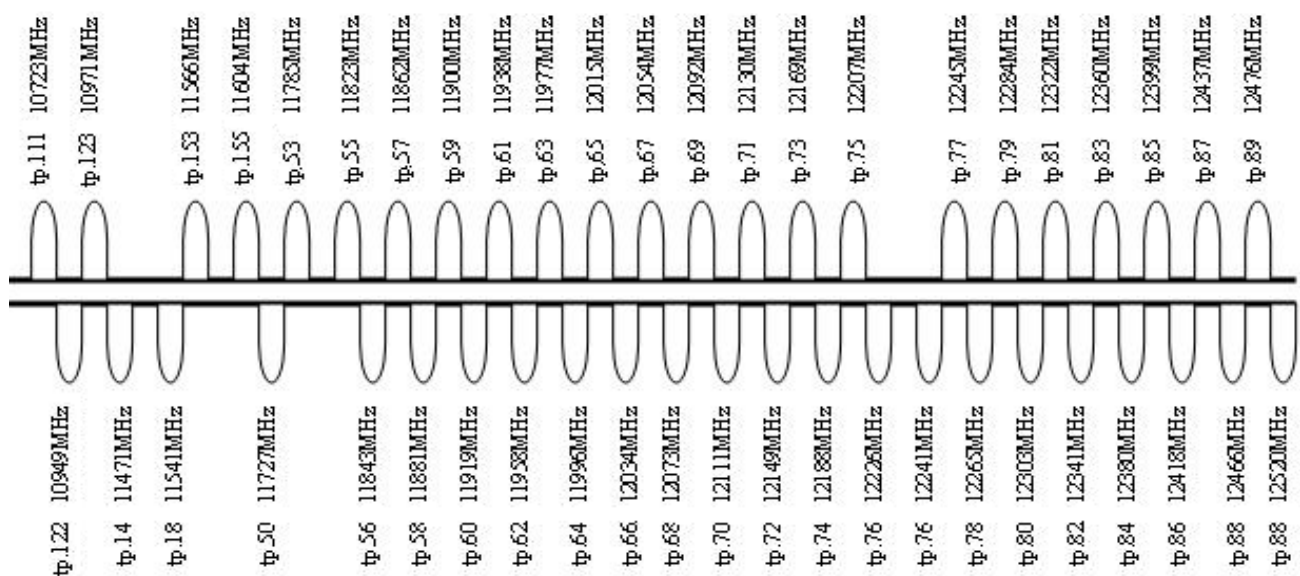


Рисунок 4.20 — Спектри транспондерів супутника Hot Bird 8

Символьна швидкість передачі — R_s може бути підібрана для конкретного транспондера, для досягнення максимальної швидкості передачі інформації з прийнятним рівнем сигналу. Параметри корисної бітової швидкості доступні на супутникових транспондерах із смугою пропускання — ΔF , що відповідає $\Delta F / R_s = 1,28$ представлені в табл. 4.12.

Взаємозв'язок бітової швидкості та смуг пропускання транспондера

Полоса пропускання (ЗдБ), МГц	Полоса пропускання (-1дБ), МГц	R_s , МБод	R (QPSK 1/2), Мбіт/с	R (QPSK 2/3), Мбіт/с	R (QPSK 3/4), Мбіт/с	R (QPSK 5/6), Мбіт/с	R (QPSK 7/8), Мбіт/с
54	48,6	42,2	38,9	51,8	58,3	64,8	68,0
46	41,4	35,9	33,1	44,2	49,7	55,2	58,0
40	36	31,2	28,8	38,4	43,2	48,0	50,4
36	32,4	28,1	25,9	34,6	38,9	43,2	45,4
33	29,7	25,8	23,8	31,7	35,6	39,6	41,6
30	27	23,4	21,6	28,8	32,4	36,0	37,8
27	24,3	21,1	19,4	25,9	29,2	32,4	34,0
26	23,4	20,3	18,7	25	28,1	31,2	32,8

Для зручності ідентифікації виду поляризації супутникового сигналу при його перетворенні на проміжну частоту 950–2150 MHz увесь діапазон частот вхідних сигналів Ku діапазону 10,7–12,75 ГГц) умовно ділиться на чотири діапазони: HL (horizontal low), HH (horizontal high), VL (vertical low) і VH (vertical high) (рис. 4.21).



Рисунок 4.21 — Розподіл поляризаційно-частотних ресурсів супутникових ретрансляторів

4.7 Стан та перспективи супутникового мовлення України

Узагальнену конфігурацію традиційних супутників, розміщених на геостаціонарній орбіті (ГСО) [1–3], можна охарактеризувати наступними параметрами корисного навантаження:

- кількість стволів (транспондерів) від 10 до 100;
- смуга частот стволів зазвичай: 27 МГц, 36 МГц, 54 МГц, 72 МГц, можливі й інші значення смуги, залежно від потреби;

– діапазони частот:

L: лінія вниз 1,452 ГГц ... 1,550 ГГц; лінія вгору 1,610 ГГц ... 1,710 ГГц;

S: 1,930 ГГц... 2,7000 ГГц — використовується переважно у системах радіомовлення та мобільного зв'язку;

C: лінія вниз 3,400 ГГц... 5,250 ГГц; лінія вгору 5,725 ГГц ... 7,075 ГГц

X: лінія вниз 7,250...7,750 ГГц; лінія вгору 7,900...8,400 ГГц — діапазон військового застосування;

K_u : лінія вниз 10,700...12,750 ГГц; лінія вгору 12,750...14,800 ГГц;

K_a : лінія вниз 15,400...26,500 ГГц; лінія вгору 27,000...30,200 ГГц;

K: 84,000 ГГц...86,000 ГГц, поки не використовується.

Ефективність антен пропорційна числу довжин хвиль, що укладаються в поперечнику антени. Оскільки, з ростом частоти довжина хвилі зменшується, при однаковій ефективності розміри антен зменшуються зі збільшенням частоти. Якщо для прийому в діапазоні — С потрібна антена 2,4–4,5 м, то для діапазону K_u її розмір зменшиться до 0,6–1,5 м, для діапазону K_a він може бути вже 30 — 90 см, а для К діапазону — всього 10–15 см [15]. При однакових розмірах антена в діапазоні K_u має коефіцієнт посилення приблизно на 9,5 дБ більше, ніж в діапазоні С.

Зазвичай, еквівалентна ізотропна випромінювана потужність (ЕІВП) від супутників в діапазоні С не перевищує 40 дБВт — 42 дБВт, тоді як в діапазоні K_u рівні ЕІВП досягають 50 дБВт — 54 дБВт для КА, що працює у ФСС, і навіть 60 дБВт — 62 дБВт для супутників ССМ. За тих же причин коефіцієнт підсилення приймальних антен на супутниках-ретрансляторах в діапазоні K_u вище, ніж в діапазоні С. В результаті, розміри антен і потужність передавальних пристроїв земних станцій в діапазоні K_u в більшості випадків менше, ніж в діапазоні С.

Більшість геостаціонарних ССЗ працюють в діапазонах — С і K_u . Діапазон K_a в Україні, на жаль, поки не користується популярністю, частотний ресурс у ньому для національної системи супутникового зв'язку (НССЗ) України не скоординовано. На відміну від України в Америці і Європі йде його бурхливе освоєння.

На даний час діапазони С, K_u перевантажені діючими і заявленими геостаціонарними супутниками. Діапазон K_a також перевантажений заявленими супутниковими мережами, а кількість діючих мереж, що працюють в даному діапазоні, досить значна.

Оцінка перспектив розвитку мовленнєвих служб до 2025 року проілюстрована діаграмами, наведеними на рисунках 4.22 та 4.23. На них представлено: розподіл по видам послуг мовлення (рис. 4.22); розподіл по стандартам стиснення (MPEG-2, MPEG-4, HEVC) (рис. 4.23).

По прогнозам використання алгоритму стиснення MPEG-2 зійде нанівець. Все ширше застосування буде знаходити алгоритм HEVC, але лівова частка програм буде формуватися у MPEG-4, що дозволить суттєво підвищити ефективність використання ресурсів супутникових каналів.

Кількість каналів, тис.

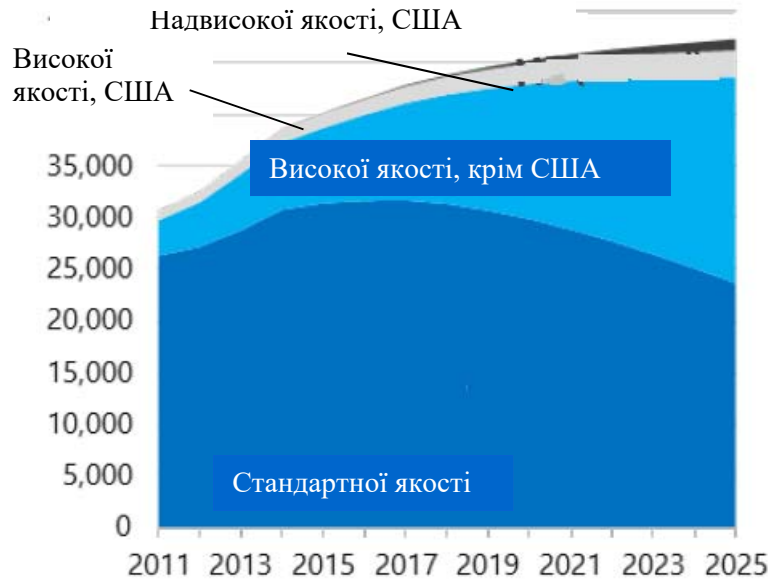


Рисунок 4.22 — Розподіл каналів по видам послуг мовлення

Кількість каналів, тис.

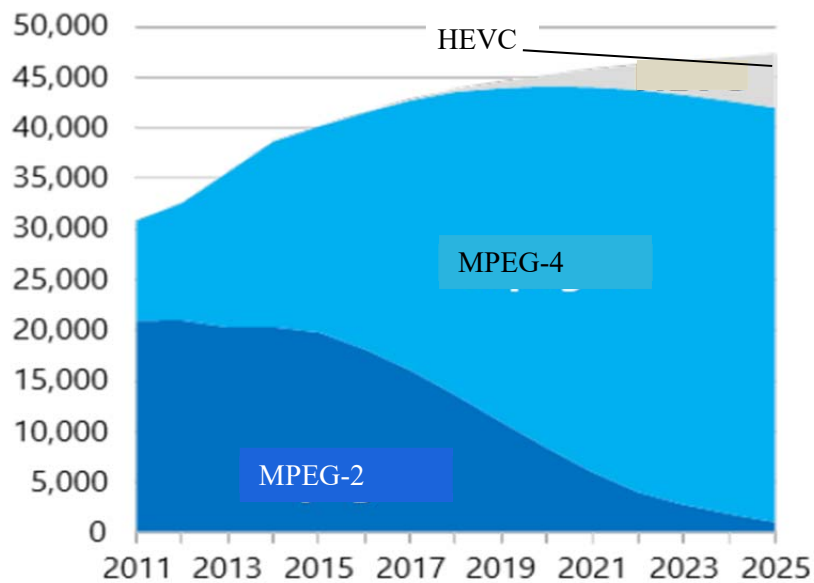


Рисунок 4.23 — Розподіл каналів по алгоритмам стиснення

Питання для самоконтролю

1. На якій орбіті розміщуються мовні ІСЗ. Назвіть основні параметри цієї орбіти.
2. Чому в супутниковому мовленні використовуються методи обробки, що вимагають мінімального відношення несуча/шум на вході демодулятора.
3. Які методи модуляції застосовуються в системах супутникового мовлення і чому.
4. Дайте характеристику методам модуляції та завадостійкого кодування передбачених стандартом DVB-S.

5. Зобразіть структурну схему передавальної частини системи супутникового цифрового телебачення стандарту DVB-S.

6. Дайте загальну характеристику стандарту DVB-S2. Назвіть його основні відмінності від стандарту DVB-S.

7. Зобразіть структурну схему передавальної частини системи супутникового цифрового телебачення стандарту DVB-S2.

8. Дайте характеристику методам модуляції і завадостійкого кодування передбачених стандартом DVB-S2.

9. Поясніть особливості розподілу поляризаційно-частотних ресурсів супутникових ретрансляторів.

10. Дайте характеристику стану супутникового мовлення в Україні

Література до розділу 4

1. Richharia M. *Satellite Communication Systems: Design Principles*. MACMILLAN PRESS LTD, London, 1999. — 484 с.

2. Сочилина А.С., Киладзе Р.И. и др. Каталог орбит геостационарных спутников. С.-Петербург, 1996. 104 с.

3. Спутниковые сети связи: Учеб. пособие / В.Е. Камнев, В.В. Черкасов, Г.В. Чечин. — М.: «Альпина Паблишер», 2004. — 536 с: ил.

4. Харченко В.Н., Лаврут А.А. Особенности энергетического расчета спутниковых радиолиний // *Космічна наука і технологія*. — 2001. — № 2/3. — С. 33.

5. Sun Z. *Satellite Networking. Principles and Protocols* / University of Surrey, UK. John Wiley & Sons Inc., 111 River Street, Hoboken, NJ 07030, USA, 2005.

6. Пескин А. Е., Смирнов А. В. *Цифровое телевидение. От теории к практике*. — М.: Горячая линия-Телеком, 2005. С. 349.

7. M.Eroz, F.-W Sun and L.-N. Lec: «DVB-S2 Low Density Parity Check Codes with near Shannon Limit Performance», *International Journal on Satellite Communication Networks*, 2004. — С. 22.

8. ETSI TR 102 376 v1.1.1 (2005-02): *Digital Video Broadcasting (DVB); User guidelines for the second generation system for Broadcasting; Interactive Services; News Gathering and other broadband satellite applications (DVB-S2)*.

9. Morello A., Mignone V. *DVB-S2: The Second Generation Standard for Satellite Broad-band Services*. *Proceedings of the IEEE*, Vol. 94, No. 1, January, 2006.

10. Sheriff R. E., Fun Y. H. *Mobile Satellite Communication Networks*. — John Wiley & Sons, Ltd Baffins Lane, Chichester, West Sussex, PO19 1UD, England, 2001.

11. Breynaert D., D 'Oreye M. *Analysis of the bandwidth efficiency of DVB-S2 in a typical data distribution network [Електр. ресурс]*. — Режим доступа: <http://www.newtec.eu/>

12. Breynaert D. What's next after DVB-S2. Newtec Newsletter — September 2012 [Електр. ресурс]. — Режим доступа: <http://www.newtec.eu/>.
13. ETSI EN 302 307. Digital Video Broadcasting (DVB); Second generation framing structure, channel coding and modulation system for Broadcasting Interactive Services, News Gathering and other broadband satellite applications.
14. DVB-S2 channel coding standardization process. Report to P1B. http://cwe.ccsds.org/sls/docs/SLS-CandS/Meeting%20Materials/2003/200304%20-ESTEC_Spring_Meeting/DVB-S2%20status%20report%20to%20P1B.pdf
15. ETSI EN 302 307. Digital Video Broadcasting (DVB); Second generation framing structure, channel coding and modulation system for Broadcasting Interactive Services, News Gathering and other broadband satellite applications.
16. DVB-S2 channel coding standardization process. Report to P1B. http://cwe.ccsds.org/sls/docs/SLS-CandS/Meeting%20Materials/2003/200304-%20ESTEC_Spring_Meeting/DVB-S2%20status%20report%20to%20P1B.pdf
17. Lin-Nan Lee. LDPC Codes, Application to Next Generation Communication Systems, Hughes Network Systems Germantown, Maryland 20854, October 8, 2003, <http://www.ieeevtc.org/vtc2003fall/2003panelsessions/llee.pdf>
18. Обмен мнениями (на форуме) между специалистами по кодированию, <http://www.dsprelated.com/showmessage/33786/1.php>
19. Jense T. Saetre. Online Satellite Calculations 1999-2011, <http://www.satellite-calculations.com/>
20. Схема формирования и доставки мультиплексов к цифровым передатчикам, Ліпатов А.А, Нарытнік Т.Н, Сахневич А.Л. Інтернет-ресурс. <http://www.mitris.com.ua>.
21. Стан і перспективи використання та розвитку супутникових телекомунікацій у світі та Україні (Частина 1) Цифрові технології. — № 20. — 2016. — С. 46–71. Ільченко М.Ю., Наритник Т.Н., Капштик С.В., Мельник А.М.
22. Стан і перспективи використання та розвитку супутникових телекомунікацій у світі та Україні (Частина 2) Цифрові технології. — № 21. — 2017. — С. 25–55. Ільченко М.Ю., Наритник Т.Н., Капштик С.В., Мельник А.М.
23. Стан і перспективи використання та розвитку супутникових телекомунікацій у світі та Україні (Частина 3) Цифрові технології. — № 22. — 2017. — С. 14–27. Ільченко М.Ю., Наритник Т.Н., Капштик С.В., Мельник А.М.

5 КАБЕЛЬНЕ ЦИФРОВЕ ТЕЛЕБАЧЕННЯ

5.1 Загальні відомості про системи кабельного телебачення

Кабельне телебачення (CATV — Community Antenna Television) — телевізійне мовлення, яке здійснюється за допомогою високочастотних сигналів, що передаються через прокладений до споживача кабель. Кабельне телебачення є дуже зручною завадозахищеною альтернативою звичайному наземному і супутниковому телемовленню.

Спочатку основою кабельних телемереж був коаксіальний кабель. Успішний розвиток технологій оптичної передачі даних привів до впровадження оптичного волокна в мережі кабельного телебачення у вигляді гібридних волоконно-коаксіальних (HFC — Hybrid Fibre — Coaxial) мереж, в яких поєднуються волоконно-оптичні лінії (магістральні лінії) і коаксіальні або волоконно-оптичні кабелі (внутрішньобудинкова розводка). Волоконно-оптична технологія дозволяє створювати інтерактивні широкосмугові мережі придатні для передачі і розподілу цифрової інформації. У кабельній мережі відношення сигнал шум значно вище ніж у супутниковій. За стандартом воно має бути не нижче 43дБ. Це дозволяє ширше використати багатопозиційну модуляцію для збільшення пропускної спроможності кабельної мережі.

5.2 Структура цифрової мультисервісної мережі кабельного телебачення

Узагальнена функціональна схема цифрової мультисервісної системи кабельного телебачення (СКТ) зображена на рис. 5.1. Головна станція здійснює прийом як аналогових, так і цифрових ефірних телевізійних сигналів, конвертацію у відповідність з частотним планом, перетворення аналогових сигналів у цифрові і передачу цифрових телевізійних сигналів в розподільну кабельну мережу. Супутникова антена забезпечує прийом сигналів цифрових телепередач в стандарті DVB-S. Після перетворення і підсумовування з іншими цифровими потоками вони також поступають в розподільну мережу [1, 5].

Інтерактивний режим забезпечується спеціальною апаратурою доступу, що містить оптоелектронний перетворювач і станційний кабельний модем (SKM). Через оптоелектронний перетворювач головна станція має широкосмуговий доступ в мережу Інтернет (зі швидкістю до 155 Мбит/с).

Розподільна кабельна мережа з зворотним каналом забезпечує передачу в прямому каналі цифрових ТВ програм в діапазоні 47,5...862 МГц і передачу цифрових сигналів по зворотному каналу в діапазоні 5...30 МГц.

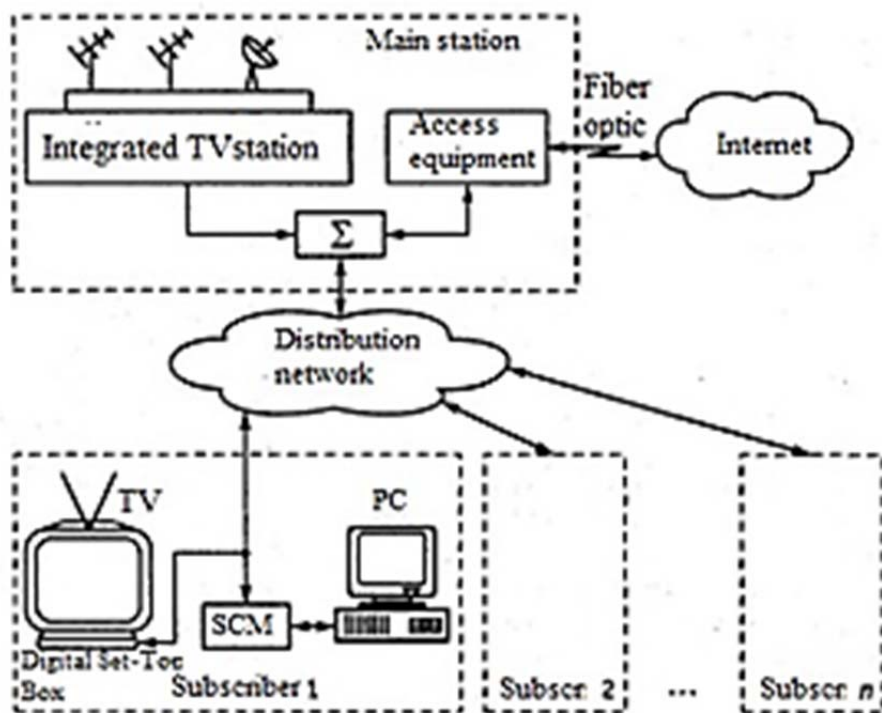


Рисунок 6.1 — Функціональна схема цифрової системи кабельного телебачення

Абонентські місця містять аналогові телевізійні приймачі з приставками — абонентськими пристроями (STB — Set — Top — Box) для прийому цифрових телепередач або цифрові телевізори.

Для забезпечення роботи в інтерактивному режимі до складу абонентського устаткування може бути включений абонентський кабельний модем (АКМ) і персональний комп'ютер з відповідним програмним забезпеченням, залежним від того, які інформаційні послуги надаються абонентові.

Окрім доставки абонентам ефірних і супутникових цифрових телепередач сучасна кабельна мультисервісна мережа забезпечує також високошвидкісний вихід в Інтернет з наданням доступу до різних інформаційно-пошукових служб, послуг голосового та відеозв'язку, організацію послуг ІР-телефонії.

Усе це дозволяє забезпечити, наприклад, дистанційне навчання в інтерактивному режимі, медичні консультації вдома з можливістю передачі в медичний центр даних про стан здоров'я (кардіограм, енцефалограм та ін.), необхідних для оперативного ухвалення рішення кваліфікованими фахівцями, а також створити охоронні і протипожежні системи відеоспостереження.

5.3 Система кабельного цифрового телебачення стандарту DVB-C

У 1984 році були вироблені основні положення стандарту цифрового телевізійного мовлення по кабелю DVB-C (C — Cable) і стандарту супутникового цифрового телевізійного мовлення DVB-S (S — Sattelite). Робота

над стандартом наземного телевізійного мовлення DVB-T (Terrestrial — наземний), була закінчена значно пізніше у 1996 році, тому що при впровадженні цифрового телебачення зіткнулися з великими труднощами, про які йшла мова у 1 розділі.

5.3.1 Принципи побудови головної станції системи цифрового кабельного телебачення стандарту DVB-C

У основі цифрового телевізійного мовлення по кабелю DVB-C лежить стандарт кодування рухомих зображень і звукового супроводу MPEG-2 [2].

Передача цифрового телебачення через існуючу систему кабельного телебачення вимагає оцінки її придатності для цієї мети і необхідності доопрацювання. У правильно спроектованій аналоговій СКТ відношення сигнал/ шум (SNR — Signal to Noise Ratio) не менше 43 dB [5]. Таке високе значення SNR забезпечує малу вірогідність помилок при передачі цифрових потоків і дозволяє обійтися одним ступенем завадостійкого кодування. Проте пакетні помилки не виключені, тому перемежування залишається складовою частиною завадостійкого кодування. Аналіз завад і спотворень, типових для лінійного тракту, показує, що цифрові сигнали виявляються менш чутливими до інтермодуляційних спотворень ніж аналогові, завдяки значно меншому необхідному захисному відношенню *цифровий сигнал/цифрова завада* в співпадаючому і сусідніх каналах та більш гладкому спектру. В той же час цифрові QAM сигнали чутливіші до амплітудних і особливо фазових спотворень в тракті, тому питання узгодження та корекції характеристик залишаються актуальними.

Завдяки ефективному стисненню в одному частотному каналі вдається передати до 4–6 цифрових програм і навіть дуже завантажена мережа з 25–35 програмами переходить в категорію мереж з 5–7 реально зайнятими фізичними каналами, у якій проблема взаємних завад не така гостра.

У побудові головних станцій (ГС) перехід на цифровий формат пред'являє нові вимоги до апаратури обробки і формування сигналів. З'являється можливість формувати багатопрограмні цифрові потоки, не декодуючи прийняті MPEG-2 сигнали, а виділяючи в них потрібні компоненти на рівні транспортного потоку і демультимплексируючи ці компоненти в новий транспортний потік. Також на рівні транспортного потоку можуть вирішуватись питання скремблювання та зміни системи доступу.

Прийнятий в стандартах DVB єдиний підхід до каналного кодування істотно полегшує обробку і перетворення сигналів DVB, оскільки число додаткових операцій при перетвореннях виявляється мінімальним. У цьому сенсі стандарт DVB-C досить близький до супутникового стандарту DVB-S. Структура системи DVB-C максимально гармонізована із структурою супутникової системи DVB-S, але в якості типу модуляції в ній використо-

ується не QPSK, а M — QAM з числом позицій M від 16 до 256 (тобто від 16 QAM до 256 QAM).

На рис. 5.2 приведена функціональна схема кодера стандарту DVB-C головної станції кабельної лінії, а рис. 5.3 абонентські приймач-декодери для такої лінії.

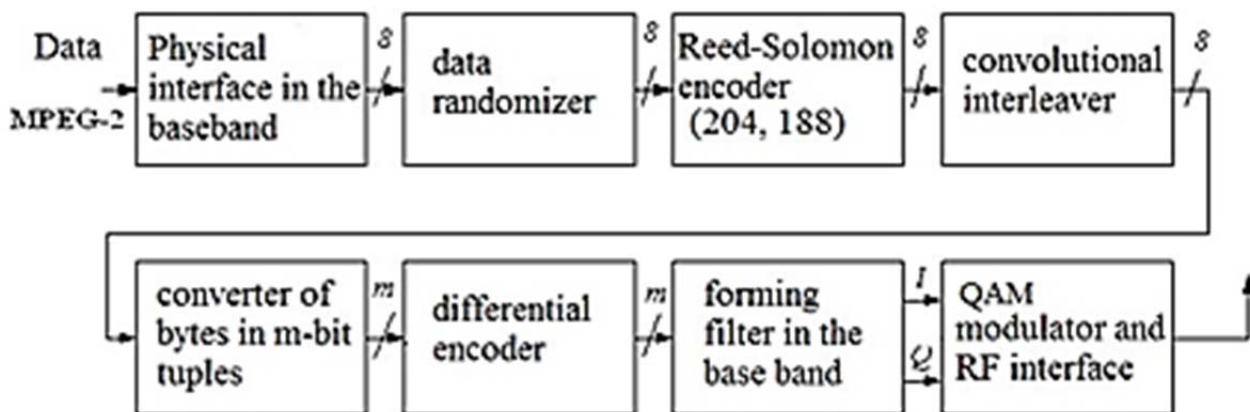


Рисунок 5.2 — Функціональна схема кодера головної станції кабельної системи стандарту DVB-C

Вхідними сигналами на ГС є транспортні пакети MPEG-2 і тактові сигнали, що отримуються через інтерфейс в основній смузі від: супутникової лінії, технологічних ліній, локальних програмних джерел і тому подібне. Методи інверсії кожного восьмого байта для циклової синхронізації, рандомізації, перемежування та кодування RS-кодом не мають відмінностей від аналогічних методів і пристроїв в системах DVB-S і DVB-T. Перетворювач байтів і кортежі (короткі послідовності бітів, рівні значності модулюючого коду) здійснює формування бітових структур, що задовольняють умові подальшого отримання символів QAM. Довжина кортежу $m = \log_2(M)$, де M — число позицій QAM сигналу. З метою отримання сузір'я, не залежного від швидкості обертання вектору коливання несучої частоти, до двох старших розрядів кожного символу QAM застосовується диференційне кодування. На цьому формування кортежів закінчується і здійснюється найквистівська узгоджена фільтрація для формування спектрів у квадратурних каналах I і Q. Потім сигналами I і Q модулюються квадратурні складові несучого коливання і сигнал QAM переноситься по частоті в смугу робочого кабельного каналу, для узгодження з яким і використовується фізичний інтерфейс.

5.3.2 Особливості приймачів-декодерів абонентів цифрового кабельного телебачення стандарту DVB-C

На приймальній стороні (рис. 6.3) у відповідному порядку виконуються зворотні операції по демодуляції і декодуванню сигналів в цифровій приставці Set — Top — Box (STB). Характерною особливістю тракту адаптації

(каналів передачі та прийому) є відсутність внутрішнього згорткового кодека і формування спектру в основній смузі. Захист від пакетованих помилок робиться виключно за рахунок перемежування на виході кодера Рида-Соломона.

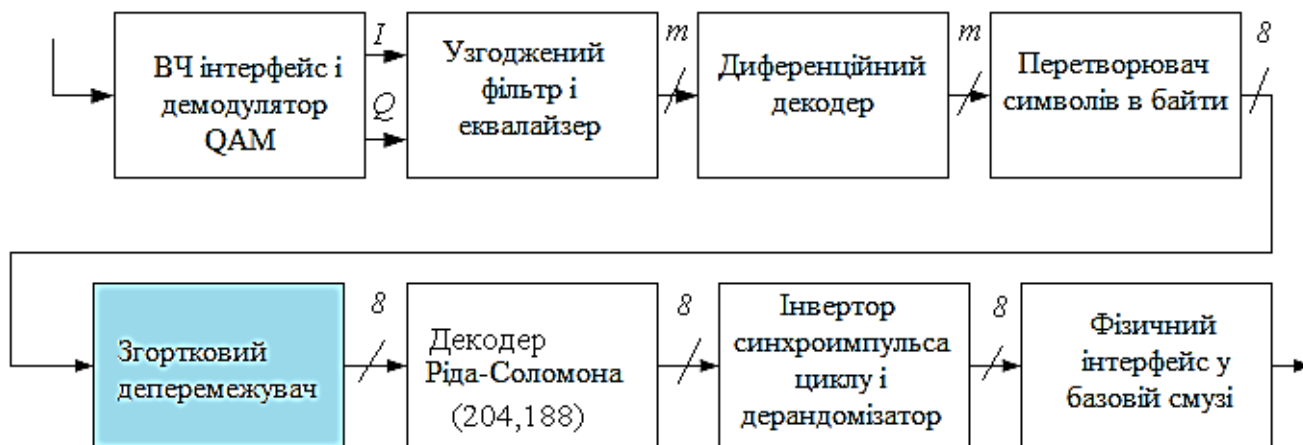


Рисунок 5.3 — Функціональна схема приймача-декодера кабельної системи стандарту DVB-C

Після згорткового перемежування безперервну послідовність байтів розділяється на короткі послідовності бітів — кортежі, кожна з яких відповідає символу QAM, тобто певній точці на квадратурній діаграмі модульованого сигналу. Циклічне відображення байтів в кортежі для одного циклу може бути представлено добутком: $8k = n \cdot m$, де: k — число перетворюваних байтів по 8 біт; n — число кортежів завдовжки m біт. Різним варіантам модуляції QAM відповідають різні значення коефіцієнтів, які показані в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1

Число байт в кортежах для різних варіантів QAM

Модуляція	m	n	k	$8k = n \cdot m$
16QAM	4	2	1	8
32QAM	5	8	5	40
64QAM	6	4	3	24
128QAM	7	8	7	56
256QAM	8	11	1	8

Мінімальний цикл перетворення в 1 байт відповідає варіантам модуляції 16 QAM і 256 QAM. При 256 QAM байти і кортежі співпадають. У таблиці 6.2 наведені приклади розрахункових значень символною і інформаційною швидкостей при різних позиційностях модуляції в каналі із смугою 8МГц. Максимальна швидкість досягає 38,1Мбит/з, що відповідає пропускній спроможності одного транспондера супутникового ретранслятора із смугою 33МГц в типовому режимі $F_{симв} = 27,5 \text{ Мсимв/с}$, $CR = 3/4$.

Значення символної та інформаційної швидкостей

Корисна інформаційна швидкість (транспортний рівень MPEG-2), Мбіт/с	Загальна швидкість, включаюч. RS (204, 188), Мбіт/с	Кабельна символна швидкість, Мбод/с	Займана смуга частот, МГц	Вид модуляції
38,1	41,34	6,89	7,92	64QAM
31,9	34,61	6,92	7,96	32QAM
25,3	27,34	6,84	7,86	16QAM
18,9	20,52	3,42	3,93	64QAM
16	17,4	3,48	4	32QAM
12,8	13,92	3,48	4	16QAM
9,6	10,44	1,74	2	64QAM
8	8,7	1,74	2	32QAM
6,4	6,96	1,74	2	16QAM

5.3.3 Основні вигоди кабельних операторів при впровадженні стандарту DVB-C

При впровадженні стандарту DVB-C реалізуються наступні переваги.

1. Забезпечується істотна економія частотного ресурсу. Дійсно, якщо в одному фізичному каналі розміщуються 4–8 ТБ програм, то це означає, що для передачі 60-ти програм вимагається всього біля 10-ти каналів. Такий частотний вигоду особливо відчуємо при впровадженні стандарту DVB-C на застарілих мережах із смугою пропускання до 240...300 МГц. У таких мережах легко розміщуються понад 100 цифрових каналів, а при активізації реверсного каналу — і послуги інтерактивного сервісу.

2. Істотно підвищується якість транслюваних програм. Дійсно, транслюція аналогових сигналів неминуче спричиняє за собою зниження їх якості в частині неминучого накопичення спотворень (шуми, інтермодуляційні спотворення, фонові завади, крос-модуляція і т.п.). Цифрові ж сигнали (DVB-C) зберігають свою якість незалежно від протяжності магістралі. Для них досить перевищення необхідного рівня сигналу (що завжди виконується на практиці в силу більш високої чутливості СТВ порівняно з телевізором) і порогового значення C/N , яке регламентуються багато нижчим рівнем за 43 dB згідно ГОСТ Р 52023-2003.

3. При використанні стандарту DVB-C з'являється можливість значно збільшити зону обслуговування СКТ за рахунок нижчого шумового порого (не більше 36 dB). Розрахунки показують, що при використанні стандарту DVB-C можливе збільшення зони обслуговування в 10 і більше разів. Причому, таке збільшення зони охоплення найефективніше саме на застарілих мережах з верхньою частотою 240...300 МГц. На таких частотах по-

гонні втрати коаксіального кабелю майже в 2 рази менше, ніж на частоті 862 МГц, з якою проектується сучасні СКТ. При менших погонних втратах потрібно менше число підсилювачів, що і гарантує підтримку високого значення SNR. Більше того, зниження числа фізичних каналів знижує енергетичне навантаження самої СКТ, що еквівалентно значному поліпшенню SNR.

4. З'являється можливість ефективного кодування пакетів програм сформованих з економічних міркувань, що дозволяє операторам СКТ отримувати додаткові прибутки за рахунок формування платних каналів.

5. При використанні DVB-C полегшується можливість використання фільтрів пакетування. Зменшення фізичної реально використовуваної смуги частот забезпечує появи частотних пропусків, які і потрібні при використанні фільтрів пакетування.

5.4 Загальна характеристика стандарту DVB-C2

Спектр частот, який використовується у кабельних мережах обмежений смугою частот 47,5–862 МГц. Тому багато кабельних операторів незабаром зіткнуться з проблемою дефіциту спектра. Вирішити цю проблему можна або розширенням діапазону частот, або поділом існуючого діапазону на сегменти з меншим числом абонентів. Обидва підходи вимагають використання додаткових активних і пасивних мережевих компонентів і досить затратні для операторів. Третій, найбільш перспективний підхід — реорганізація фізичного каналу за технологією з більш ефективним використанням спектру. Така технологія якраз і розроблена в рамках нового покоління стандартів DVB-C2, яка включає три основні узгоджені між собою транспортні стандарти, що обслуговують три головні транспортні середовища — DVB-S2 (супутниковий), DVB-T2 (ефірний) і DVB-C2 (кабельний).

Поява стандарту DVB-C2 відкрила можливості маловитратної модернізації кабельних мереж. Стандарт передбачає застосування LDPC-кодування та використання QAM-модуляції з розмірністю аж до 4096 QAM. Крім того, замість однієї несучої використовується OFDM, що забезпечує додаткову гнучкість і стійкість в умовах завад.

Розробники сімейства стандартів DVB-C2 намагались максимально уніфікувати компоненти стандартів, призначених для різних середовищ. Зокрема, у всіх стандартах застосовується єдина схема завадостійкого кодування (FEC — Forward Error Correction). Вона передбачає послідовне накладення зовнішнього кодозахисту із застосуванням коду Боуза-Чоудхурі-Хоквінгема (Bose-Bhauhdhuri-Носquenghem, BCH) [5] і внутрішнього кодозахисту із застосуванням коду з низькою щільністю перевірок на парність (Low Density Parity Check Codes — LDPC). Більш того, системні рівні

DVB-S2 і DVB-C2 теж дуже близькі, що дозволяє легко конвертувати супутниковий сигнал в формат, регламентований для кабельних мереж.

На рис. 5.4 показана спрощена структурна схема передавача DVB-C2.

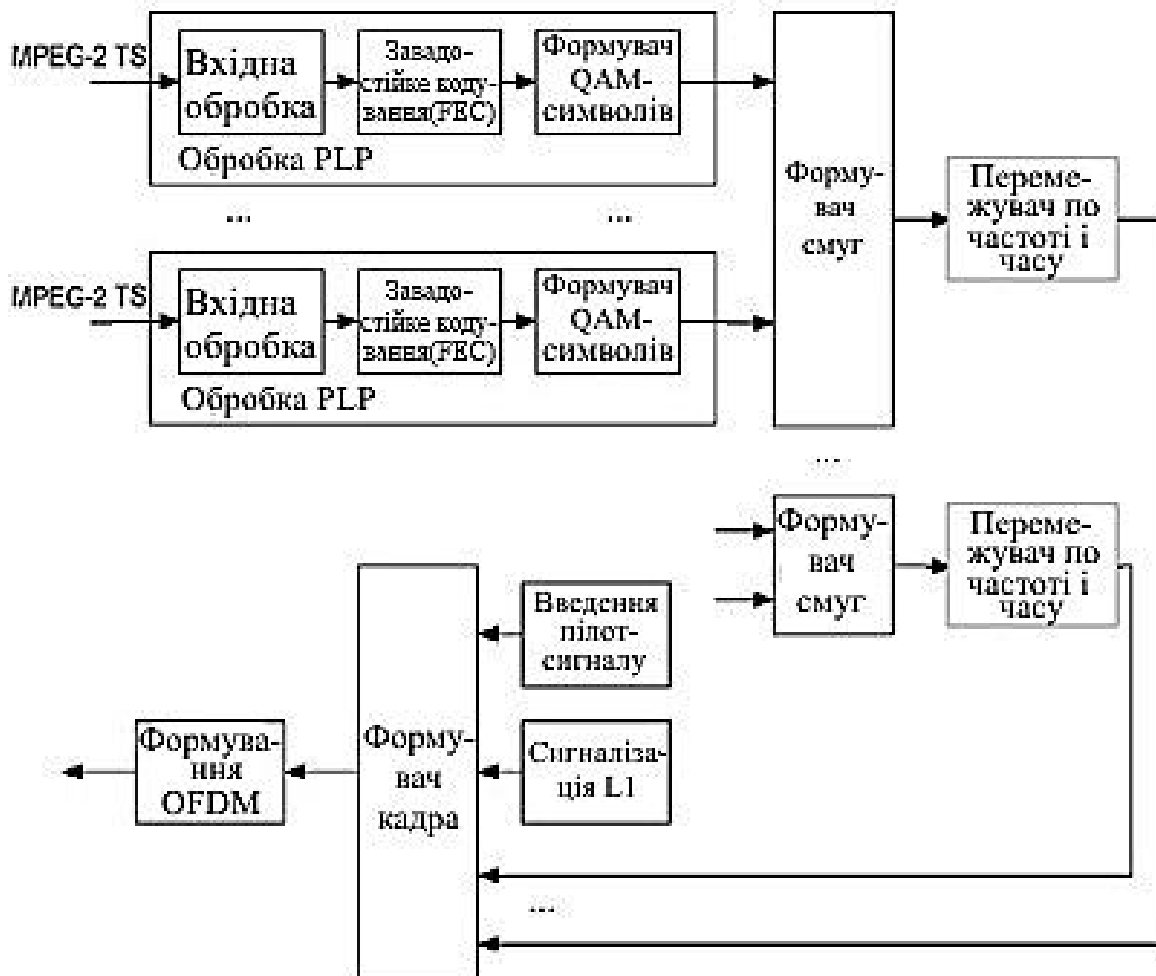


Рисунок 5.4 — Спрощена структурна схема передавача DVB-C2

Як в DVB-S2 і DVB-T2, в новому кабельному стандарті всередині одного фізичного каналу передбачено виділення *транспортних труб*. Вони отримали назву Physical Layer Pipe (PLP). Це логічні канали, які можуть переносити звичайний потік MPEG-2 або використовуватись для передачі IP із застосуванням протоколу Generic Stream Encapsulation (GSE). Кожен PLP пропускається через блок вхідної обробки, за якою слідує модуль завадостійкого кодування і далі — формувач QAM-символів. Один або кілька PLP можуть складатися в аналогічні каналам так звані шари даних Data Slices. Для підвищення стійкості до пакетних помилок або впливу вузькосмугових завад ці шари потім піддаються перемешуванню у часі та частоті. Після цього вони потрапляють до формувача кадру, де поєднуються усі шари, додаються пілот-сигнали та преамбула з сигналізацією першого рівня. На останньому етапі сформований кадр надходить до генератора OFDM-потіку.

5.5 Концепція PLP

Застосування PLP дозволяє передавати в одному фізичному каналі кілька незалежних логічних каналів. Кожен PLP являє собою такий логічний канал, по якому передаються або транспортні пакети MPEG-2, або IP-пакети з використанням протоколу GSE.

Ідентифікатор PLP ID, який використовується для ідентифікації конкретного PLP на приймальній стороні, є частиною заголовка і передається перед кожним пакетом. Після декодування цього заголовка і вилучення PLP ID приймач визначає, чи повинен він декодувати пакет, наступний за заголовком. Пакети, які не належать до замовленого PLP, пропускаються, тобто не надходять в QAM-демодулятор і відповідно у декодер завадостійкого декодування. В результаті істотно знижуються вимоги до швидкості обробки потоку приймачем, а також до потужності процесора, необхідної для цієї обробки.

Інша перевага застосування PLP полягає в тому, що різні потоки можна передавати з різним рівнем завадостійкості: схема модуляції і режим завадостійкого кодування для кожного PLP можуть вибиратися індивідуально.

Тобто кожній послугі може призначатися своя якість обслуговування (Quality of Service, QoS). Переваги індивідуального вибору параметрів в першу чергу проявляються при двосторонній передачі даних в режимі точка-точка. Вони можуть вибиратися у залежності від характеристик каналів, що з'єднують ГС і конкретний абонентський пристрій, зокрема від протяжності лінії, кількості мережевих підсилювачів і якості внутрішньо-будинкової розводки.

Ця техніка може бути використана, наприклад, для послуги доступу в Інтернет по кабелю через накладену мережу DOCSIS. В цьому випадку для передачі в прямому напрямку використовується канал DVB-C2, а інформація про якість прийнятого сигналу може передаватися кабельним модемом по зворотному каналу. Це дозволить підвищити ефективність використання смуги частот мережі.

5.6 Формування QAM-символів та завадостійке кодування

Як представник сімейства DVB-x2, стандарт DVB-C2 передбачає те ж завадостійке кодування LDPC, яке раніше було закладено в стандарти DVB-T2 і DVB-S2 [8]. Коди цього класу відомі ще з 60-х років минулого століття, але їх практичне використання стало можливим лише останнім часом завдяки досягненням в області напівпровідникових технологій. Перевагу їх застосування можна проілюструвати такими цифрами. Потік DVB-C2 з відносною швидкістю кодозахисту 9/10 може бути відновлений

декодером навіть при щільності помилок у кілька відсотків. У той час як застосований в DVB-C код Ріда-Соломона при тій же відносній швидкості може відновити потік до квазібезпомилкового стану при щільності помилок не більш 2×10^{-4} . Ефективність LDPC-кодування особливо висока при кодуванні довгих послідовностей. Тому довжина стандартного слова, до якого в DVB-C2 додається LDPC, становить 64800 біт (замість 1632 біт або 204 байт в DVB-C). Тобто кодоване слово більше не корельоване з транспортним пакетом MPEG-2 TS.

Після LDPC в DVB-C2 передбачено застосування коду BCH, що накладається з дуже високою відносною швидкістю (близько 0,99). Цей код з малою коректуючою здатністю введений для зниження порога корекції LDPC. Поріг корекції присутній у всіх ітеративних схемах кодування, таких як LDPC або турбокоди. Він проявляється в тому, що при декодуванні завжди залишається деяка кількість помилок, що не піддаються корекції при подальших ітераціях, виконуваних FEC-декодером.

Істотне підвищення ефективності завадостійкого кодування дозволяє використовувати більш високу позиційність модуляції. Якщо в DVB-C максимально можна використовувати 256 QAM, то в DVB-C2 додаються розмірності сузір'я 1024 та 4096 QAM. Допустимі комбінації модуляцій і схем завадостійкого кодування наведені у таблиці 6.5. У ній також зазначені рівні відношень сигнал/шум, необхідні для прийому сигналів вільних від помилок. Ці рівні лежать в межах приблизно від 10 до 35 дБ, причому спектр допустимих модуляцій і схем кодування дозволяє підбирати їх під необхідний сигнал/шум з кроком близьким до 2 дБ (табл. 5.3).

Таблиця 5.3

Допустимі в DVB-C2 поєднання модуляцій і відносних швидкостей передачі, а також рівні відношень сигнал/шум, необхідні для квазівільного від помилок прийому

FEC	16 QAM	64 QAM	256 QAM	1024 QAM	4096 QAM
2/3	–	13,5 дБ	–	–	–
3/4	–	–	20,0 дБ	24,8 дБ	–
4/5	10,7 дБ	16,1 дБ	–	–	–
5/6	–	–	22,0 дБ	27,2 дБ	32,4 дБ
9/10	12,8 дБ	18,5 дБ	24,0 дБ	29,5 дБ	35,0 дБ

5.7 Використання OFDM в DVB-C2

Основною відмінністю DVB-C2 від DVB-C є застосування OFDM замість однієї QAM-модульованої несучої. Завдяки добре відомій перевіреним на практиці стійкості до різних видів канальних спотворень (наприклад,

перевіддзеркалень або вузькосмугових завад), OFDM застосовується більшістю сучасних одно- та двоспрямованих технологій передачі.

Що стосується сімейства DVB, то OFDM спочатку було використано в ефірному стандарті першого покоління DVB-T, а потім його параметри розширили і вдосконалили в стандарті DVB-T2. Набір COFM-параметрів, використаний в новому ефірному стандарті, цілком відповідає і вимогам передачі в кабелі, тому він був перенесений також і в DVB-C2. Завдяки спільності COFDM-параметрів та значній кількості інших спільних блоків, створення чіпів, що поєднують функціональність ефірного та кабельного стандартів, не призводить до істотної надмірності в порівнянні з одностандартними чіпами. В результаті *DVB-C2 підтримує запозичений в DVB-T2 режим 4K з тривалістю корисного OFDM-символу 448 мкс і двома варіантами захисних інтервалів — 1/64 і 1/128*. Більш того, в DVB-C2 використовуються ті ж схеми розподілу пілот-сигналів, що дозволяє застосовувати в обох системах єдиний блок оцінки якості каналу.

У той же час, на відміну від ефірного стандарту, DVB-C2 не повинен підкорятися жорсткій частотній сітці. Оскільки кабельна мережа являє собою закрите екрановане середовище, то *немає необхідності координувати використання її спектру з розподілом смуг ефірних каналів*. Навпаки, можна гнучко адаптувати розподіл каналів під свої конкретні потреби. Застосування OFDM замість однієї модульованої несучої якраз і є ключовим фактором, що забезпечує цю можливість. Ширина каналу задається виділенням йому певної кількості OFDM-піднесучих. Такий підхід дозволяє розширити смугу переданого сигналу для розміщення в ньому більшої кількості послуг. Щоб не ускладнювати і не збільшувати вартість абонентського обладнання, передбачається сегментований прийом каналів. Цей підхід вже використовується в японській системі ефірного телебачення ISDB-T. Приймач зі стандартною смугою пропускання може виділити з великого пакету тільки ту частину, яка містить вибрану послугу і смуга, яка займається цією частиною, ніколи не перевищує 8 МГц.

Структура кадру DVB-C2 у частотно-часовій площині показана на рис. 5.5.

Кожен кадр C2 починається з преамбули, що складається з одного або більше OFDM-символів і виконує дві основні функції.

По-перше вона забезпечує надійну часову та частотну синхронізацію OFDM-сигналу і всієї структури. Для цього в преамбулу вводиться особлива послідовність пілот-сигналів, модулююча кожну шосту OFDM-піднесучу символів преамбули. При цьому немає необхідності вводити захисний інтервал по частоті між складовими шарами (Data Slices) кадру.

По-друге преамбула містить також сигналізацію 1-го рівня (L1), необхідну для декодування потоків даних і корисної інформації, яка міститься в них.

На відміну від блоків сигналізації L1, шари не повинні вписуватися в жорстку частотну сітку і можуть бути розташовані всередині потоку абсолютно довільно. Єдина вимога — щоб смуга ні один шару не перевищувала 7,61 МГц. Саме тому сигналізація L1 стає доступною при виборі на будь-якого частотного сегменту вхідного потоку.

Така схема дозволяє точно підлаштувати відведену для шару смугу під швидкість цифрового потоку, який в ньому передається. Наприклад, супутникові потоки з дуже різними бітовими швидкостями можуть бути перенесені в потік DVB-C2 без необхідності відводити зайве місце для стафінгових бітів або ремультіплексування транспортних потоків MPEG-2 TS. Шар може формуватися до тих пір, поки не будуть заповнені усі піднесучі OFDM-сигналу. Розміщення і ширина кожного шару можуть змінюватися від фрейму до фрейму, але це не тягне за собою необхідність перебудовувати приймач. Сигналізація в блоках L1 містить не тільки початкову та кінцеву частоту шарів, переданих в кадрі, але також і оптимальну частоту настрійки для прийому цього шару. Тобто передавач може міняти параметри шарів від кадру до кадру в рамках заданої йому смуги прийому.

5.8 Підвищення ефективності використання спектра та зменшення рівня завад від кабельних мереж в стандарті DVB-C2

Специфікація DVB-C2 регламентує певні характеристики кабельних мереж. При їх розробці бралися до уваги вже згадані вимоги простоти ретрансляції супутникових сигналів і можливість адаптивно вибирати стійкість з'єднання для персоніфікованих додатків (точка-точка). Більш того, в кабельних мережах використовується екрановане середовище передачі, що дозволяє задіяти весь спектр, наприклад до 862 МГц, і не слідувати жорсткому частотному растру, заданому для ефірних трансляцій.

5.8.1 Підвищення ефективності використання спектру в стандарті DVB-C2

Одна з основних цілей розробки специфікації DVB-C2 полягає в підвищенні ефективності використання спектра. Це досягається застосуванням LDSP-кодування в поєднанні з більш високими схемами QAM-модуляції, а також за рахунок застосування OFDM. Виграш за рахунок використання OFDM показано на рис. 5.7. У стандарті DVB-C з його одночастотною модуляцією для зниження міжканальної інтерференції застосовуються фільтри, які скругляють форму спектру сигналу, який передається в каналі. В результаті дії цих фільтрів, на краях спектрів каналів з'являються скоси. В DVB-C застосовуються фільтри з коефіцієнтом скруглення 0,15 і на цю ж величину (близько 15%) знижується ефективність використання спектру.

В принципі, можливо застосування фільтрів з меншим коефіцієнтом, але це потребує більш високої точності налаштувань передавача і приймачів. Треба відзначити, що цей фактор не залежить від абсолютної ширини каналу, тобто для каналу, скажімо, в 16 МГц спектральні втрати на округлення будуть такими ж.

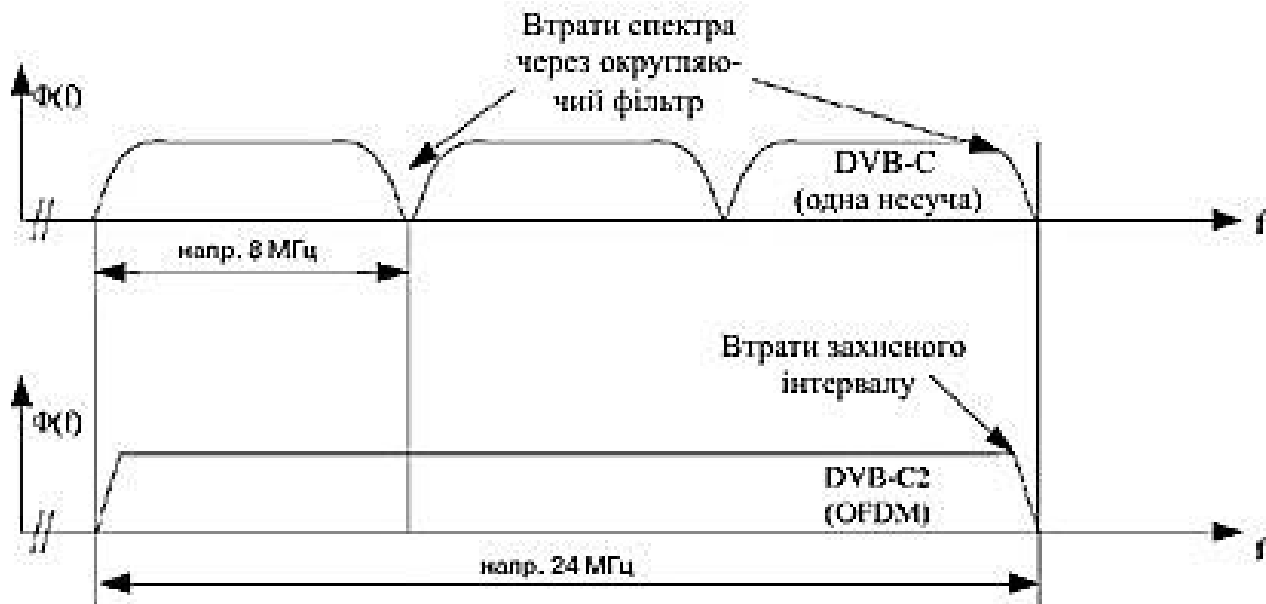


Рисунок 5.7 — Використання спектру в DVB-C і в DVB-C2

Але у випадку з OFDM це не так. Тут втрати пов'язані з додаванням захисного інтервалу, введенням пілот-сигналів і захисних смуг по краях спектра. У стандартному режимі з захисним інтервалом 1/128 і щільністю розміщення пілот-сигналів 1/96 втрати, обумовлені цими двома факторами, становлять приблизно 2%. Що стосується захисних смуг, то вони потрібні тільки між сусідніми каналами, але не всередині одного OFDM-потoku. Ідеальна крива спектральної щільності сигналу DVB-C2 з захисним інтервалом 1/128 при ширині спектру сигналу 7,61 МГц зображена на рис. 5.8. Як можна бачити ширина захисної смуги практично не залежить від смуги, займаної самим OFDM-сигналом.

Таким чином, з розширенням смуги спектральні втрати істотно знижуються. Так, наприклад, спектральні втрати для сигналу DVB-C2 з спектром завширшки 32 МГц (5 шарів по 6,4 МГц) складають всього 3,25%, тоді як в DVB-C вони становлять 15%.

Зниження втрат спектру за рахунок застосування COFDM в поєднанні з LDPC-кодуванням дозволило створити систему, яка по ефективності використання спектру наближена до теоретичної межі Шеннона. Якщо канали DVB-C знаходяться нижче межі приблизно на 10 дБ, то канали DVB-C2 не дотягують до нього всього 2-3 дБ (рис. 5.9).

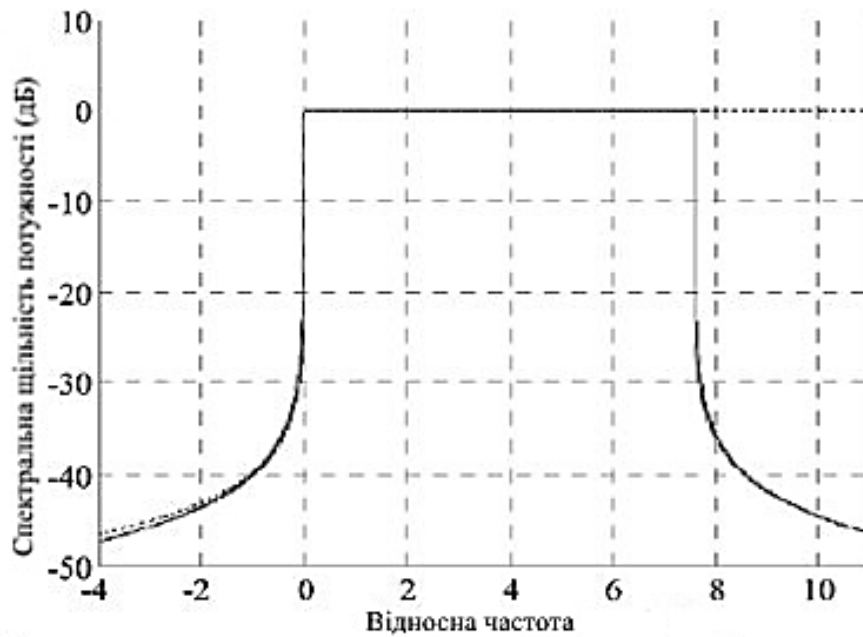


Рисунок 5.8 — Ідеальна крива спектральної щільності сигналу DVB-C2 з захисним інтервалом 1/128 при ширині спектру сигналу 7,61 МГц

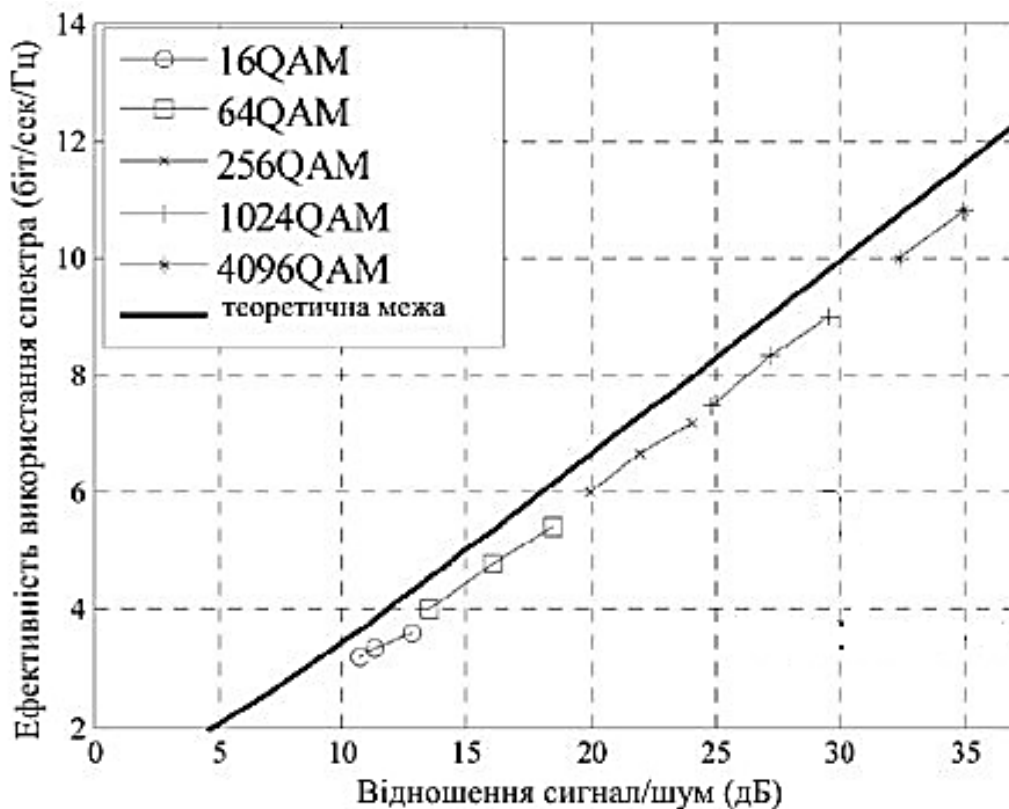


Рисунок 5.9 — Спектральна ефективність DVB-C2 (параметри DVB-C2: ширина смуги — 32, захисний інтервал — 1/128, щільність пілот сигналів 1/96)

В таблиці 5.4 зібрані можливі в DVB-C і DVB-C2 швидкості передачі інформаційних біт.

**Допустимі швидкості передачі інформації в DVB-C і DVB-C2
при ширині каналу 8МГц (параметри DVB-C2: ширина смуги — 32МГц,
захисний інтервал — 1/128, щільність пілот-сигналів — 1/96)**

-	16 QAM	64 QAM	256 QAM	1024 QAM	4096 QAM
DVB-C	25 Мбіт/с	38,4 Мбіт/с	51,2 Мбіт/с	-	-
C2, 2/3	-	31,4 Мбіт/с	-	-	-
C2, 3/4	-	-	47,1 Мбіт/с	58,9 Мбіт/с	-
C2, 4/5	25,1 Мбіт/с	37,7 Мбіт/с	-	-	-
C2, 5/6	-	-	52,4 Мбіт/с	65,4 Мбіт/с	78,6 Мбіт/с
C2, 9/10	28,3 Мбіт/с	41,4 Мбіт/с	56,6 Мбіт/с	70,7 Мбіт/с	84,8 Мбіт/с

Для порівняння максимально допустимих швидкостей передачі інформації обох систем розглядається канал шириною 8 МГц. У разі DVB-C2 загальна ширина потоку обрана величиною в 32 МГц. Нові режими, що з'явилися в DVB-C2, дозволяють збільшити швидкість до 65% при необхідному відношенні сигнал/шум в 35дБ, що в більшості сучасних кабельних мереж, як вказувалось вище, практично завжди забезпечується.

5.8.2 Зменшення рівня завад від кабельних мереж в стандарті DVB-C2

Одним з важливих питань є зниження завад від кабельних мереж. Екрановане середовище передачі кабельних мереж теоретично дозволяє використовувати в них весь спектр від 0 до майже 1 ГГц. Але неідеальне розведення абонентських кабелів всередині будинків і квартир в багатьох випадках призводить до випромінювання сигналів кабельного ТБ в ефір. Іноді це випромінювання досягає рівнів, які можуть створити завади, наприклад, правоохоронним структурам або диспетчерським авіаслужбами. У цих випадках кабельних операторів примушують знизити рівень сигналу, що передається на критичних частотах, або ж їм доводиться повністю вимкнути канали, що створюють завади. В DVB-C2 такої необхідності немає, тому що стандарт дозволяє вирізати окремі небажані з точки зору завад OFDM-піднесучі. Можливо вибірково вимкнути тільки ті з них, які створюють завади, а не весь канал цілком. Це також сприяє зниженню втрати спектру (рис. 5.10).

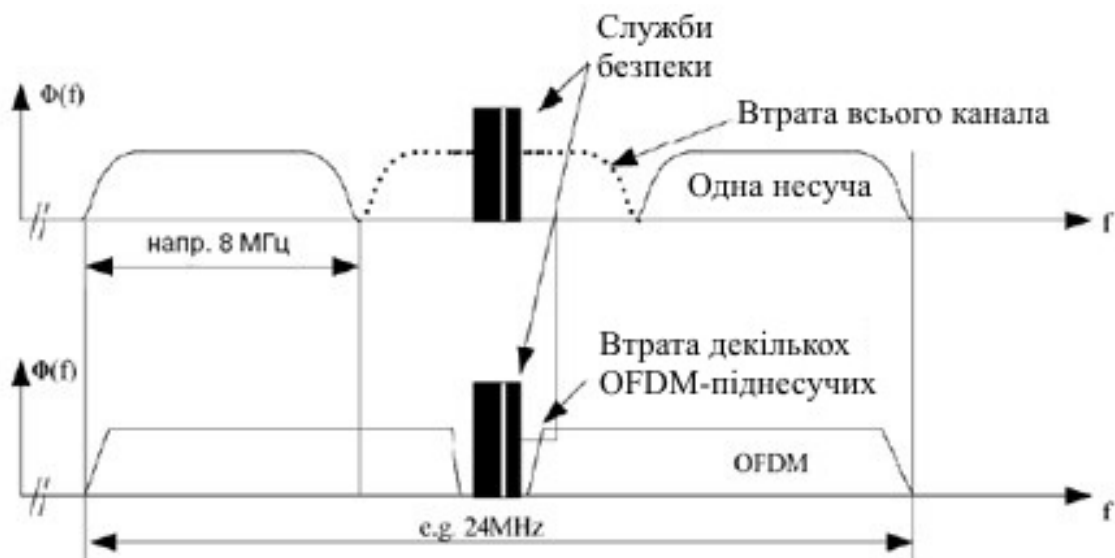


Рисунок 5.10 — Способи боротьби з завадами (для DVB-C це відключення каналу, а для DVB-C2 вимкнення декількох OFDM-піднесучих)

5.9 Переваги використання цифрових стандартів у кабельних мережах

При впровадженні стандарту цифрового стандарту DVB-C реалізуються наступні переваги:

1. Істотна економія частотного ресурсу. Дійсно, якщо в одному фізичному каналі розміщуються 4-8 ТВ програм, то це означає, що для передачі 60-ти програм потрібно всього близько 10-ти каналів. Такий частотний вигреш особливо відчутний при впровадженні стандарту DVB-C на застарілих мережах з верхньою частотою 240...300 МГц. У таких мережах легко розміщуються понад 100 цифрових каналів, а при активізації реверсного каналу — і послуги інтерактивного сервісу.

Суттєво підвищується якість трансльованих програм. Трансляція аналогових сигналів неминуче тягне за собою зниження їх якості у наслідок неминучого накопичення спотворень (шумів, інтермодуляції, фонових завад, крос-модуляції та ін.). Цифрові ж сигнали DVB-C та DVB-C2 зберігають свою якість незалежно від протяжності магістралі. Для них досить перевищення необхідного рівня сигналу (що завжди виконується на практиці в силу більш високої чутливості STB в порівнянні з телевізором) і порогового значення SNR, яке багато нижче регламентованих 43 dB згідно нормативів.

При використанні стандарту DVB-C з'являється можливість значно збільшити зону обслуговування СКТ за рахунок більш низького шумового порогу (не більше 36 dB). Розрахунки показують, що при використанні стандарту DVB-C можливе збільшення зони обслуговування в 10 і більше разів. Причому, таке збільшення зони охоплення найбільш ефективно

саме на застарілих мережах з верхньої частотою 240...300 МГц. На таких частотах погонні втрати коаксіального кабелю майже в 2 рази менше, ніж на частоті 862МГц, до якої проектується сучасні СКТ. При менших погонних втратах потрібна менша кількість підсилювачів, що і гарантує підтримку високого значення SNR. Зниження числа фізичних каналів знижує енергетичне навантаження самої СКТ, що еквівалентно значному поліпшенню SNR.

З'являється можливість ефективного кодування пакетів програм формованим з тих чи інших економічних міркувань, що дозволяє операторам СКТ отримувати додаткові прибутки за рахунок формування платних каналів. При використанні DVB-C так само полегшується і можливість використання фільтрів пакетування за рахунок зменшення смуги фізичних каналів і появи вільних частот прогалін, які необхідні при використанні фільтрів пакетування.

Нещодавно впроваджений стандарт DVB-C2 дозволяє додатково істотно підвищити ефективність використання спектра. Це досягається за рахунок застосування вищої позиційності QAM-модуляції (до 4096 QAM) в поєднанні з потужною системою завадостійкого кодування на базі LDPC-кодів. Крім того, застосування OFDM дає додатковий вииграш в плані гнучкості та ефективності, а також дозволяє здешевити створення єдиних приймальних чіп-сетів DVB-T2/C2. Робочі можливості стандарту близькі до теоретичної межі. Це дозволяє створити на його базі економічно ефективну систему, яка забезпечує ТБ стандартної і високої чіткості, а також інтерактивні послуги типу «відео на вимогу» або «доступу до Інтернету». Він також допускає передачу без транспортних пакетів MPEG-2 TS із застосуванням протоколу GSE, що додатково знижує обсяг переданої службової інформації.

Питання для самоконтролю

1. Що таке кабельне телебачення?
2. Зобразіть функціональну схему цифрової мультисервісної мережі кабельного телебачення.
3. Які основні особливості стандарту кабельного телебачення DVB-C.
4. Зобразіть структурну схему кодера головної станції кабельної системи стандарту DVB-C і поясніть призначення її основних елементів.
5. Зобразіть структурну схему приймача — декодера кабельної системи стандарту DVB-C і поясніть призначення її основних елементів.
6. Назвіть види багатопозиційної модуляції, які можуть використовуватись у стандарті DVB-C. Яка їх спектральна ефективність?
7. Назвіть основні вигоди кабельних операторів від впровадження стандарту DVB-C.

8. Зобразіть структурну схему приймача-декодера кабельної системи стандарту DVB-C2 і поясніть призначення її основних елементів.

9. Назвіть види багатопозиційної модуляції, які можуть використовуватись у стандарті DVB-C2. Яка їх спектральна ефективність?

10. За рахунок чого забезпечується додаткова істотна економія частотного ресурсу у стандарті DVB-C2?

11. Що дозволяє збільшити зону обслуговування системи кабельного телебачення?

12. За рахунок чого значно підвищується якість прийому трансльованих програм?

13. Що дозволяє операторам систем кабельного телебачення формувати пакети платних програм?

Література до розділу 5

1. Телекомунікаційні системи та мережі : Навч. пос. ц 3 томах. Том 2-Радіозв'язок, радіомовлення, телебачення / Катунін Г.П. та ін. під ред. проф. В.П.Шувалова. — Вид. 2-е, випр та доп. — М.: Горяча лінія — Телеком. 2005. — 672 с.

2. Hervé Benoit. Digital television : satellite, cable, terrestrial, iptv, mobile tv in the dvb framework / Hervé Benoit. — 3rd ed. 2008. — 290 p.

3. The Michael Aldrich Archive — Cable Systems. Retrieved 2012-02-14. [Електр. ресурс]. — Режим доступу: <http://www.aldricharchive.com>.

4. Eisenmann T. R. Cable TV: From Community Antennas to Wired Cities. Harvard Business School Weekly Newsletter, July 10, 2000.

5. Телебачення: Підручник для вузів, під ред. В.Е. Джаконії. — М.: Горяча лінія, 2002.

6 СИСТЕМИ МОБІЛЬНОГО ЦИФРОВОГО ТЕЛЕБАЧЕННЯ

6.1 Загальна характеристика систем мобільного цифрового телебачення

Мобільне цифрове телебачення — це послуга, що надає можливість власникам стільникових телефонів або інших мобільних пристроїв з підключенням до стільникової телефонної мережі або безпосередньо приймаючи сигнали наземного або супутникового цифрового телебачення, дивитися телепередачі і трансляції в режимі онлайн. Для доставки контенту ТБ на мобільний телефон користувача може використовуватися GPRS з'єднання, 3G-мережі, 4/5G — Mobile: WiMAX, Wi-Fi або LTE, а також існуючі мережі цифрового ефірного наземного і супутникового мовлення.

У системах цифрового телебачення для ефірного мобільного прийому програми транслюються на частотах ефірного DVB-T і супутникового DVB-S телебачення, а також по каналах ефірного цифрового радіо T-DMB (рис. 6.1). На відміну від систем потокового відео, мобільні приймачі даного типу, по суті, є справжніми цифровими телевізорами. Тому вони мають вбудований модуль радіочастотного тюнера і каналний демодулятор (QPSK для супутникового і COFDM для наземного мовлення).

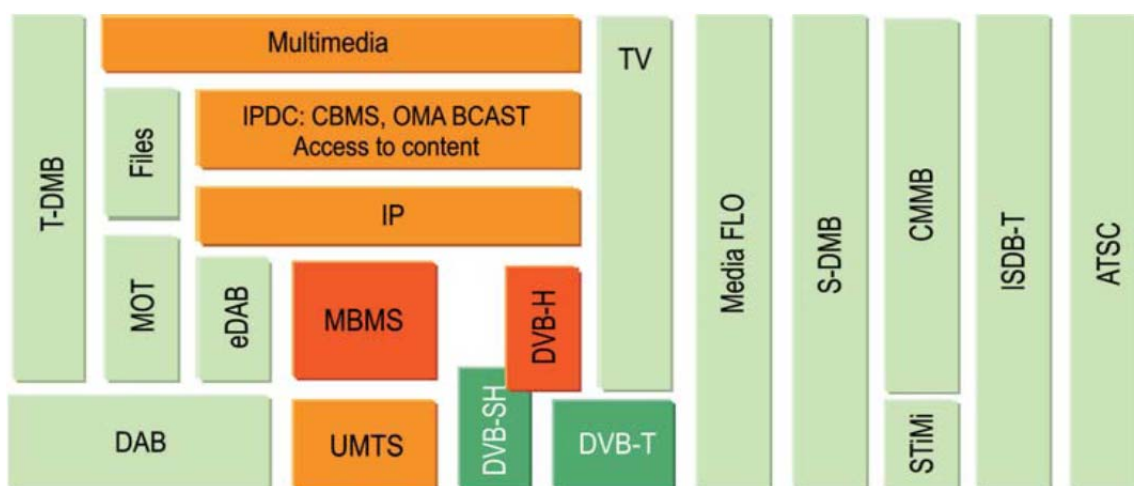


Рисунок 6.1 — Стандарти доставки контенту мобільного телебачення

Прийнятий транспортний потік поступає на мультиплексор, де з нього витягається інформація, що відноситься до окремих телепрограм. Відновлення компресованих даних при передачі сигналів звуку і зображення здійснюється декодерами MPEG-2 або MPEG-4 (H.263 AVC або H.264 AVC). Конструктивно приймачі телебачення DVB-H і DMB теж можуть бути виконані у вигляді мобільних телефонів, смартфонів, а також автомобільних ЖК-моніторів.

Нині в Західній Європі активніше розвивається мобільне телемовлення за стандартом DVB-H.

Для телевізійного мовлення по стільникових мережах знадобиться значно велика місткість каналів, чим для звичайної телефонії. А це відгукнеться перевантаженням мереж і як наслідок — зависанням і короткочасною втратою зв'язку. Крім того, трубки-телевізори дуже енергоємні, оскільки процес обробки високошвидкісного відео і кольоровий екран споживають значну енергію. В результаті різко скорочується час роботи акумулятора і для регулярного перегляду передач доведеться носити з собою запасний комплект, а то і декілька. У свою чергу, формати DVB-H і T-DMB добрі тим, що в якості транспортного середовища в них теж використовується вже наявна інфраструктура цифрового телебачення DVB-T і радіо DAB відповідно. Велика в порівнянні з мережами GSM швидкість передачі даних дозволяє отримати цілком якісне зображення навіть на екранах автомобільних телевізорів з діагоналлю 6–10 дюймів. Важливо і те, що для мобільних терміналів відповідні передавачі можуть транслювати сигнали в ефір одночасно з «штатними» програмами — DVB-T і DAB. Завдяки спеціально прийнятим заходам (зокрема, тимчасовому розділенню ТВ програм) приймачі DVB-H значно економічніше, ніж ті, що декодують потокове відео. Нарешті, стійкий прийом DVB-H гарантується при великих швидкостях руху.

6.2 Стандарт мобільного телебачення DVB-H

6.2.1 Специфікації і рівні стандарту DVB-H

У грудні 2004 р. Європейська Асоціація за Телекомунікаційними Стандартами (European Telecommunications Standards Institute, ETSI) остаточно затвердила специфікації DVB-H[1] (Digital Video Broadcast Handheld, DVB «ручний, портативний») і визнала його основним стандартом для мобільних ТБ-сервісів Європи.

У першу чергу технологія DVB-H прагне зайняти свою нішу у вже існуючих ефірних мережах стандарту DVB-T (Digital Video Broadcasting — Terrestrial) як його еволюція [2]. Тому стандарт DVB-H є по суті розвитком стандарту DVB-T з підтримкою додаткових можливостей, що відповідають вимогам для переносних мобільних пристроїв з автономним живленням. Для зменшення витрати живлення батарей переносних пристроїв використовується технологія квантування часу *time slicing*. Приймаючий пристрій включається тільки в ті інтервали часу, в які відбувається передача наборів даних, що відповідають вибраному каналу, на який налаштований приймаючий пристрій. Впродовж цього короткого інтервалу часу дані, що передаються з високою швидкістю, можуть бути поміщені у буфер приймаючого пристрою, який може містити як завантажені дані, так і потокове відео.

- DVB-H розроблений для роботи в наступних частотах:
- VHF-III (170–230 MHz (чи частина цього діапазону));
 - UHF-IV/V (470–862 MHz (чи частина цього діапазону));
 - L (1.452-1.492 GHz).

У 2007 році був прийнятий стандарт цифрового мобільного мовлення DVB-SH (Digital Video Broadcasting — Satellite services to Handhelds), передбачаючий прийом супутниковий цифрового відеосигналу на мобільні пристрої або портативний телевізор. Система мовлення DVB-SH була розроблена для використання на частотах нижче 3 ГГц, з підтримкою груп L і S UHF- частот, що є поліпшенням і доповненням стандарту DVB-H на фізичному рівні. Стандарт DVB-SH, як стандарт ґрунтований на DVB-H, підтримує IP DVB Datacast (IPDC), EPG, стандарти захисту і придбання сервісів [7, 9]. Важливими перевагами стандарту є розширений до 3 ГГц робочий діапазон частот, а також можливість використання гібридних рішень супутник + наземна репітерна інфраструктура, що дозволяє забезпечувати максимальне охоплення території.

Система DVB-H об'єднує 5 окремих специфікацій:

1. DVB-H Transmission System (власне ETSI EN 302 304) — визначає технічну специфікацію на систему мультимедійних сервісів (послуг) для ручних терміналів передаваних через мережу наземного цифрового мовлення DVB-T.

2. DVB-H Implementation Guidelines — визначає процедуру взаємодії технічних компонентів системи один з одним;

3. DVB «Service Information» — визначає вимоги до сигналів індикації різних інформаційних сервісів (послуг) на основі модифікованого стандарту EN 300 468 (DVB-SI) стосовно сигналів DVB-H для ручних терміналів;

4. DVB «DATA» — визначає порядок передачі цифрових даних в системі DVB-H на основі модифікованого стандарту EN 301 192 (DVB-DATA);

5. DVB «Terrestrial Transmission» — визначає режими передачі сигналів DVB-H на основі модифікованого стандарту EN 300 744 (DVB-T).

Технічний опис системи DVB-H містить 3 рівні:

– DVB-SI level (сервісний рівень) — описує порядок передачі інформаційного повідомлення приймача DVB-H про те, що інформаційні сервіси (послуги) передаються у складі MPEG транспортного потоку (Terrestrial Descriptor);

– DVB-DATA level (рівень даних) — описує процедуру інкапсуляції цифрових даних в пакети DVB (Time Sliced Multi Protocol Encapsulation mechanism);

– DVB-H physical level (фізичний рівень) — описує режим модуляції 4k, використовуваний в системі DVB-H для передачі даних.

Стандарти ETSI на систему DVB-H

Безпосередньо сама технологія мобільного цифрового відеомовлення викладена в стандарті ETSI EN 302 304 (2004-11).

6.2.2 Принципи побудови систем мобільного телебачення стандарту DVB-H

Принципи побудови систем мобільного телебачення стандарту. Система DVB-H може розділяти єдиний мультиплекс спільно з системою DVB-T (рис. 6.2), при цьому для передач в стандарті DVB-H використовується тільки частина пропускної спроможності мультиплексованого каналу. При розробці стандарту DVB-H головним завданням ставилося істотно понизити енергоспоживання терміналу при прийомі даних, що має дуже важливе значення для мобільних пристроїв. Завдання було вирішене організацією IP-мовлення дейтаграм в режимі каруселі. Блок даних окремої служби, введеної в карусель, доступний для прийому тільки в задані короткі інтервали часу. За допомогою даних управління приймач перемикається в цей час з чергового режиму в активний режим прийому і накопичення інформації.

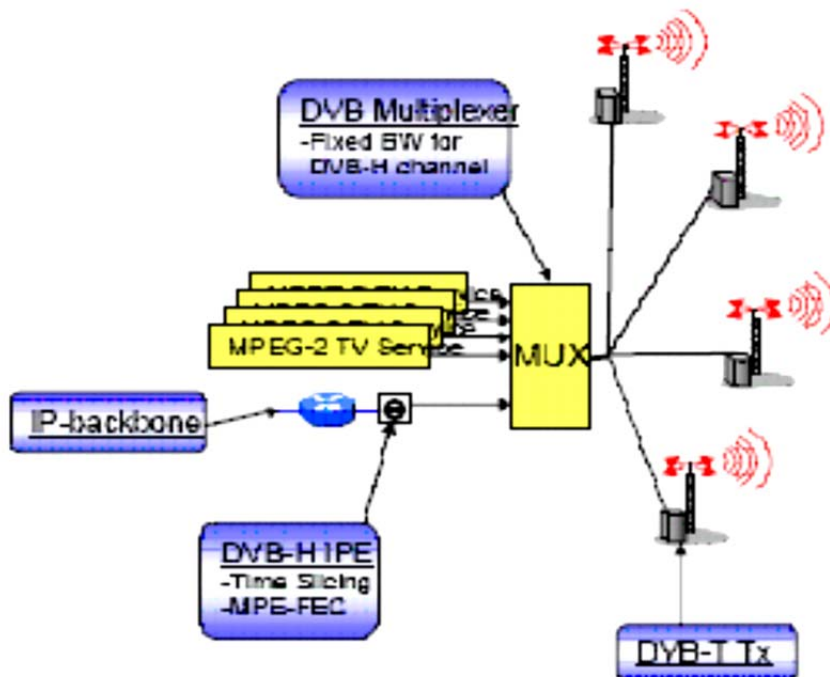


Рисунок 6.2 — Структурна схема використання загального мультиплексованого потоку для мовлення в стандартах DVB-T і DVB-H

Блоки, що приймаються, аудіо- і відеоданих (1–5 секунд контенту) запам'ятовуються у буферну пам'ять і відтворюються у безперервному режимі. За рахунок цього економія енергоспоживання досягає 90–95% в порівнянні з мовленням DVB-T. Розділення в часі інтервалів активності

дозволяє здійснювати м'яке перемикання при переміщенні мобільного абонента з однієї стільниці в іншу.

Платформа DVB-H підтримує цифровий потік з IP-протоколом, що несе до 20 і більше платних ТБ каналів з хорошою якістю відображення на мобільних телефонах.

Додатково до прийому в реальному часі поява мініатюрних жорстких дисків і карт пам'яті великого об'єму дозволяє заздалегідь накопити інформацію з подальшим переглядом в слушний час. Така модель приймача може бути інтегрована з терміналом доступу в Інтернет, що відкриває додаткові можливості по оптимізації способу доставки інформації споживачеві.

На каналному рівні стандарт DVB H ґрунтується на методах передачі радіосигналів, специфікованих в останній 5-й редакції стандарту на цифрове наземне ТБ мовлення DVB-T. У цьому документі додатково до канонічних режимів мовлення 2k і 8k уперше введений режим 4k (3409 OFDM, що несуть) і приведена структура каналного адаптера спеціально для завдань мовлення відповідно до вимог стандарту DVB H. Тепер в одному стандарті інтегруються вимоги для цифрового наземного мовлення на усі можливі види абонентських терміналів. Режим мовлення 4k забезпечує одночасно високу швидкість передачі даних при прийомі на одну антену, підвищену завадостійку, у тому числі, і при русі на великих швидкостях, можливість побудови досить великих одночастотних мереж. Один мультиплекс системи наземного ТБ мовлення може бути цілком наданий для потреб мобільного мовлення DVB-H або може спільно використовуватися системами DVB-H і DVB-T.

До числа основних особливостей стандарту DVB-H, що відрізняють його від базового стандарту DVB-T і що дозволяють отримати необхідну якість, що узгоджується з можливостями мобільного приймального терміналу, відносяться:

- зменшена роздільна здатність (формат QVGA 320x240 пікселів), оскільки немає сенсу на невеликому екрані намагатися відтворити картинку із стандартним для DVB-T дозволом, то при зменшеному дозволі у формат QVGA 320x240 можна передає в 10-15 раз більше програма;

- покращена завадостійкість за рахунок застосування додаткового кодозахисту на рівні протокольної інкапсуляції, для цього може використовуватися код Рида-Соломона RS (255,191);

- передбачена можливість використання DVB інкапсулятора для роботи із стандартним IP каналом з простішою організацією зворотного каналу;

- забезпечується підвищена місткість каналу передачі. По стандартному каналу 8 МГц (в межах одного мультиплексу) можна передавати до 30–50 служб поточкових відеоданих;

- забезпечується мінімальне енергоспоживання при максимальній швидкості передачі даних;
- час перемикання з каналу на канал складає 1.2 с;
- при розділенні системами DVB-T і DVB-H одного мультиплексу потоку DVB-H може бути присвоєний високий пріоритет HP (High Priority), а потоку DVB-T — низький пріоритет LP (Low Priority), що додатково підвищує завадостійку системи DVB-H.

Використання режиму ієрархічної передачі потоків DVB-H/DVB-T забезпечує стійкий прийом обох видів мовних сигналів і приблизно рівні зони покриття, враховуючи малі розміри приймальної антени мобільного терміналу.

Мікросхеми для приймачів DVB-H випускаються багатьма фірмами (DiVcom, Philips, Samsung, Siano, ST, TI, Freescale, Microtone та ін.), що робить їх доступними для кінцевих виробників обладнання.

Устаткування для головних станцій DVB-H поставляється більш ніж 50-у компаніями, а приймальні пристрої (зокрема телефони) випускаються такими фірмами, як Nokia, Motorola, BenQ, Samsung, Sony, Ericsson, Sagem, що дає користувачам широкий вибір.

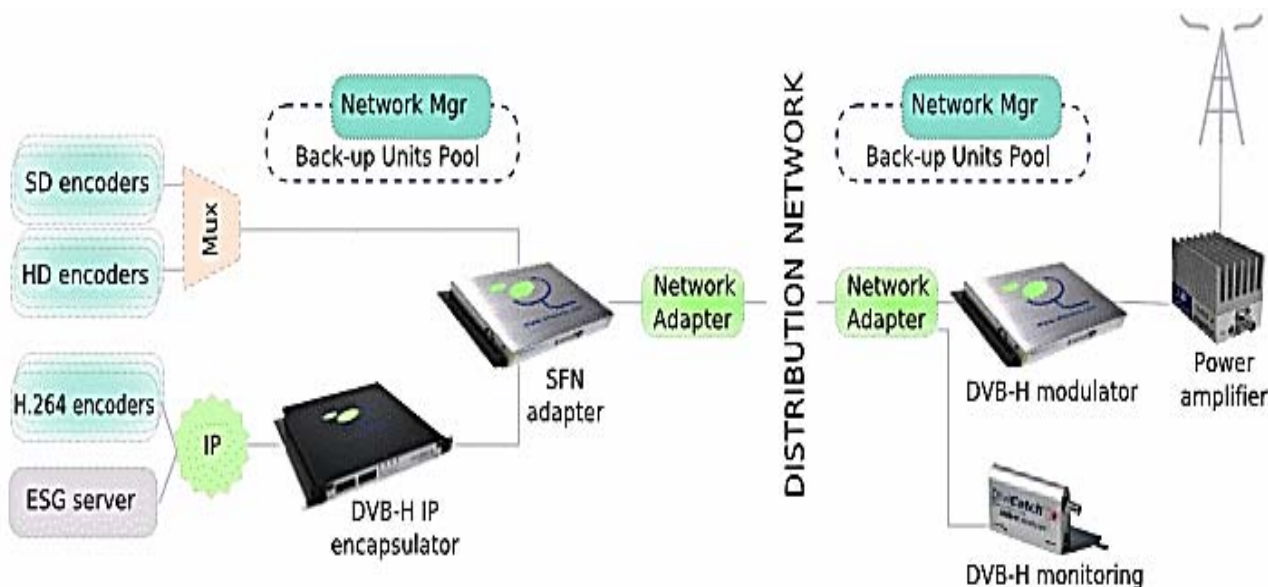
6.2.3 Огляд рішень схемотехнік стандарту DVB-H різних виробників

Обладнання для мереж мовлення нині випускається практично усіма фірмами-виробниками ТБ техніки. Проблема пошуку необхідного обладнання для конкретної проектованої мережі DVB-H зводиться фактично до цінових показників або до обліку і підтримки партнерських стосунків, що склалися, між замовником мережі і фірмами-постачальниками. Вибір в якості партнера досить великої і відомої фірми, що випускає декілька типів пристроїв, можливо, буде більший затратен, але, з іншого боку, це дозволить понизити ризики при сполученні обладнання в єдиний комплекс, а також дозволить підвищити якість що надаються користувачам послуг.

Нині фірми випускають як широкий асортимент пристроїв, що дозволяють реалізувати цілком усю мережу або її істотні елементи, так і спеціалізуються на окремих специфічних пристроях. Нижче приведені результати і систематизація технічних джерел по системотехнічним рішеннях і обладнанні мереж DVB-H від провідних виробників.

Мережа розподілу DVB-H фірми Enensys Technologies

Загальна схема мережі мовлення стандарту DVB-T/H з розділенням мультиплексу приведена на рис. 6.3. Фірма Enensys Technologies пропонує обладнання, на основі якого можна реалізувати основні елементи в ланцюжку доставці програм споживачеві, тобто, починаючи з формування стандартного MPEG-2 транспортні потоки і група, кодований IP-служба до безпосередній мовлення радіосигнал в ефір.



Примітка: DISTRIBUTION NETWORK — розподільна мережа; Network adapter — мережевий адаптер; SFN adapter — адаптер ОЧС; DVB-H IP encapsulator — DVB-H IP інкапсулятор; DVB-H modulator — модулятор сигналу DVB-H; Network Mgr — блок управління мережею; Mux — мультиплексор; IP — дані у форматі Internet Protocol; DVB-H monitoring — блок стеження за DVB-H сигналом; Power amplifier — підсилювач потужності)

Рисунок 6.3 — Структурна схема мережі DVB-H фірми Enensys

Мережа розподілу DVB-H фірми Newtec

Основним компонентом мережевого обладнання фірми Newtec є концентратор/деконцентратор з інтерфейсом ASI. Приклад топології мереж первинного розподілу і мовлення програм DVB-H приведений на рис. 6.4.

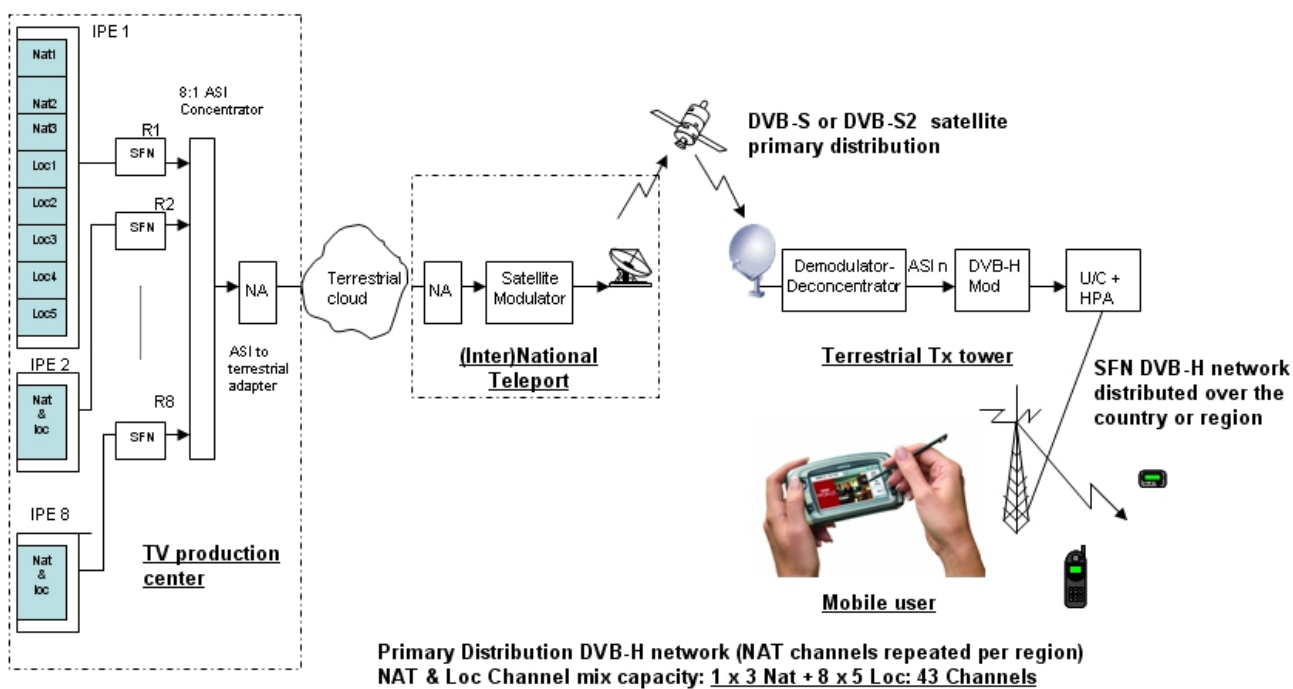


Рисунок 6.4 — Мережа розподілу DVB-H фірми Newtec

Особливістю цієї мережі є передача суміші національних і регіональних ТБ програм по усій території країни або по декількох регіонах, в яких для мовлення використовуються одночастотна мережа.

Рішення фірми Grass Valley (Thomson) для системи мобільного телебачення. Фірма Grass Valley робить обладнання для мереж DVB-H: деконцентратор EyeGate, IP-інкапсулятор Opal, формувач електронного путівника по послугах (ESG) Jade, кодер MPEG-4 AVC (H.264) Argos, сервери обробки файлів служб nVOD Sapphire, аналізатори потоків DVB-H Cobalt. Типове об'єднання цих пристроїв в систему показано на рис. 6.5.

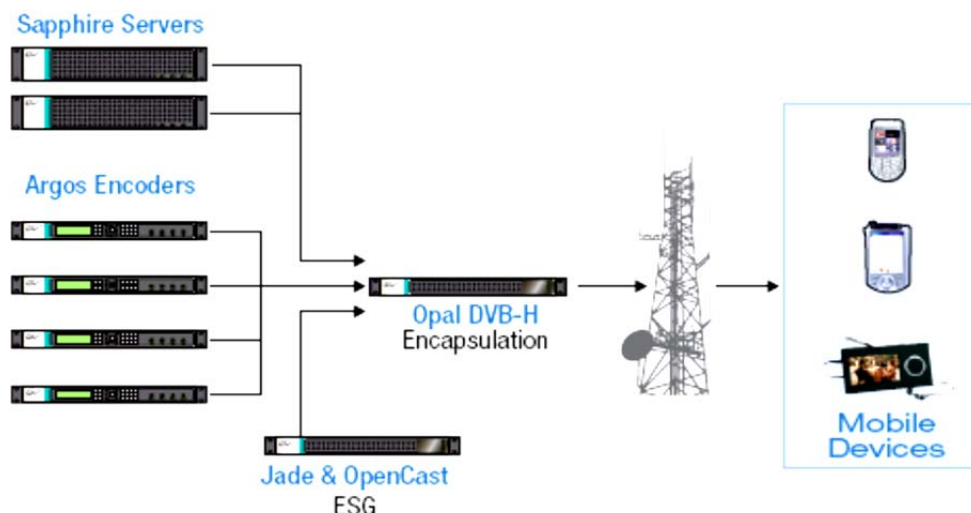


Рисунок 6.5 — Загальна структура мережі мобільного ТБ Grass Valley (Thomson)

Обладнання для мереж DVB-H фірми UBS (Unique Broadband Systems)

Фірма виготовляє для мереж DVB-T/H модулятори, передавачі, ретранслятори, IP-інкапсулятори, адаптери ОЧС, кодери. Один з можливих варіантів побудови мережі мовлення з обмеженням доступу до передавальних програм показаний на рис. 6.6.

Рішення фірм UDcast, HARRIS і Rohde&Schwarz

Мережі фірми UDcast застосовують IP інкапсулятор IPE 10 і облаштування управління IP-мережею IPE-Manager, за допомогою яких здійснюється збір інформації, її передача по первинній мережі і компонування потоків, що віщаються. Традиційне обладнання HARRIS — це модулятори і передавачі DVB H. Фірма Rohde&Schwarz робить повний набір передавального і широкий спектр вимірювального обладнання.

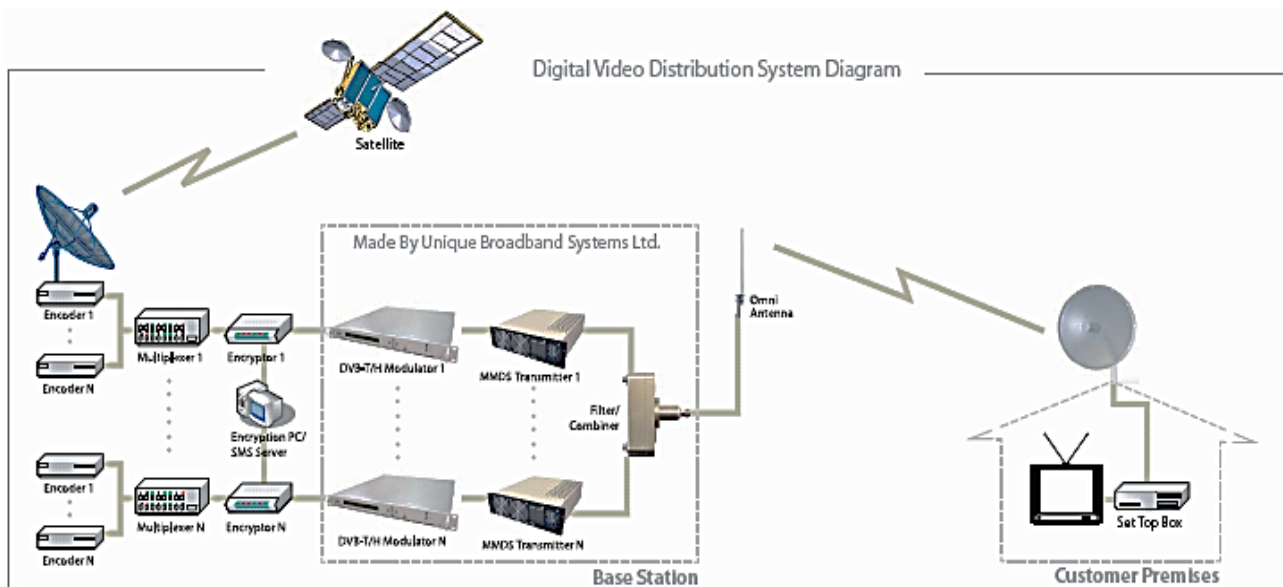


Рисунок 6.6 — Варіант DVB-H мережі з використанням супутникових технологій фірми Unique Broadband Systems

6.3 Особливості стандартів мобільного телебачення MBMS, DAB, DMB, ISDB и MediaFlo

6.3.1 Стандарт DAB

Система Eureka-147 Digital Audio Broadcast (DAB) була розроблена для радіомовлення. Одно з основних вимог — забезпечення високої якості, коли приймач рухається з великою швидкістю. Це важливо, передусім, для приймачів, встановлених в автомобілях. DAB добре працює в умовах багатопробного поширення сигналів за рахунок використання COFDM. Вона дозволяє передавати цифровий мультимедіа радіопрограм і додаткових даних 1 Мбіт/с. Органи частотного планування дозволяють використати мультимедіа для передачі до терміналів DAB таких даних, як відеоматеріали, для яких може бути виділені декілька сотень кілобіт в секунду.

Передача потокового відео і телепередач може бути легко організована у складі мультимедіа радіомовлення в існуючих мережах DAB. Це навіть може служити стимулом для прискорення розгортання DAB. До переваг побудови системи мобільного телебачення з використанням DAB можна віднести те, що приймачі DAB дуже добре відпрацьовані і мають невисоку вартість.

6.3.2 Стандарт DMB

Digital Multimedia Broadcast (DMB) — платформа для мобільних телевізійних служб на базі формату системи Eureka-147 Digital Audio Broadcast (DAB). Для підвищення надійності і завадозахищеності в DMB використовується додатковий рівень виявлення і виправлення помилок. Наземна сис-

тема T-DMB працює в діапазоні частот VHF Band III (близько 200 МГц), супутникова S-DMB — в діапазоні L-Band (близько 1,5 ГГц). Система DMB може бути введена в експлуатацію порівняно просто завдяки тому, що для неї можна використати частоти, виділені для DAB в діапазонах VHF і L. DMB добре працює при великій швидкості руху приймача, оскільки в якості фізичного рівня в ній використовується система радіомовлення DAB, яка розроблена для таких умов. Великі мережі розподілу потоків даних можуть бути побудовані з використанням S-DMB, а в густонаселених районах доцільно використати систему T-DMB. У 2005 році специфікація DMB була прийнята Європейським інститутом стандартизації в області телекомунікацій (ETSI) в якості одного із стандартів мультимедійного мовлення на мобільні пристрої.

6.3.3 Стандарт ISDB-T

Система цифрового телевізійного мовлення ISDB (Integrated Services Digital Broadcasting), розроблена в Японії для наземного і супутникового телебачення, використовується вже більше десяти років. Її відрізняє велика гнучкість і можливість застосування у ряді інших застосувань. Відповідно до рішення уряду Японії один з 13 частотних сегментів корисного навантаження мультиплексу наземного стандарту ISDB-T може використовуватися для організації мобільних телевізійних служб. У системі ISDB-T застосована модуляція великої кількості ортогональних COFDM, що несуть, а також тимчасове перемешивание, що забезпечує високу якість при прийомі в русі і в умовах багатопроменевого поширення радіосигналів. Відповідно до рішення уряду Японії ця служба планується як безкоштовна. Термінали і телефони, вироблювані різними фірмами, мають бути сумісними і мати один і той же браузер для спрощення доступу.

6.3.4 Служба групового мультимедійного мовлення MBMS

Технологія MBMS (Multimedia Broadcast and Multicast Service) ґрунтована на трансляції мультимедіа контенту одночасно декільком одержувачам по одному каналу мовлення. Канал мережі мобільного зв'язку використовується як канал мовлення.

Для MBMS передбачені два режими мовлення:

- Broadcast — ширококомовний режим усім користувачам в певній зоні;
- Multicast — групове мовлення тільки певній групі абонентів, які підписані на цю послугу.

Послуга MBMS в мережах CDMA носить назву Broadcast Multicast Service (BCMCS). Технології, які використовуювані в MBMS, дозволяють оптимізувати використання мережних ресурсів внаслідок виділення одного каналу мовлення декільком абонентам.

При використанні технології MBMS, згідно Rel'6 специфікацій 3GPP, один осередок в смузі 5 МГц може підтримувати до 16 MBMS каналів типу точка-багатоточка (випадку, якщо використовується термінал з однією приемо-передающою антеною). При цьому користувачеві надається швидкість передачі даних 64 кбит/с. В WCDMA для MBMS введені спеціальні канали [8, 9, 11, 12, 13].

6.3.5 Стандарт MediaFlo

MediaFLO — це система мобільного ТБ, яка розроблена в США компанією Qualcomm. Технологія FLO (Forward Link Only) також використовує модуляцію COFDM. Вона має дуже багато спільного з DVB-T в частині принципів передачі сигналів.

MediaFlo — комплексна система, що включає розробку платформи для надання послуг, схему закриття контенту і контролю за його відтворенням. Більше того, MediaFlow задумана, як складова ширшої системи передачі медіа — Media Distribution System (MDS), до складу якої увійдуть і мобільні мережі третього покоління EV-DO CDMA2000. Очевидна аналогія MDS с європейською системою IPDC (IP DataCast), в якій для мовних послуг передбачається використати мережі канали DVB-H, а для інтерактивної взаємодії з абонентом і надання індивідуальних послуг — канали UMTS.

Для зручності порівняння основні характеристики різних стандартів мобільного телебачення представлені в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1

Основні характеристики стандартів мобільного ТБ

Стандарти	DVB-H	DAB	DMB	ISDB-T	MBMS	Media Flo
Походження	DVB-T	DAB	CDMA	ISDB-T	UMTS	OFDM
Полоса частот, МГц	5-8	1,5	15	5,6	5	6
Потік даних, Мбіт/с	7-11	1,5	1,3	19	0,384	До 11
Діапазон	UHF, VHF,L	VHF	S	UHF, VHF	UMTS	VHF
Кіл-ть ТВ каналів	До 30	До 12	До 12	–	До 15	До 30
Країна мовлення	По всьому світу	Південна Корея, Європа	Південна Корея, Японія	Японія, Бразилія	У зоні покриття 3G	США, Китай, Європа
Час перегляду, з батареєю 800 мА-ч, ч	3	2	1,2	–	Залежить від апарату	4

6.4 Методи інтеграції систем мобільного телебачення і технологій доступу до контенту цифрового телебачення

6.4.1 Структура організації інтегрованої мережі цифрового наземного мовлення

Найбільш ефективна структура організації інтегрованої мережі цифрового наземного мовлення показана на рис. 6.7. Цей рисунок відображає комплексний підхід до побудови мережі, коли наземний ТБ передавач використовується для мовлення сигналів звичайних ТБ програм DVB-T і сигналів мобільного телебачення DVB-H (з прийомом сигналів мобільного телебачення DVB-H на стаціонарні, переносні і рухливі засоби), передавач мобільного зв'язку служить також для організації зворотних каналів, реалізуючи, тим самим, режим інтерактивного мовлення.

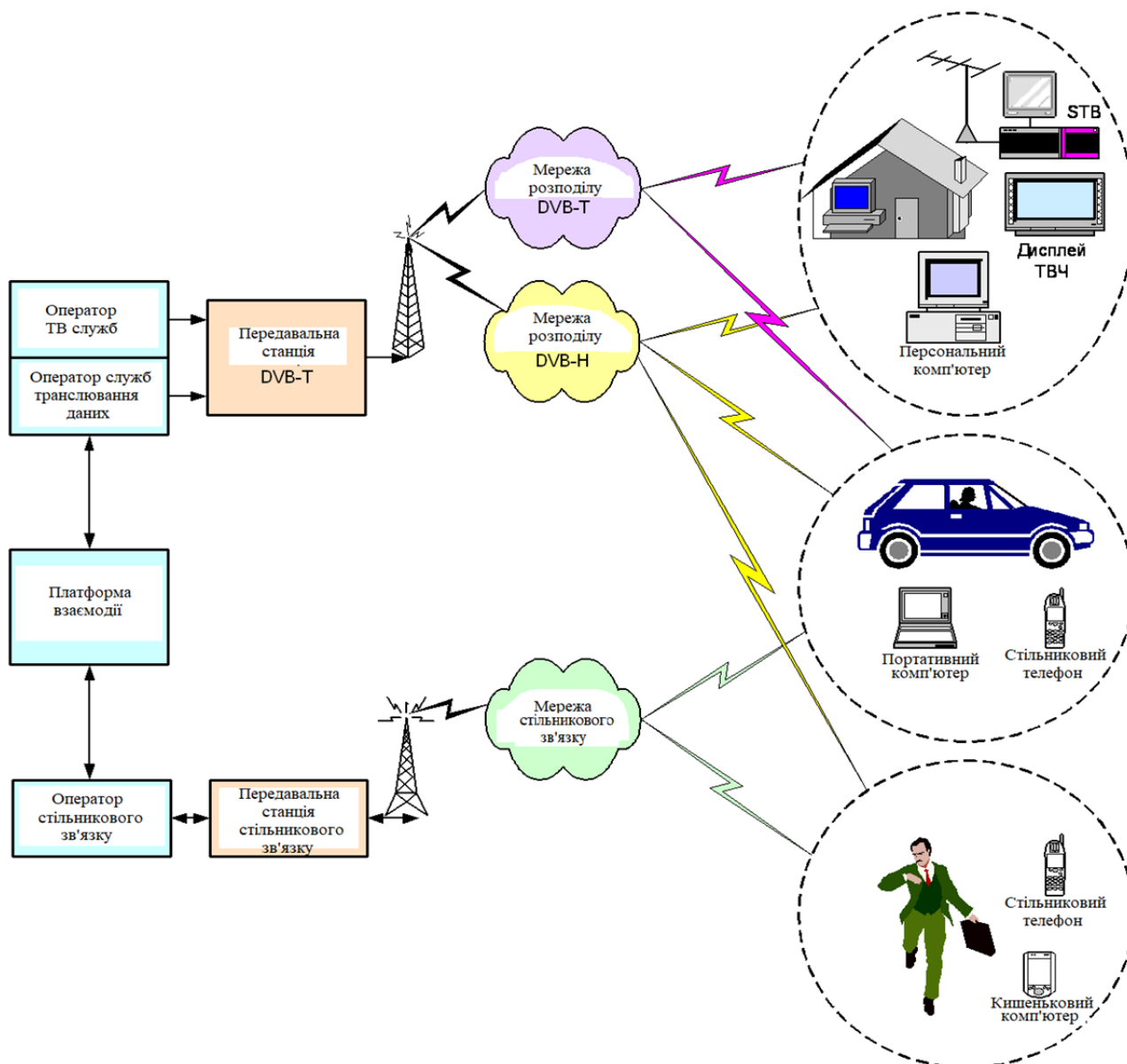


Рисунок 6.7 — Приклад організації інтегрованої мережі цифрового наземного мовлення з використанням стандарту DVB-H

Запропонований варіант системи DVB-H — це мовна передача IP-даних на портативні термінали. Спочатку використовується службова система для створення різних потоків (наприклад, потоків відеосигналів) і передачі їх в мережу. Потім ці потоки розподіляються по внутрішній мережі багатоадресного мовлення і подаються на IP-інкапсулятори, на виході яких створюються транспортні потоки DVB-HTS з квантуванням часу і захисними кодами MPE-FEC. Потім ці транспортні потоки розподіляються між передавачами DVB-T/H мовній мережі. У запропонованій мережі також використовується Network Mgr — блок управління мережею і облаштування моніторингу, підключеного безпосередньо до мережевого адаптера, для моніторингу роботи системи.

6.4.2. Особливості інтегрованої мережі мобільного телебачення стандарту DVB-H

Важливим гідність інтегрованої мережі являється сумісність обладнання з усіма видами систем телебачення. Введення додаткового режиму модуляції (режим 4k на додаток до існуючих режимів 2k і 8k в DVB-T) дозволяє приймати трансляції DVB-H приймачами DVB-T і в одному мультиплексованому потоці можливе поєднання трансляцій стандартів DVB-H і DVB-T. Характеристика режимів модуляції 2k, 4k, 8k стандарту DVB-H при різних відстанях між передавачами приведені в таблицю 6.2.

Таблиця 6.2

Характеристика режимів модуляції 2k, 4k, 8k стандарта DVB-H

Параметри OFDM	Режим		
	2k	4k	8k
Число піднесучих (БПФ)	2048	4096	8192
Число модульованих піднесучих	1705	3409	6817
Число корисних піднесучих	1512	3024	6048
Тривалість символу OFDM, мкс	224	448	896
Тривалість захисного інтервалу, мкс	7, 14, 28, 56	14, 28, 56, 112	28, 56, 112, 224
Рознесення несучих, кГц	4,464	2,232	1,116
Максимальна відстань між передавачами, км	17	33	67

Поєднання встановлюваних параметрів в DVB-T дозволяє гнучко вибрати режим залежно від радіусу охоплення зони, ландшафту і радіочастотної обстановки. Наявність захисного інтервалу дає можливість використати DVB-T і для передачі на мобільні термінали, що у тому числі рухаються з великою швидкістю. Проте, для передачі ТБ на мобільні телефони і інші мініатюрні (кишенькові) термінали ця система виявилася малоприсадною.

Це пов'язано з тим, що система DVB-T орієнтована і оптимізована для передачі стандартних ТБ потоків (тобто зображень з високим розділенням і, як наслідок, високошвидкісних потоків), тоді як кишенькові приймачі мають невеликі екрани, що дозволяють відтворити картинку формату не більше ніж 1/4 CIF або 1/8 CIF. Крім того, такі термінали живляться від малогабаритних акумуляторних батарей, які експлуатуються в максимально економічному режимі. Мобільні термінали мають малогабаритні вбудовані антени з низьким коефіцієнтом посилення (типові значення $-2..-7$ dB) і часто приймають сигнал в несприятливих умовах, тоді як розміщення стаціонарних ефірних антен (типові значення коефіцієнта посилення $+8..+14$ dB в діапазоні ДМВ) може бути оптимізоване (тобто для випадку DVB-T).

Структурна схема стандарту DVB-H представлена на рис. 6.8. Зеленим кольором помічені елементи, додані в стандарт DVB-H. По-перше, до режимів 2k і 8k (тобто для DVB-T) був доданий ще один режим — 4k. Введення нового режиму в стандарт DVB-H надало додатковий ступінь свободи в плані обміну максимальної швидкості пересування приймача на радіус охоплення одного чарунку.

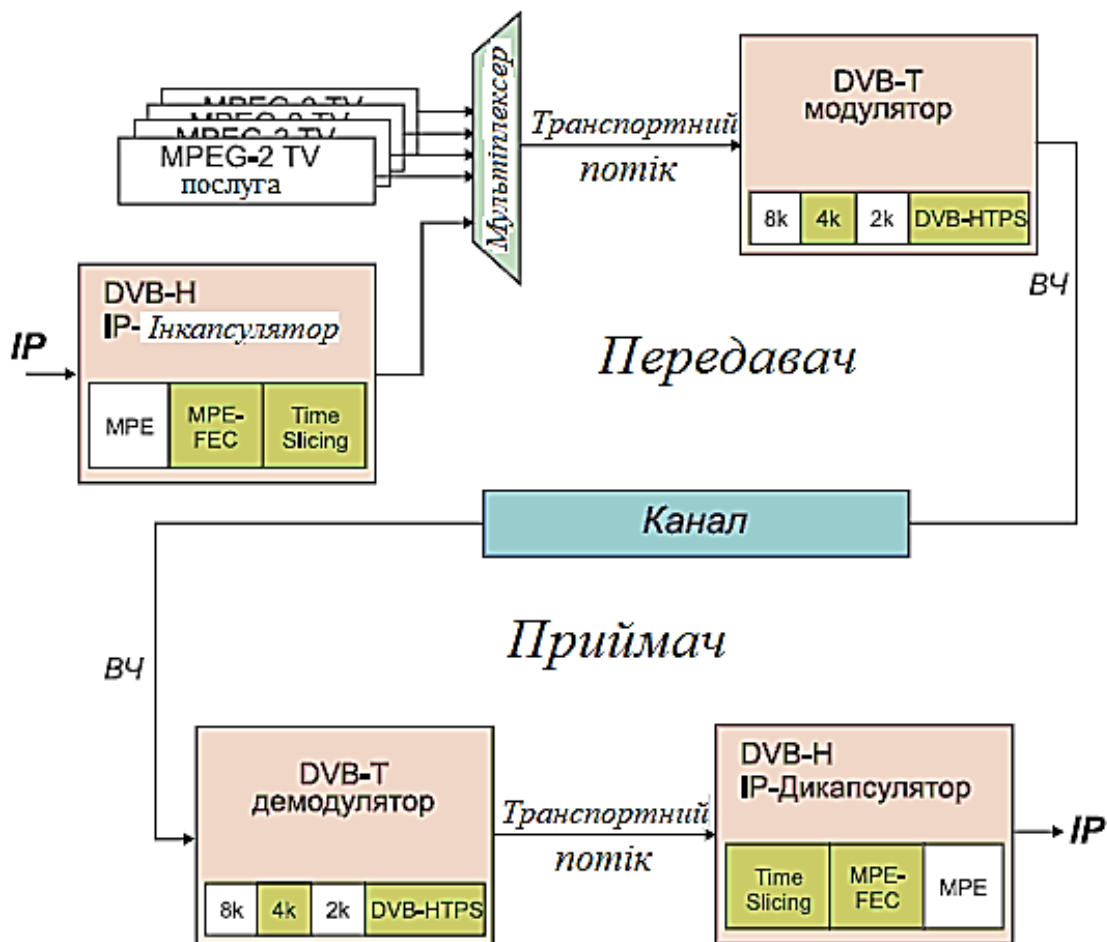


Рисунок 6.8 — Структурна схема системи мобільного телебачення стандарту DVB-H

Очевидно, що меншому числу піднесущих при COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing), модуляції відповідає більший частотний інтервал між тими піднесущими (при незмінній смузі каналу) і, відповідно, більш висока допустима швидкість руху терміналу (завжди йдеться про радіальну швидкість, тобто в напрямі на мовний телецентр або від нього), при якій не відбувається зриву нормальної демодуляції сигналу із-за доплерівського зміщення частот.

З іншого боку, чим менше несучих, тим коротше інтервал, виділений для передачі кожного COFDM символу, і відповідно, коротше захисний інтервал. У свою чергу, скорочення захисного інтервалу еквівалентне зниженню можливості настроєння від багатопроменевого прийому (що особливо важливе для мобільних пристроїв, місце розташування прийому яких постійно міняється в часі), що і призводить до зменшення допустимого радіусу покриття (для стандарту DVB-H часто іменується сотою). Для мереж DVB-T, розрахованих в основному на стаціонарний прийом, значно важливішим чинником є зона охоплення. Що до мереж на основі стандарту DVB-H, то для них велику значущість придбаває можливість прийому в русі, а зона охоплення значною мірою обмежується рівнем сигналу на вході приймача (тобто випромінюваною потужністю передавача і умовами прийому, наприклад, коефіцієнтом радіоекранування жител). Таким чином, для можливості вибору компромісного варіанту був доданий режим модуляції 4k, що заповнює нішу між режимами 2k і 8k. При цьому трансляції в режимі 4k можуть прийматися тільки приймачами DVB-H.

Другим доповненням в стандарт DVB-H на фізичному рівні стала можливість глибшого перемеження даних в режимах 4k і 2k. Канальне кодування DVB-T передбачає перемеження даних усередині одного COFDM символу. Воно в основному призначене для компенсації селективних завмирань піднесущих при багатопроменевому прийомі. В той же час мобільні термінали з більшою вірогідністю можуть опинитися в зоні дії широкосмугових імпульсних перешкод. І, як вже відзначалося, при прийомі в русі з'являється доплерівське зміщення частоти, що також призводить до спотворень сигналу. Тому в стандартах мобільного мовлення на базі COFDM (DAB, ISDB-T) для боротьби з наслідками тривалих перешкод в цикл канального кодування введене перемеження довгих серій даних, що охоплює десятки, а то і сотні OFDM (orthogonal frequency division multiplexing) символів.

Чим довше послідовність даних, що беруть участь в перемеженні, тим ефективніше виявляється боротьба з наслідками загасання. Але для стандарту DVB-H такий шлях неможливий. По-перше, відновлення довгих послідовностей зажадало б безперервного прийому, тоді як для цілей енергозбереження в стандарті DVB-H реалізований описаний нижче імпульс-

ний режим передачі. По-друге, для його здійснення потрібні великі об'єми пам'яті, що здорожують приймач. І нарешті, це суперечить вимозі сумісності з DVB-T. Тому було вибрано компромісне рішення.

У режимі модуляції 8k, найбільш актуального для DVB-T, в стандарті DVB-H збережене перемеження бітів в рамках одного символу. А в режимах 4k і 2k, де кожен COFDM символ переносить меншу кількість інформації, в якості опції введена можливість тимчасового перемеження, що допускається об'ємами виділеної для цієї мети пам'яті. Для 4k перемеження виконується з глибиною в 2 COFDM символу, а для режиму 2k — з глибиною в 4 COFDM символу. При активізації цієї опції спільна передача трансляцій стандартів DVB-H і DVB-T неможлива.

Одночасно передбачається опція додаткової перешкоди, яка реалізована на базі IP дейтаграмм, і що дозволяє в сильній мірі компенсувати відсутність глибокого перемеження.

Інші механізми зовнішнього і внутрішнього кодування використовувани в DVB-T та без зміни перенесені в стандарт DVB-H.

Третє доповнення в стандарт DVB-H торкається транспортної сигналізації (TPS-Transmission Parameter Signalling), в яку додані два біти, наявність відображення в потоці послуг, що передаються у форматі DVB-H, а також наявність додаткового кодозахисту, що реалізовується на базі IP-дейтаграмм.

Четвертим доповненням (стандарт DVB-H) стала можливість використання смуги 5 МГц за умови, що це вона виділяється не в мовному діапазоні. Вона додана до смуг 6, 7 і 8 МГц, що допускається до використання в DVB-T. Її планується застосовувати при розгортанні мереж на основі стандарту DVB-H в США в L-діапазоні (1,670-1,675 ГГц).

Одно з основних відмінностей стандарту DVB-H від DVB-T полягає в тому, що в DVB-H уся інформація повинна передаватися у формі IP-дейтаграмм, що інкапсулюються в транспортні пакети MPEG-2TS з використанням методу багатопротокольної інкапсуляції (MPE-Multi Protocol Encapsulation). Це один з чотирьох методів інкапсуляції пакетів даних в транспортні пакети MPEG-2TS, певних DVB, єдино придатний для передачі поточкових послуг. Схема інкапсуляції (стандарт DVB-H) показана на рис. 6.9.

IP пакети інкапсулюються в MPE секції, а ті, у свою чергу, в транспортні пакети MPEG-2TS, що переносять елементарні потоки.

Кожен IP пакет займає одну MPE секцію, довжина якої практично не коррелирована з місткістю пакетів MPEG-2TS. У одному пакеті може передаватися безліч MPE секцій, і, навпаки, одна секція може займати декілька транспортних пакетів.

Дані, що відносяться до однієї послуги, інкапсулюються в транспортні пакети MPEG-2 з постійним ідентифікаційним номером PID. Використання такого стека обумовлене тим, що в стандарті DVB-H передбачається

передавати ТБ потоки, компресовані ні в MPEG-2, а в ефективніших форматах, в першу чергу, в H.264/AVC (MPEG-4), для яких процес інкапсуляції компресованих аудіо і відео в транспортні пакети MPEG-2TS жорстко не специфікований і зазвичай реалізується якраз через IP/MPE інкапсуляцію. Більше того, DVB-H потенційно розглядається, як складова частина гібридної системи доставки мультимедійних послуг (IPDC).

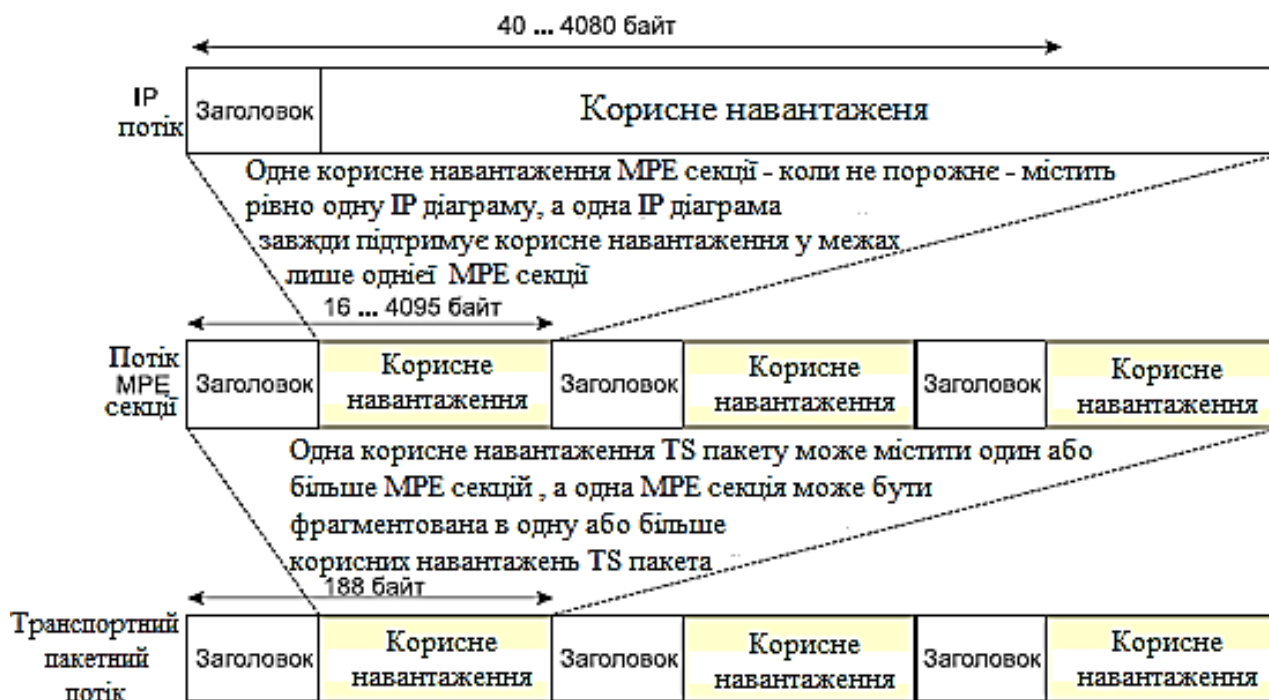


Рисунок 6.9 — Схема інкапсуляції пакетів даних в транспортні пакети MPEG-2TS

У зв'язку з цим, поняття елементарного потоку в стандарті DVB-H визначається інакше, ніж в MPEG-2. У стандарті DVB-H це просто потік, що передається в пакетах з одним PID-ом. Знята жорстка кореляція елементарного потоку з даними певного типу. У одному елементарному потоці можуть передаватися усі дані, що відносяться до визначеної ТБ програми або навіть до декількох програм. У останньому випадку потоки різних ТБ програм передаватимуться в дейтаграммах з різним мультикастовою IP адресою і полягати в MPE секції з різними MAC адресами. Аналогічним чином можуть передаватися і не телевізійні послуги (табл. 6.3).

Екран кишенькового терміналу здатний відтворити картинку з дозволом 1/4 CIF або 1/8 CIF, і для передачі йому ТБ програми залежно від дозволу, системи компресії і динаміки зображення знадобиться смуга 100–300 Кбіт/с. Припустимо, що швидкість мультиплексованого DVB потоку складає 10 Мбіт/с, і в ній розміщені 50 каналів з середньою швидкістю передачі в 200 Кбіт/с, якщо на 100 мс надан увесь канал для передачі однієї програми, то за цей час в приймач є завантажений 1Мбіт інформації, вимагає для

відтворення 5 с. При цьому тюнер має бути активний трохи більше 100 мс, а решта часу він може знаходитися в режимі очікування. Така схема передачі дозволяє економити ресурс акумуляторних батарей на 90–95%.

Таблиця 6.3

Швидкості передачі в системі DVB-H

Тип приймача	Рівень H.264/AVC	Дозвіл відео	Макс. швидкість, Кбіт/с	Типове застосування
A	1	QCIF = 176 x 144, 15 Гц	128	Телефон UMTS
B	1.2	CIF = 352 x 288, 15 Гц	384	Телефон UMTS, КПК
C	2	CIF = 352 x 288, 30 Гц	2.000	Кишеньковий приймач
D	3	SDTV = 720 x 576, 25 Гц	10.000	Телевізор
E	4	HDTV = 1920 x 1080, 25 Гц	20.000	Телевізор

Слід зазначити, що імпульси можуть займати не усю транспортну смугу. Наприклад, при спільній передачі трансляцій в стандартах DVB-H і DVB-T частина смуги буде постійно віддана останньому. В цьому випадку швидкість передачі в кожному слоті буде менше. Максимальний об'єм інформації, що допускається для передачі в одному тимчасовому слоті, обмежений 2Мбайтами.

Не вдаючись до технічних особливостей канального рівня, можна сказати, що сигнали DVB-H можуть бути прийняті і ресіверами DVB-T. Тільки в цьому випадку прийом здійснюватиметься неоптимальним чином. Різними будуть і умови прийому трансляцій стандартів DVB-H і DVB-T. Експериментальні виміри показали, що для досягнення передавачами DVB-H і DVB-T однакової зони охоплення, потужність першого має бути на 20dB (тобто в 100 разів) більше. В той же час, потрібне для стійкого прийому відношення C/N в DVB-H в середньому на 30% нижче, а максимально можлива швидкість руху приймача (наприклад, в автомобілі) — на 40% вище. Для ілюстрації, в таблиці 6.4 приведені розрахункові значення зон покриття для систем стандартів DVB-H і DVB-T при рівних ефективно випромінюваних потужностях.

З таблиці виходить, що радіус зони обслуговування системою DVB-H багато менше, ніж системою DVB-T. В силу цього система DVB-H, як правило, будується за принципом одночастотних мереж (SFN).

**Порівняльні характеристики стандартів DVB-H, DVB-T
і аналогового ТБ**

Вид мовлення	Аналогове	DVB-T		DVB-H
		Колективний	Індивідуальний	
Смуга каналу приймача	8			
Еквівалентна шумова смуга ПШ, МГц	5,75	7,61		
Вид приймального пристрою	Телевізор	Set-Top-Box		Мобільний телефон
Коефіцієнт шуму приймача F, dB	10	5		2,5
Коефіцієнт посилення приймальної антени Ga, dB	16	14	6	-5
Вид прийому	Колективний		Індивідуальний	
Необхідне співвідношення C/Nmin, dB	48	18		4,9
Висота установки передавальної антени H, м	120	60		
Висота установки приймальної антени h, м	15		10	1
Частота, МГц	711,25	714		
Температура довкілля T, °C	20	20	20	20
Шумова температура приймальної антени TA, К	292,2	291,6		
Шумова потужність приймальної системи, dBW	-133,1	-132,4	-128,2	-130,1
Мінімально допустима вхідна потужність приймача, dBW	-85,1	-119,9	-115,7	-124,5
Еквівалентний коефіцієнт шуму приймальної системи, dB	3,24	2,79	6,97	5
Дальність радіовидимості RM, км	61,1	47,9	44,9	36
Мінімально допустимий рівень сигналу на виході антени, dBμV	53,6	24,4	28,6	13,5
Мінімально допустима напруженість поля в точці прийому, dBμV/м	61,1	33,9	46,1	42
Радіус зони покриття R, км	25,1	44	19,8	15

6.4.3 Послуги мобільного телебачення з використанням інфраструктури 3G

До недавнього часу доставка телекомунікаційних послуг була орієнтована на абонентське обладнання. З розширенням спектру послуг були потрібні нові пристрої (наприклад, модеми), а реалізація послуг здійснювалася за вертикальною схемою, тобто для кожної послуги потрібна була окрема інфраструктура. Зараз, коли можна звертатися в декілька мереж

і використати різні комунікаційні пристрої, у тому числі мобільні, така практика надання послуг стає причиною незручностей. Для вирішення цієї проблеми потрібне впровадження універсальної архітектури IP Multimedia Subsystem (IMS).

Універсальна архітектура для послуг IMS (IP Multimedia Subsystem)

Концепція IMS була запропонована форумом 3GPP. 3GPP — проект координації розробки рішень для мереж третього покоління. Ця концепція визначає мережну архітектуру, яка спирається на пакетну транспортну мережу і забезпечує підтримку різних варіантів доступу. Архітектура, у свою чергу, передбачає взаємозв'язок ряду функціональних елементів. Функціональні елементи зв'язуються один з одним за допомогою інтерфейсів. У кожного такого інтерфейсу є своя назва, за якою ховається певний протокол.

Архітектура IMS розроблялася для використання в мережах рухливого зв'язку третього покоління (рис. 6.10). Підтримка протоколу ініціації сеансів зв'язку (SIP) дозволяє використати єдиний підхід до реалізації додатків і здійснення доступу, а також інтегрувати додатки, пропонувані сторонніми компаніями (наприклад, контент-провайдерами). У версіях 6 і 7 3GPP визначена ідеологія здійснення IP-технологій за допомогою системи сигналізації SIP. Відповідно до неї, SIP починається безпосередньо з мобільного терміналу.

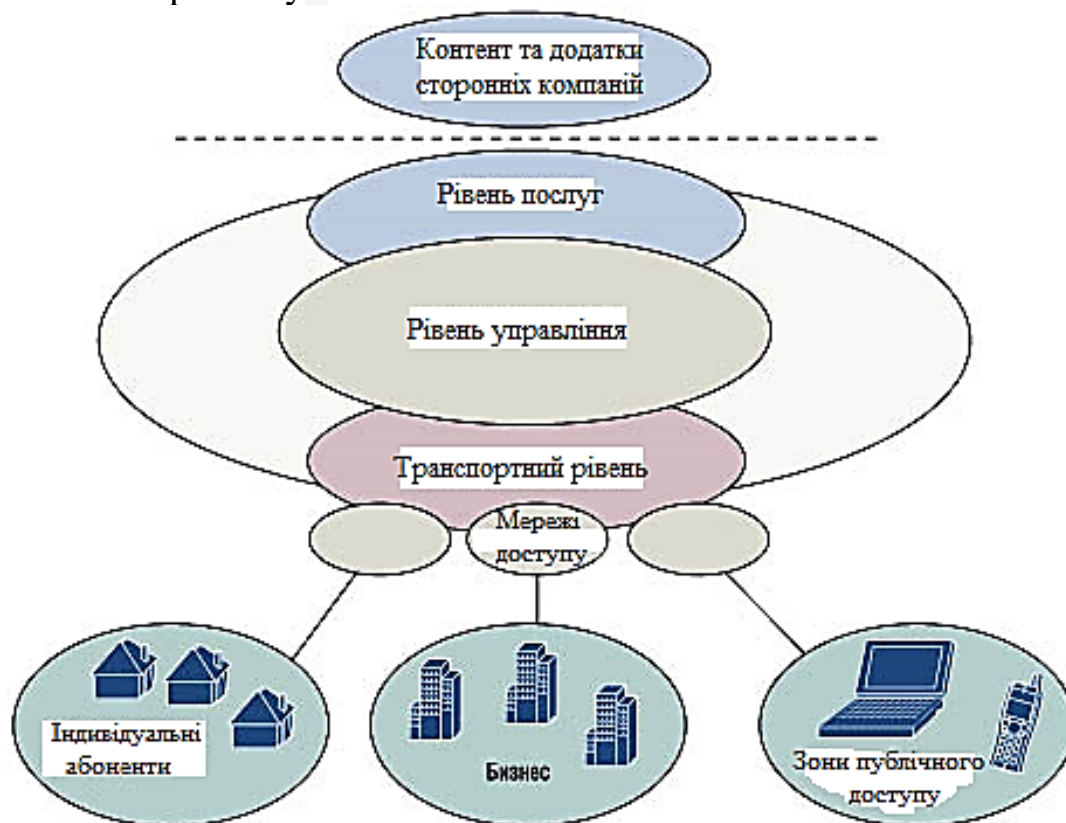


Рисунок 6.10 — Багаторівневий підхід до побудови IMS

В архітектурі IMS визначені декілька функціональних елементів. Наприклад, замість традиційних для мобільних мереж комутаторів MSC використовуються проксируючі елементи, які називаються Proxy — Call Session Control Function.

Як і в GSM, в IMS є інтерфейсні точки, або ж інтерфейси, які зв'язують ці функціональні елементи один з одним. У кожного інтерфейсу є своя назва, і за ним стоїть певний протокол. Найпростіший приклад — інтерфейсна точка ISC, яка зв'язує сервісний проксі з сервером додатків на основі протоколу SIP.

Концепція створення архітектури IMS виявилася настільки вдалою, що деякі органи стандартизації запропонували використати її для мульти-сервісних рішень у своїх секторах ринку (рис. 6.11).

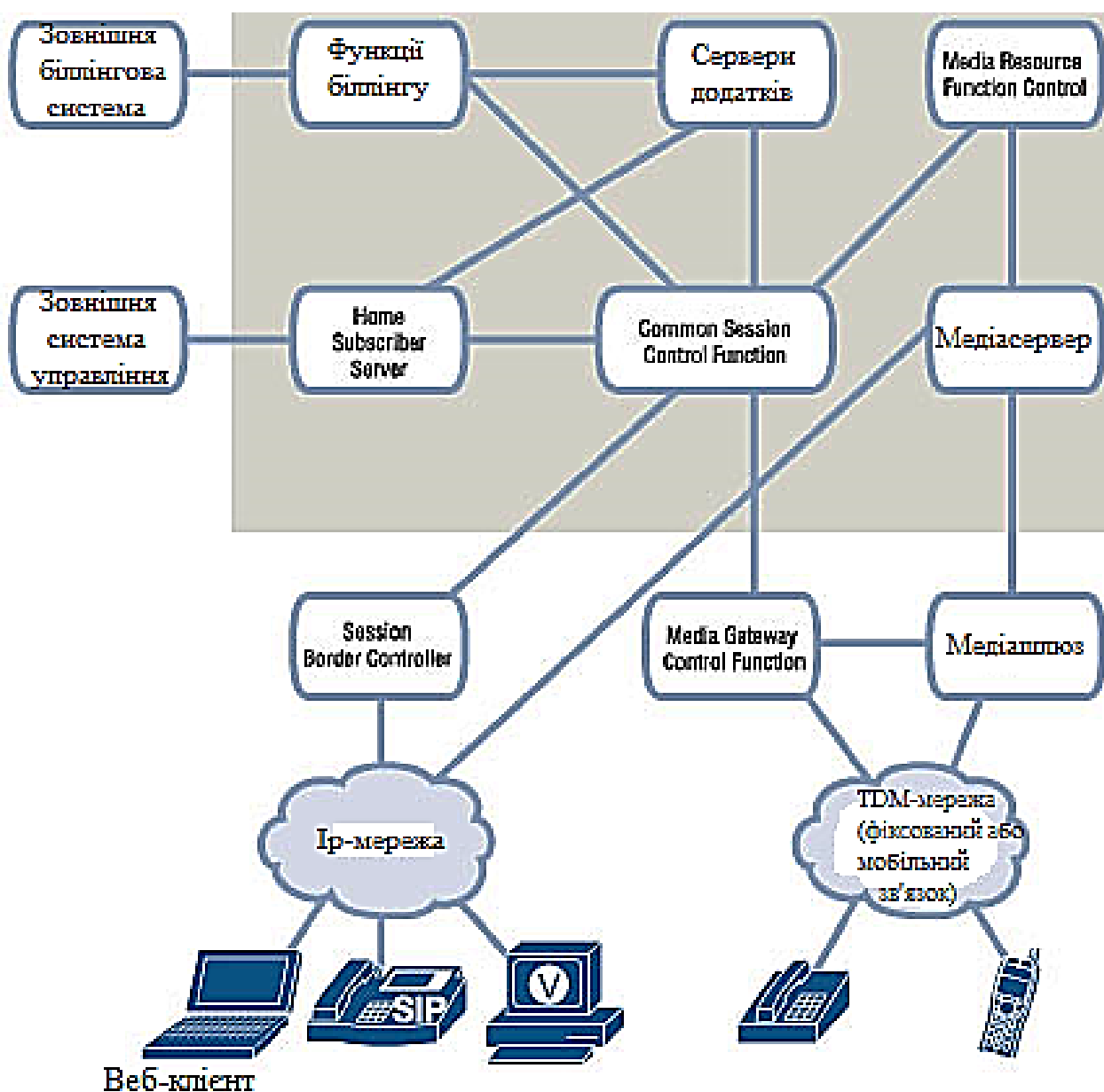


Рисунок 6.11 — Архітектура IMS

Робоча група Європейського інституту за телекомунікаційними стандартами ETSI TSPAN (Telecoms & Internet converged Services & Protocols for Advanced Networks — конверговані телекомунікаційні і Інтернет-сервіси для модернізованих мереж) розробляє специфікації для мереж фіксованого зв'язку, в основному використовуваних в розробках 3GPP. Організація Cable-Labs, розробляюча стандарти для мереж кабельних операторів, в специфікації Fast Cable 2.0 передбачає впровадження SIP.I, що лежить в основі IMS.

Протокол IP визнаний в якості основи для мереж нового покоління, а SIP — в якості інфраструктурного протоколу для доставки додатків. Інтенсивний розвиток великого числа додатків, використовуваних SIP, обумовлює необхідність побудови масштабованої мультисервісної інфраструктури, яка б розділяла транспортний рівень, рівень послуг і рівень управління. Такий сервісний «прошарок» приховує від абонента різницю між послугами, які надаються, наприклад, в мережі безпроводового доступу, і послугами, які надаються в мережі кабельного телебачення або використовують мережі доступу на основі DSL, а також Ethernet.

У концепцію IMS дійсно закладений принцип, відповідно до якого ця архітектура повинна мати можливість для встановлення великого числа сеансів зв'язку, причому абоненти, що беруть участь в цих сеансах, можуть використати різні облаштування доступу. Абонентам пропонуються різного роду послуги, доставка яких ґрунтується на загальному підході.

Зокрема, така архітектура повинна мати можливість для вирішення таких завдань, як реалізація декількох послуг в рамках одного сеансу зв'язку. Так, голосові виклики можуть досить часто супроводжуватися визначенням доступності сторони (послуга присутності), що викликається. При цьому у обслуговуваного абонента не повинно виникати проблем з різними видами термінального обладнання. Зокрема, повинне гарантуватися встановлення сеансу зв'язку в разі, коли використовуваний термінал не має певних функціональних можливостей. Це означає, що при відеотелефонному виклику передбачається можливість його прийому без відеокомпонента, або ж відео перенаправлятиметься на іншій пристрій.

Послуги в процесі одночасного надання повинні розділятися на ті, які вимагають синхронізації (наприклад, синхронізація відео і голосу у відеотелефонії), і на ті, які не вимагають синхронізації (наприклад, відео і чат) [14].

Рівні IMS. Принцип, на якому будується концепція IMS, полягає в тому, що доставка будь-якої послуги жодним способом не співвідноситься з комунікаційною інфраструктурою (за винятком обмежень по пропускну здатності). Втіленням цього принципу є багаторівневий підхід, використовуваний при побудові IMS (рис 6.12). Він дозволяє реалізувати незалежний від технології доступу відкритий механізм доставки послуг, який дає можливість задіяти в мережі додатки сторонніх постачальників послуг.

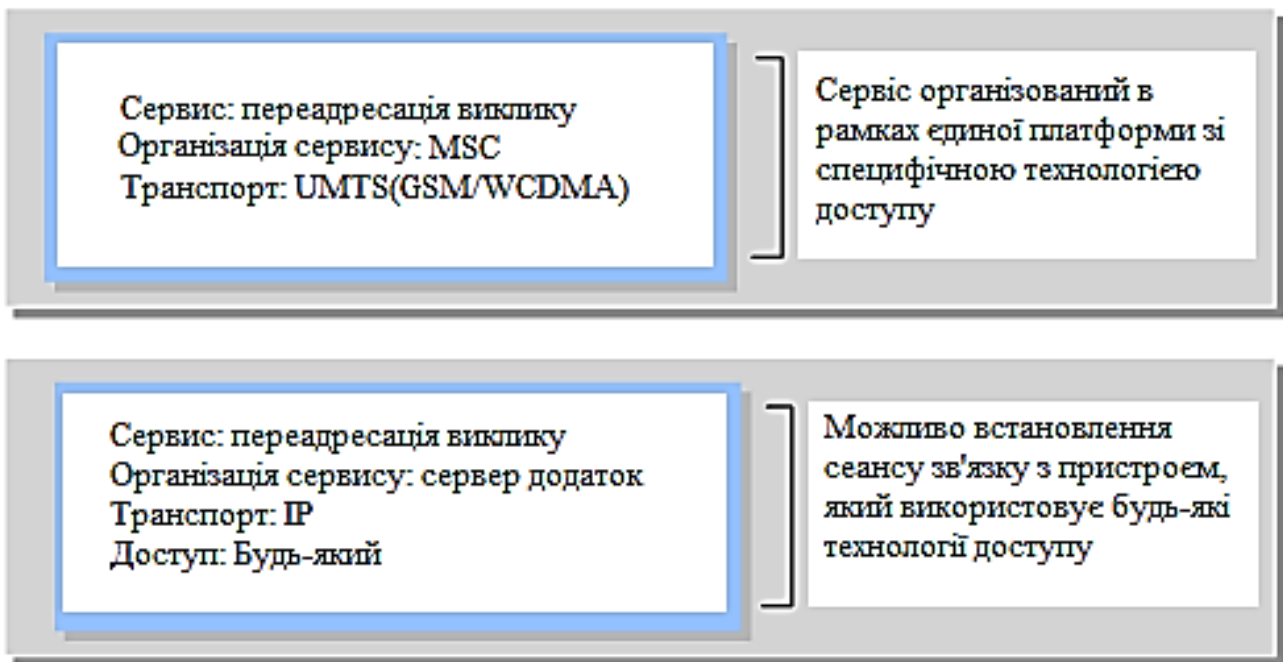


Рисунок 6.12 — Модель інфраструктури IMS

У складі IMS виділяється три рівні: **транспортний** рівень, рівень **управління** і рівень **послуг**.

Транспортний рівень інтегрується з мережами доступу різних типів. Це можуть бути пакетні мережі радіодоступу, такі як GPRS, UMTS, CDMA2000, WLAN, LTE, широкосмугові кабельні і DSL, а також традиційна телефонія з комутацією каналів. З'єднання абонентів з IMS-інфраструктурою в транспортному рівні здійснюється завдяки мобільному терміналу 3G-5G покоління або (що ймовірніше, принаймні, в найближчому майбутньому) за допомогою шлюзів. В межах транспортного рівня визначені декілька функцій шлюзів. В першу чергу, вони повинні забезпечувати взаємодію в місцях стику мереж. Зокрема, Media Gateway Function (MGF) забезпечує роботу медіашлюзу між IMS і мережею традиційної телефонії.

Рівень управління — це сукупність функцій IMS, які здійснюють усі дії з управління сеансами зв'язку. Функція Call Session Control Function (CSCF) задає централізований механізм маршрутизації і визначає політику мережі. Для управління використовується протокол SIP. У роботі CSCF можна виділити три спеціалізовані функції — P-CSCF, I-CSCF і S-CSCF.

Функція P-CSCF (Proxy-CSCF) забезпечує обмін запитами з мобільним терміналом, а також пересилку їх по мережі. Крім того, вона використовується в процесі авторизації ресурсів мережі і встановлення класу обслуговування.

Завдяки I-CSCF (Interrogating-CSCF) реалізуються послуги місця розташування, коли прошена послуга в процесі доставки повинна перетнути декілька доменів IMS.

S-CSCF (Serving-CSCF) визначає механізм маршрутизації для SIP-сигналізації. На його основі відбувається обмін інформацією між абонентами і серверами додатків відповідно до профілю обслуговування, який міститься в домашньому сервері абонента (Home Subscriber Server — HSS).

HSS — один з найважливіших функціональних елементів концепції IMS. Це централізована база даних, в якій знаходиться уся інформація про того або іншого абонента. Такий перелік відомостей про абонента включає місце розташування його домашньої мережі, профіль безпеки і профіль обслуговування, поширюваний на ті послуги, на які абонент підписався.

Особлива роль, яка відводиться такій централізованій базі даних, пояснюється тим, що вона виключає необхідність копіювати інформацію для різних послуг і різних типів мережі доступу. Це можна порівняти з тим, як користувач створює єдиний перелік контактів, організованих за допомогою декількох комунікаційних пристроїв, щоб не створювати такі списки окремо для PDA, мобільного терміналу, домашнього телефону, комп'ютера на робочому місці та домашнього комп'ютера.

На рівні послуг розміщуються сервери додатків (Application Servers — AS). Вони можуть бути декількох типів, у тому числі SIP AS, OSA-SCS і IM-SSF. SIP AS — це сервер додатків суто для IMS. Передбачається, що велика частина, якщо не усі нові послуги, розроблені для IMS, використовуватимуть цей тип сервера. Сервери OSA і IM-SSF призначені для взаємодії з серверами традиційних застосувань, відповідно Open Service Access framework servers і CAMEL (Customized Applications for Mobile network Enhanced Logic).

Розширення IMS-архітектури дає можливість реалізувати набір додаткових послуг (рис. 6.13), використовуючи SIP для додатків з інших середовищ. Наприклад, IP-УАТС і облаштування інтегрованого доступу, як правило, використовують H.323. IMS необхідно забезпечувати сигналізацію в процесі доставки голосу по DSL. Щоб підтримувати такі досить популярні рішення, треба трансформувати в SIP сигналізацію на основі інших протоколів. Для взаємодії мережних середовищ на їх межі повинні знаходитися шлюзи сигналізації.

Абоненти зацікавлені в тому, щоб комунікаційні послуги в ході довгого сеансу зв'язку залишалися доступними при переході з однієї мережі доступу в іншу. Зокрема, мобільний оператор може використати технологію UMA, яка дає можливість розширення зони радіодоступу за рахунок WiFi. Для реалізації такої технології точки доступу WiFi підключаються до контроллера UMA, який представляється мережі звичайним контроллером базової станції. При цьому у абонентів мають бути дворезимні термінали.

Шлюз Map Gateway між IP і традиційним HLR доставляє домашньому реєстру інформацію про те, що цей абонент знаходиться в зоні обслуговування IP з покриттям WiFi.



Рисунок 6.13 — Модель організації послуг

Так само функціонує елемент Media Gateway Control Function в IMS. По суті, управління медіашлюзами і декомпованими крайовими контроллерами сеансів зв'язку — це одне із завдань, що виконуються програмними комутаторами. І це завдання залишається актуальним, оскільки необхідно забезпечувати інтерфейс з телефонією загального користування.

Це дає можливість пропонувати абонентам традиційної телефонії додаткові види обслуговування. Йдеться про всілякі види переадресації, перехоплення, очікування і утримання виклику, які стають доступними абонентам, звичайним аналоговим телефоном, що користується, з тоновим набором. Але сучасні мультимедійні послуги таким абонентам надаватися не можуть. Для доступу до цих послуг застосовуються різного роду термінали, у тому числі «сет-топ-бокси», програмні клієнти, IP-телефони з багатофункціональними екранами.

Архітектура IMS представляє одно з найбільш перспективних напрямів розвитку телекомунікацій. Ця архітектура дозволяє встановлювати складні сеанси зв'язку, в ході яких надаються різноманітні послуги. При цьому використовуються відкриті стандарти, що визначають взаємодію різних елементів мережі, а також використання технологій фіксованого зв'язку і радіодоступу.

Спираючись на результати проведеного дослідження, фахівці компанії ABI Research прогнозують, що IMS розгорнуть усі провайдери першого рівня. Відповідно, вони здійснюватимуть надання SIP-послуг. За даними іншої компанії (Forrester Research), повною мірою переваги IMS стануть в 2022–2025 роках, у міру ширшого впровадження цієї архітектури [14, 6].

Як вже вказувалося вище, IMS — це платформа впровадження послуг на базі IP, і кількість цих послуг обмежується лише інтересом з боку абонентів і фантазією розробників. Неможливо перерахувати усі послуги на базі IMS, тим паче, що вони виникають щодня і безперервно удосконалюються. Ключовим чинником стимулювання попиту на додаткові послуги є простота використання і якість з'єднання. Абоненти цінують простоту використання і готові платити за зрозумілу і доступну послугу. Вони цінують послуги з єдиним інтерфейсом і можливістю доступу до них з різноманітних терміналів (PC, фіксовані/мобільні телефони, TV і так далі).

Розглянемо послуги, деякі з яких вже впроваджені на мережах операторів [15].

Push-to-talk over Cellular (PoC) була першою послугою, що використовує архітектуру IMS, за котру серйозно і широко заговорили. PoC — це послуга, працююча в напівдуплексному (half-duplex — один говорить всі слухають) режимі, коли абонент може виходити в ефір шляхом простого натиснення кнопки або вибору іконки. Основна перевага від цієї послуги — можливість «групового виклику» тобто спілкування за принципом «один — багато». Послуга адресована, в перш чергу, підприємствам, сім'ям, групам друзів або невеликим співтовариствам. Використовуючи платформу IMS, можна організувати голосовий виклик (як груповий, так і поодинокий) між мобільним телефоном і комп'ютером, підключеним до IP-мережі за умови установки на комп'ютері програмного забезпечення того, що підтримує функції PoC.

weShare — найнаочніший приклад конвергенції послуг, в яких комбінуються різні медіа-середовища: голос, відео і графіка. weShare на основі IMS дозволяє абонентам мобільної мережі обмінюватися зображеннями або відео-фрагментами безпосередньо під час розмови без припинення з'єднання. Цей сервіс робить спілкування абонентів ефективнішим, цікавішим і наочнішим забезпечуючи звичайному голосовому зв'язку візуальну підтримку. Так бізнесмен може відправити своєму співрозмовникові панорамну фотографію будівлі під час обговорення контракту на його оренду.

Використання weShare цінно для операторів тим, що приведе до збільшення ARPU за рахунок надання ширших можливостей комунікацій групам абонентів.

Instant messaging (Обмін повідомленнями) і Chat (чат) — дуже широко поширені послуги в Інтернет. Додаток Instant messaging або Chat встановлює сеанс між двома або більше абонентами мобільної мережі. Вони домовляються про початок сеансу, обмінюються повідомленнями під час його в режимі on-line, а потім завершують сеанс. Так само, як і у разі PoC, при використанні платформи IMS можливо організувати обмін повідомленнями між мобільним телефоном і комп'ютером, підключеним

до IP-мережі, за умови установки на комп'ютері програмного забезпечення, що підтримує функції Instant Messaging або Chat.

Функціонально — багатий додаток Instant Messaging і Chat, що базується на IMS, дозволить операторам надавати мобільним користувачам послуги, аналогічні існуючим популярним Інтернет-додаткам.

File Transfer — послуга з передачі файлів з одного пристрою на інший. Файл може бути переданий або отриманий як з комп'ютера, так і з мобільного телефону. Файл може передаватися одному або декільком абонентам. Ця послуга широко поширена в Інтернеті. Проте користувачі стають усе більш мобільними, і їм важливо мати можливість відправки і прийому інформації з будь-якого місця і у будь-який час. IMS дозволяє організувати послугу так, що користувач отримуватиме послугу, незалежно від того, з якого терміналу — із смартфона, ПК — він здійснює роботу з додатком. Найбільший інтерес подібна послуга може представляти для бізнес-абонентів, для яких обмін інформацією в електронному вигляді, — листи, договори, рахунки, звіти, графіки — має велике значення, особливо якщо це можна робити з мобільного телефону. Файли можуть вирушати або прийматися з ПК або смартфона.

Shared URL (weShare URL). Ця послуга дозволяє абонентові відправляти посилання на Інтернет-сторінку (використовуючи «drag and drop» на ПК або комунікатор), що переглядається, одному або декільком абонентам, як поза сеансом, так і під час його (так званий instant messaging). Посилання може бути відправлене з коментарями. Отримане посилання приходить у форматі «highlighted», тобто одержувач може відразу її вибрати з вікна повідомлень для перегляда.

Whiteboard. Це застосування є графічним розрахованим на багато користувачів інструментом в режимі annotation/mark — ур. Учасники сеансу можуть в реальному часі спільно редагувати документи, використовуючи інструменти редагування, а також створювати бібліотеку інструментів редагування і малювання. Все, що робиться одним учасником сеансу, бачать on — line усі інші. Також можливо імпортувати готові сторінки або GIF, JPEG, AutoCAD DXF файли, що дозволяє користувачеві редагувати або переглядати їх з іншими учасниками спільно в режимі реального часу. WhiteBoard дуже корисний як інструмент для спільного створення/редагування документів нині широко використовується у бізнес-середовищі або розваг і спілкування в молодіжному середовищі.

Ігри. Платформа IMS (зокрема компанії Ерикссон) включає набір розважальних застосувань і ігор. Ігрові сеанси можуть відбуватися одночасно з іншими медіа-сесіями (PoC, text chat, video). Основним критерієм при відборі ігор була можливість їх реалізації за допомогою IMS-технологій, таких як PoC і messaging. В основному використовуються ігри, що

вимагають обмеженої ширини смуги для того, щоб вони не заважали роботі інших IMS додатків. Користувачеві не важливо, яка технологія використовується для реалізації тієї або іншої гри, важлива лише, в що грати і з ким.

IP Voice and Multimedia. Це застосування реалізує послуги з передачі голосу або даних на базі IMS, тобто через IP. Завдяки використанню як транспорт IP-середовища є можливість зробити послуги з передачі голосу незвичайно гнучкими і доповнити їх новими функціями. Це застосування має 3 вигляд послуг-personal, messaging і multimedia. В рамках персонального пакету абонент матиме доступ до традиційних послугам фіксованих мереж по передачі голосу, як те: call forwarding, call waiting та ін. Окрім цього, у користувача буде персональний web-портал, через який здійснюватиметься управління цими послугами. Зважаючи, що IMS є універсальною платформою для IP-додатків, послуги для кінцевих користувачів будуть доступні на IP-телефонах, ПК або смартфонах (в адаптованому по можливостям терміналі). В messaging-пакет включені такі послуги, як ящик голосової пошти, індикація очікуючого повідомлення і інші.

За допомогою мультимедіа-пакету користувач дістає доступ до послуг IP-мультимедіа, таким як відеотелефонія, «присутність» (Presence) і Instant Messaging. Це застосування дозволяє використати додаткові послуги і голосовий зв'язок одночасно, а також багату функціональність VoIP на базі SIP. При цьому, маючи рішення на базі IMS із загальними основними елементами і стандартними інтерфейсами, оператор отримує конвергенцію послуг і можливість понизити показники CAPEX/OPEX.

IP Centrex з мобільним доступом. Одним з найбільш актуальних і прибуткових сегментів для IP-послуг є ринок бізнес-користувачів. Система IMS пропонує рішення IP Centrex з великою функціональністю, націлене як на великі підприємства, так і на малий і середній бізнес. IP Centrex — це аналог офісної АТС, але аналог набагато досконаліший і функціонально багатіший аналог, який об'єднує доступ до набору послуг як з мережі фіксованого зв'язку так і з мережі мобільного зв'язку. IP Centrex має в розпорядженні повний набір персональних і групових послуг, а крім того — такою мультимедійною підтримкою, як відео-зв'язок, конференції, спільна робота над документом в реальному часі, «присутність», instant messaging, e-mail і підтримка видалених абонентів. Ця послуга дійсно дозволяє використати мобільний телефон як продовження внутрішньокорпоративної мережі (PBX). Це відкриває можливість для компаній забезпечити свого співробітника одним телефоном, загальним номером і поштовою скринькою на усі випадки життя, що дозволить економити як на обладнанні, так і на різних підписах для працівників.

«Converged TV» — це концепція, що дозволяє користувачам виводити контент, додатки, а також послуги комунікацій P2P на екран телевізора/

монітора, приєднаний через фіксовану або мобільну мережу. Із-за обмежень по ширині смуги інформація виглядатиме по-різному на різних терміналах.

З повномасштабною системою Converged TV оператор дістає можливість створити безліч привабливих послуг. При цьому не можна недооцінювати важливість горизонтальної архітектури, що дозволяє робити загальною максимальну кількість функцій незалежно від способу доступу до послуги. Для постачальників контенту/агрегаторів, що використовують як мобільні так і фіксовані IPTV канали, також відкриваються перспективи додаткового бізнесу і доходів. Прихильність послугі зростатиме, коли одні і ті ж можливості можна буде отримати незалежно від терміналу або способу доступу. Зменшення витрат на кодування, шифрування і поширення приведе до істотної економії.

Мобільне телебачення. Мобільне телебачення — це послуга, що надає можливість власникам мобільних телефонів, смартфонів або інших пристроїв з підключенням до мобільної мережі, дивитися телепередачі і трансляції, що доставляються за допомогою мобільних інфокомунікаційних мереж, в режимі онлайн на екрані мобільного телефону [9, 10, 11].

Послуги мобільного телебачення першої черги. Звичайно, «широкомовне ТБ» або ретрансляція ТБ каналів і сервіси NVD (майже видео-по-запросу) є сьогодні основою бізнесу. Абсолютна більшість зарубіжних провайдерів мобільного ТБ розпочинають доки саме з таких послуг. Програмне наповнення усіх основних проектів розрізняється мало: спорт, новини і дитячий контент. Бізнес-моделі провайдерів розрізняються в деталях: наявність радіопрограм, у деяких є програми, не закриті системою умовного доступу (Free-to-Air), а також способами підписки. Одна тільки червона кнопка, активізуюча доступ до послуги на телефонах від TIM (Італія), дорогого коштує.

Обов'язковим доповненням до власного телебачення являється інформація до відео у вигляді електронного гіда по послугах (ESG). ESG — не просто аналог EPG в цифровому телевізійному мовленні, його головна відмінність полягає в тому, що вже у базовій конфігурації фактично усі проекти мобільного телебачення надають ті або інші інтерактивні сервіси. За створення ESG відповідають генератори ESG таблиць. Такі рішення є частиною платформи мобільного телебачення, будучи при цьому стандартизовані відповідними комітетами DVB-H і DVB-IPDC (IP datacasting). Сумісність з останнім означає стандартизацію не лише в частині ESG, але і протоколах доставки контенту, форматі PSI/SI таблиць, і робить впровадження конвергентних послуг ще ближче. Сучасні ESG генератори можуть централізований обслуговувати декілька регіонів з різним набором сервісів.

До базових послуг інтерактивного телебачення можна віднести голосування глядачів, push-сервіси і попереднє сповіщення.

Інтерактивні ТБ програми, де абонент може проголосувати, посиляючи SMS, стають все більш і більш популярними. Платформа інтерактивного телебачення обробляє SMS, інформацію, що містить, про голосування абонента, і автоматично додає у відповідну статистику. У сучасних платформах IPTV, таких як Thomson SmartCast Mobility, провайдер за допомогою модуля Voting manager сам створює сервіс «Голосування» і додає його до інших ТБ послуг. Перед початком голосування Voting manager оновлює ТБ сервіс і автоматично створює необхідні матеріали. У кінці голосування Voting manager оновлює ТБ сервіс і видаляє голосування і його опції. Абоненти можуть проголосувати за одну опцію поточного голосування незалежно від способу голосування — через HTTP або посилкою SMS. Вміст SMS перенаправляється на платформу через HTTP запит. Результати поточного голосування можуть бути проглянуті через призначений для користувача web-портал.

Голосування може бути також здійснене через з'єднання до Web-сторінці, в цьому випадку можливе використання 3G-5G мереж операторів. Завантажуваний Push — Content (Push-VOD, новини і так далі) означає, що медіафайл впродовж певного часу вирушає на ваш термінал з сервера зберігання. Абонент може вибрати з каталогу необхідний контент (наприклад, відеокліп) або глобальніший сервіс (наприклад, новини дня). Через SmartVision Mobility™ він автоматично прийме замовлений контент на свій термінал і зможе його проглянути навіть в режимі offline.

Абонент може підписатися на текстові новини, це надасть йому доступ до останніх новин з усього каталогу. Для створення контенту для цього сервісу провайдер завантажує файли на сервер Provisioning Storage Area (PSA) через FTP. Для доставки цього файлу абонентові файл транслюватиметься в мережі DVB-H з використанням протоколу FLUTE. Користувачі можуть декларувати як сервісні провайдери і можуть діставати доступ для закачування свого контенту на сервер через FTP.

Існує послуга сповіщення через SMS-SMS Alert, вона ж SMS-reminder. Послуга SMS Alert дає можливість операторові розсилати повідомлення абонентів, об'єднаних в групи по тематичних інтересах. Абоненти можуть підписуватися на конкретні теми з призначеного для користувача порталу (наприклад, повідомлення про початок все тих же футбольних матчів). Адміністратор може створювати ці теми і привласнювати їм різні події, а також змінити або видалити тему. При створенні теми в сервісній платформі абоненти можуть діставати до неї доступ. Абоненти можуть підписуватися або знімати підписку; таким чином, вони можуть бути повідомлені про тип подій.

Послугами, а також ставками в тоталізаторі або електронними парі, перелік реально працюючих послуг в мережах провайдерів DVB-H і вичерпується. Пояснюється це відносно низькою пропускною спроможністю в частині

передачі даних в нинішніх мережах мобільного зв'язку. Тут особливі надії покладаються на мережі нового покоління, через конвергенцію з якими сервіси мобільного телебачення повинні вийти на принципово новий рівень.

6.4.4 Інтеграція системи DVB-H і сучасних технологій доступу до контенту цифрового ТБ

Найчастіше виробники і розробники приділяють увагу спільній роботі терміналів мобільного і стаціонарного прийому телепередач, тобто конвергенції з іншими технологіями поширення цифрового платного ТБ (DVB-C, DVB-S, DVB-T, IPTV). Можливості сучасних платформ мобільного телебачення дозволяють запропонувати найдивовижніші поєднання:

– **Follow-me services.** Клієнт може почати перегляд програми на своєму терміналі DVB-H, у разі зайнятості скористатися функцією time-shift і пізніше додивитися її на стаціонарному пристрої (ТБ, ПК). Тобто почали дивитися футбол в тролейбусі, виходячи з нього, натиснули на цей самий time-shift на 35-ій хвилині матчу, а телевизор у вітальні дбайливо відновить репортаж саме з 35-ої хвилини. Зовні громіздка послуга є лише командою set-top box у вітальні: почати запис і поставити «прапорець» у визначеному місці трансляції;

– **Інтерактивний канал замовлень.** Це канал, що складається з уривків фільмів, що віщаються в DVB-H. Коли абонент вирішує, який фільм він хоче подивитися, то натискає «гарячу кнопку» на своєму мобільному приймачі. Замовлене відео буде доступне через його set-top box при стаціонарному телевізорі;

– **Remote self care** дає можливість клієнтам дистанційно замовити зі свого STB (set-top box) з жорстким диском контент для перегляду на своєму DVB-H терміналі;

– **Content sharing.** Залежно від додатка клієнти можуть дивитися 3G-5G відеозаписів як через термінал у вітальні, так і на 3G-5G телефонах. Тобто це теж випадок персональної трансляції через інфраструктуру 3G-5G мереж;

– **Network PVR.** Цей сервіс вже апробований провайдерами інтерактивного телебачення і дозволяє використати функції мережевого відеоманітофона на мобільному терміналі (rewind, pause або запис прямого ефіру (record live programs));

– **Participation TV** реалізує ідею власного мовлення. Це відправка абонентом мобільного зв'язку створеного ним контенту (відео, текст, фото, графіка) на певну групу терміналів (широкомовна послуга).

Таким чином, розробники платформ інтерактивного телебачення вже готові до найнесподіваніших бажань клієнтів, і в цих умовах особливо важливим є створення ефективних інструментів доступу до послуг, як для провайдера, так і для передплатника. Сучасні сервісні платформи пропо-

нують можливість гнучкого створення індивідуальних клієнтських порталів самообслуговування для клієнтів, які дозволяють користувачам управляти їх профілем і підписками видалено через PC або через WAP-з'єднання. Портал може бути використаний в режимі вільного доступу без логіна і пароля для рекламних цілей.

У порталі самообслуговування абонент матиме доступ до наступної інформації:

Список каналів або пакет програм, доступних з їх повним описом;

EPG зі списком усіх програм, які транслюватимуться на усіх каналах з доступом до детальної інформації за програмою:

- Список pay-per-event програм, на які можлива підписка;
- Опис усіх доступних інтерактивних сервісів;
- Контактна інформація для посилки повідомлень оператора;
- Документація, що відноситься до усіх пропозицій;

Основою успішного розвитку проекту мобільного мовлення є не просто можливості і технічний потенціал платформи інтерактивного телебачення, але і рівень її орієнтації на майбутніх клієнтів. У «конвергентних» послугах нового покоління закладена значна комерційна надмірність, і щонайменше утруднення в способі їх споживання може негативно позначитися і на конкретному сервісі, і на проекті в цілому.

6.5 Параметри ефективності і якості технології мобільного телебачення в мережах мобільного зв'язку стандарту UMTS

Стосовно мереж мобільного зв'язку стандарту UMTS необхідно досліджувати технологію MBMS (Multimedia Broadcast and Multicast Service), розроблену в робочих групах Партнерського проекту по мережах третього покоління 3GPP. Технологія MBMS ґрунтована на трансляції мультимедіа контенту одночасно декільком одержувачам по одному каналу мовлення. Як канал мовлення використовується канал мережі мобільного зв'язку.

Для MBMS передбачені два режими мовлення: Broadcast — широкомовний режим усім користувачам в певній зоні і Multicast — групове мовлення тільки певній групі абонентів, які підписані на цю послугу. Послуга MBMS в мережах CDMA носить назву **Broadcast Multicast Service (BCMCS)**.

6.5.1 Особливості технології мовлення MBMS в мережах мобільного зв'язку

Сьогодні якість мультимедіа мовлення в мережах мобільного зв'язку досить низька, а вартість послуги висока. Це пов'язано, в першу чергу, з неефективним використанням ресурсів мережі в режимі unicast (point-to-point).

Технології, використовувані в MBMS, дозволяють оптимізувати використання мережевих ресурсів внаслідок виділення одного каналу мовлення

декільком абонентам. Головним елементом в архітектурі мережі мобільного зв'язку для надання послуги MBMS являється центр BM-SC (Broadcast Multicast Service Center) [16], який, у свою чергу, підключається до базової мережі оператора через шлюз GPRS (GGSN). Центр BM-SC здійснює функції обробки запитів користувачів, ініціації, управління і припинення з'єднання, а також може виступати в ролі вхідної точки для третьої сторони (контент-провайдера), що бажає надавати свої послуги через систему MBMS мовлення оператора.

MBMS розроблялася для мереж 3G, але завдяки технології EDGE може бути реалізована і в мережах 2,5G. Використовуючи базову IP-мережу оператора, в якій вже реалізоване індивідуальне мультимедіа мовлення за запитом, MBMS дозволяє на тих же технічних потужностях і з тією ж швидкістю реалізувати мультимедійне мовлення відразу декільком абонентам, різко знижуючи собівартість послуги.

Технологія MBMS не залежить від мережі радіодоступу (рис. 6.14). Єдиним обмеженням є можливість виділення необхідного ресурсу мережі радіодоступу під канали MBMS.

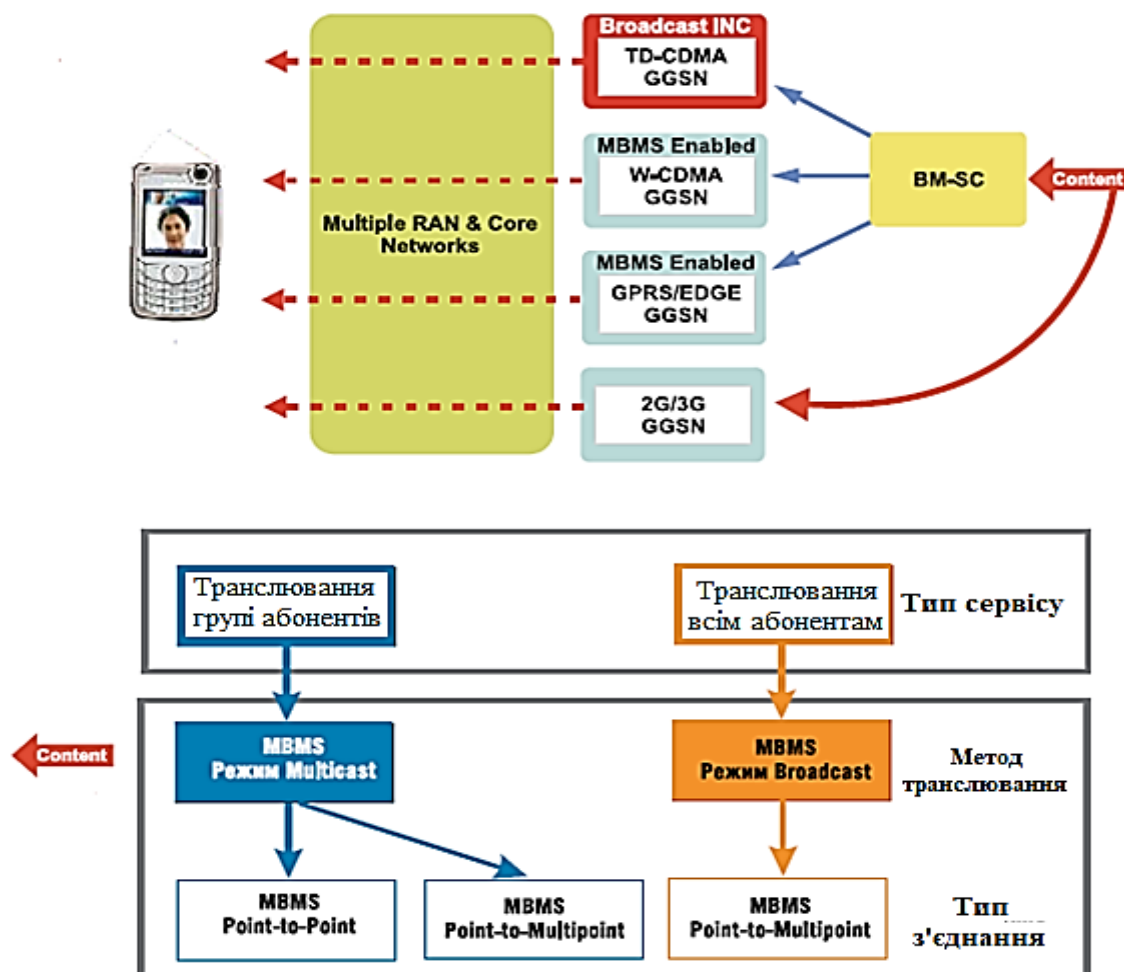


Рисунок 6.14 — Узагальнена схема і режими роботи системи мовлення з використанням технології MBMS

У мережі UMTS для технології MBMS введені нові канали (таблиця 6.4) [17].

При використанні технології MBMS, згідно 6 версії специфікацій 3GPP, один осередок в смузі 5 МГц може підтримувати до 16 MBMS каналів типу точка-багатоточка (випадку, якщо використовується термінал з однією приемо-передаючою антеною).

При цьому користувачеві надається швидкість передачі даних 64 Кбіт/сек по каналу мовлення. У WCDMA для MBMS введені спеціальні канали [5].

Таблиця 6.4

Спеціалізовані канали мовлення в UMTS, введені 3GPP

Найменування каналу	Тип каналу	Пояснення
MICH (MBMS notification Indicator Channel)	фізичний	фізичний канал, інформуючий абонентський термінал (АТ) про усі зміни інформації каналу MCCH
MCCH (MBMS point-to-multipoint Control Channel)	логічний	логічний канал управління, надаючий АТ дані нових і існуючих MBMS сесій
MTCH (MBMS point-to-multipoint Traffic Channel)	логічний	логічний канал, використовуваний для передачі цих MBMS застосувань
MSCH (MBMS point-to-multipoint Scheduling Channel)	логічний	логічний канал, використовуваний для передачі інформації про канал MTCH
HS-DSCH(HighSpeed Downlink Shared Channel)	фізичний	Високошвидкісний виділеною канал в низхідній лінії зв'язку
DCH (Dedicated Control Channel)	фізичний	Виділений канал передачі даних
FACH (Forward Access Channel)	фізичний	Вторинний канал з поєднаним управлінням

Технологія MBMS дозволяє оптимізувати завантаження мережі і заціпає функціонування мережі радіодоступу RAN і базовій мережі CN. Для з'єднань multicast передбачається використання двох режимів:

- Broadcast mode — широкомовний режим для мовлення усім абонентам, що знаходяться в зоні мовлення;
- Multicast mode — режим мовлення групі абонентів відповідно до підписки.

Використання режиму PTM (point-to-multipoint) значно оптимізує використання ресурсів мережі (рис. 6.15–6.16).

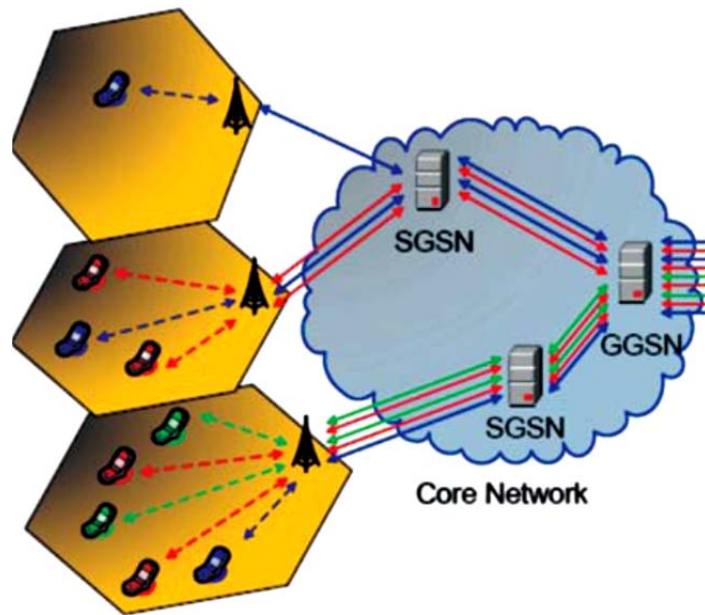


Рисунок 6.15 — Оптимальне використання ресурсів мережі мобільного зв'язку при MBMS в режимі PTM. Мовлення Unicast (точка-точка)

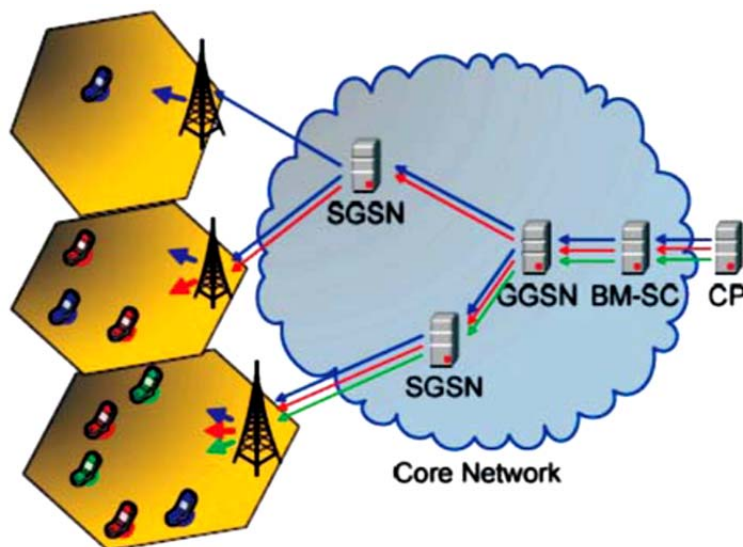


Рисунок 6.16 — Оптимальне використання ресурсів мережі мобільного зв'язку при MBMS в режимі PTM. Мовлення Multicast (точка-багатоточка)

Архітектура MBMS реалізована з використанням двох інтерфейсів (рис. 6.17), що комутують шлюз GGSN і сервер мовлення BM-SC:

- інтерфейс Gi для передачі даних мовлення;
- інтерфейс Gmb для передачі інформації, що управляє.

Передача інформації, що управляє, по інтерфейсу Gmb реалізована за допомогою протоколу DIAMETER (рис. 6.18).

Для передачі інформації мовлення використовується протокол передачі даних в реальному часі RTP (рис. 6.19).

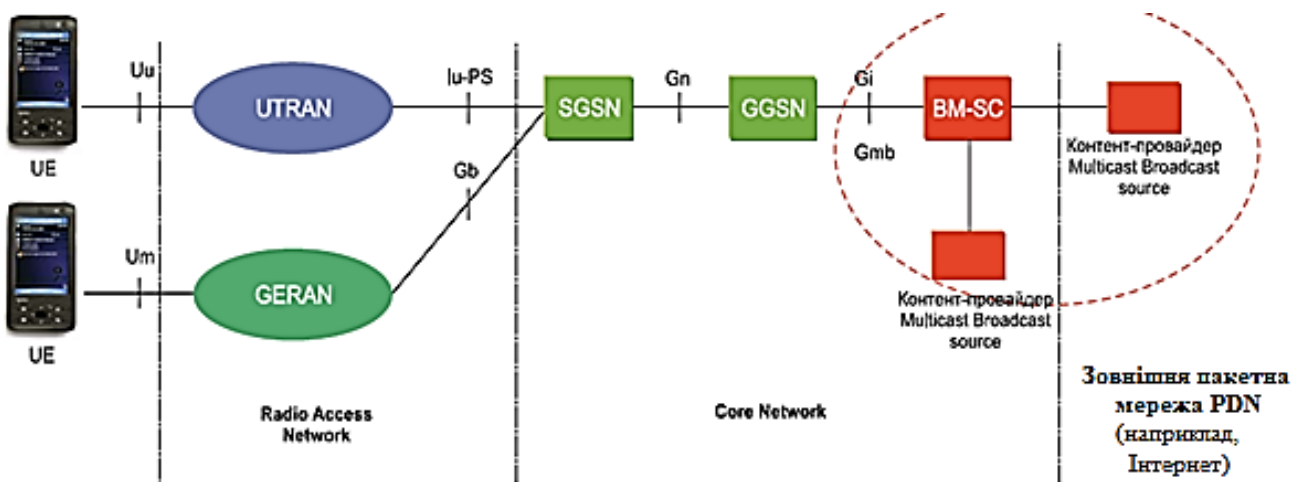


Рисунок 6.17 — Архітектура мережі UMTS з режимом MBMS

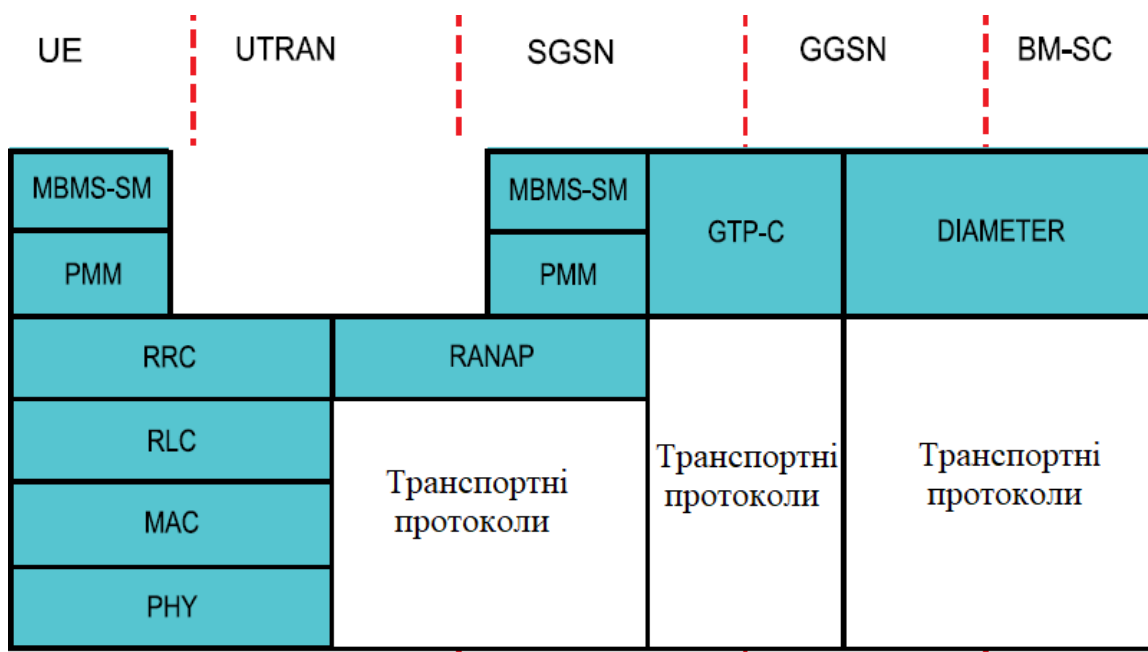


Рисунок 6.18 — Протоколи площини управління MBMS (Control plane)

В якості BM-SC може використовуватися як було вище відмічено платформа IMS, що має наступні властивості:

- висока продуктивність і масштабованість;
- підтримка різних технологій DRM (SDC Java DRM, MSFT DRM, OMAx, Adobe і так далі);
- підтримка різних форматів мовлення (WMA, ACC+, MP2, MP3, MP4, Ogg Vorbis);
- підтримка різних каналів мовлення (мобільні, фіксовані, Інтернет);
- мовлення на різне призначене для користувача устаткування (телефони, PDA, PC, компактні плеєри STB);
- підтримка різне мультимедіа контенту (аудіо, відео, «шпалери» (wallpaper));
- автоматичне форматування і завантаження контенту [15].

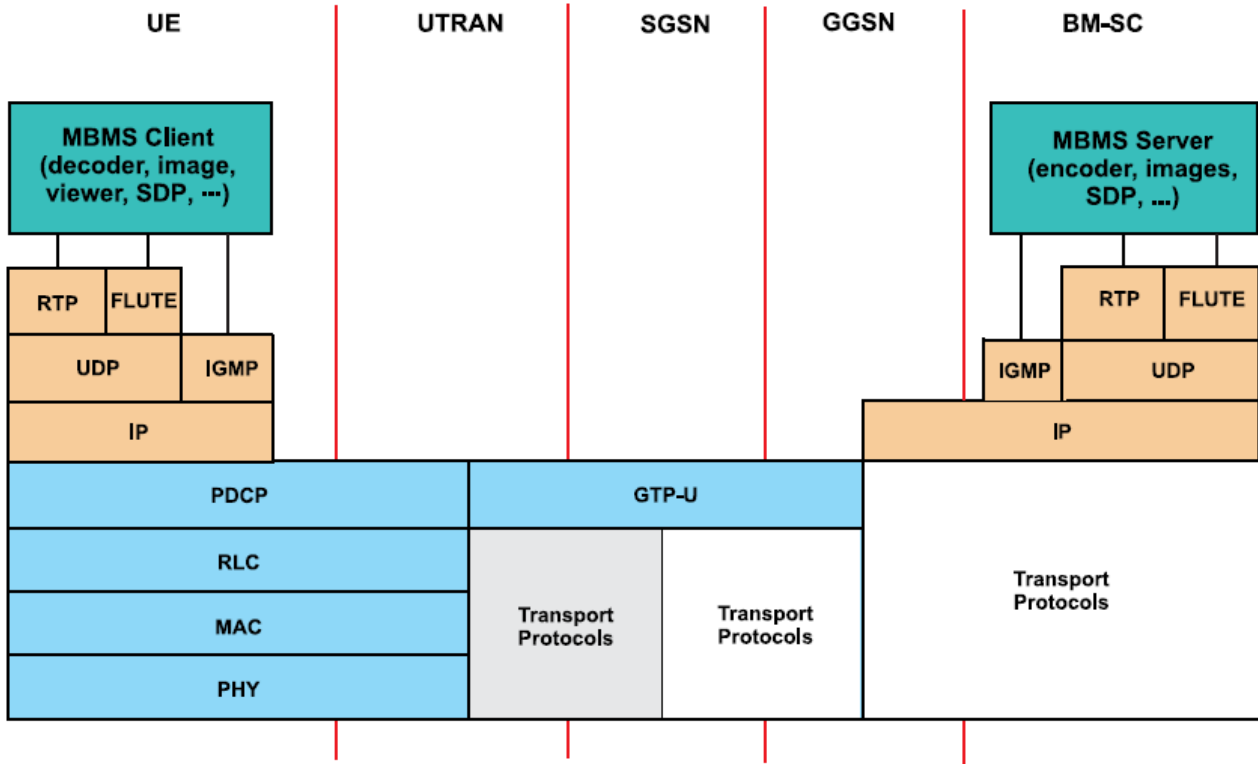


Рисунок 6.19 — Протоколи площини користувача MBMS (User plane)

У найближчій перспективі абонентам мереж мобільного зв'язку буде запропоновано безліч послуг, ґрунтованих на використанні технології MBMS. Це, передусім, пов'язано зі швидкими темпами впровадження мереж 3G-5G. Крім того, в розробці мереж мобільного зв'язку наступного покоління LTE технології MBMS приділяється особлива увага. Успіх використання MBMS на телекомунікаційному ринку визначається гнучкістю бізнес-моделей, що максимально враховують потреби абонентів:

- використання різних варіантів оплати послуги: гнучка підписка абонентів на послуги за часом і вартості, підписка на певний тип контенту;
- використання комерційної моделі super — distribution для поширення мобільного цифрового контенту на основі використання підходу P2P за умови дотримання авторських прав провайдера контенту. Ця технологія розширює канал розподілу і дозволяє використати мережу з більшою вигодою, у тому числі за рахунок скорочення витрат на рекламу.

Модель поширення:

- користувач цієї послуги може відправляти дані (телефонні мелодії, музику, відеокліпи, статті, фільми, інтерактивні ігри і програми) іншим людям через MMS, Bluetooth або іншими способами. Потім одержувач може активувати контент, запросивши через SMS ключ активації у провайдера контенту або оператора мобільної мережі. Користувачі, що поширюють контент іншим користувачам, отримують від оператора винагороду за схемою розділення доходів або у формі накопичувальних окулярів;

– організація доступу до контенту через ММС-карти. Користувачеві надається пре-контент на ММС-карті. Маючи спеціальне застосування, користувач (навіть знаходячись не в мережі, наприклад, в метро) може проглянути (наприклад, відеоролик впродовж 30 сек) і замовити контент. Скачування відбувається автоматично. Автоматичне завантаження контенту в пам'ять телефону за умови підписки абонента та ін.

Відмітимо головні особливості технології HSDPA (таблиця 6.1), які мають відношення до стандарту мобільного телебачення третього покоління (MBMS).

До таких особливостей можна віднести:

– наявність спеціального низхідного високошвидкісного каналу HS-DSCH (HighSpeed Downlink Shared Channel) з мультикодовою передачею цих різних користувачів і динамічним перерозподілом ресурсів між ними. Канал має загальний фіксований коефіцієнт розширення спектру сигналу, рівний 16 (у наших позначеннях $G_p = 16$), що може забезпечити потенційно до 15 призначених для користувача каналів;

– постійність потужності випромінювання базової станції зважаючи на відсутність її динамічного регулювання (у відмінність WCDMA). Замість швидкого регулювання потужності при HSDPA використані адаптивна схема модуляції і кодування і процедура швидкого запиту повторень пакетів передаваних даних;

– відсутність хэндовера і, отже, відсутність енергетичного виграшу від нього. Для пояснення слід коротко помітити, що MS здійснює хэндовер паралельно по каналах DPCH (Physical Channel) в режимі «звичайного» WCDMA; — обмеженість доступних канальних кодів для організації необхідних службових каналів високошвидкісного режиму HS-SSCH (High Speed Shared Control Channel) і каналів DPCH [20, 21].

6.5.2 Кількісна оцінка енергетичних і швидкісних характеристик радіоінтерфейсу UMTS

Кількісну оцінку енергетичних і швидкісних характеристик радіоінтерфейсу зручно здійснювати з використанням завантаження мережі [18, 19].

Відомо, що необхідна якість сервісу (послуги), що надається, визначається відношенням сигнал/шум на вході приймача. Для послуги мобільного телебачення (MBMS), що надається j -му користувачеві, відношення сигнал/шум в низхідному каналі (DL) UMTS визначається з умови:

$$\left(\frac{E_b}{N_o}\right)_j \leq \frac{\left(\frac{P_j \cdot G_{BSj} \cdot G_{MSj}}{L(d_j)}\right) \cdot \frac{1}{v_j}}{P_N + \frac{P \sum_{othj}}{L(d_{mj})} + \alpha_j \cdot \left(\frac{P \sum_{-P_j \cdot G_{BSj} \cdot G_{MSj}}}{L(d_j)}\right)} \cdot G_{pj}, \quad (6.1)$$

де $(E_b/N_0)_j$ — відношення енергії сигналу на біт до спектральної щільності шуму на вході приймача j -го користувача, потрібне для забезпечення заданої якості послуги (наприклад, для заданої вірогідності помилки на біт);

$\left(\frac{P_j \cdot G_{BSj} \cdot G_{MSj}}{L(d_j)} \right)$ — потужність корисного сигналу на вході приймача j -го

користувача, яка визначається потужністю випромінювання базової станції (BS) для цього користувача P_j , коефіцієнтами посилення антен BS і мобільній станції (MS) G_{BSj} та G_{MSj} відповідно, а також втратами на трасі поширення сигналу $L_{(dj)}$, залежними від видалення d MS від базової станції;

v_j — коефіцієнт активності j -го абонента ($v = 0,67$ — для мови з урахуванням 50%-й активності і додаткових витрат на режим переривчастої мови DTX, $v = 1,0$ — для передачі відео-даних). У (6.1) цей параметр використовується для усереднювання потужності випромінювання BS на інтервалі передачі;

$G_{pj} = W/R_j$ — виграш за рахунок розширення спектру сигналу (залежить від виду послуги), рівний коефіцієнту розширення SF, який вказує на кількість ортогональних каналних кодів (W — швидкість передачі (чїп/с) — для UMTS $W = 3,84$ Мчїп/з, R — швидкість передачі даних (біт/с) для j -го абонента;

α_j — коефіцієнт ортогональності коду j -го каналу, залежить від багатопромінності в каналі ($\alpha = 0$ сигналів ортогональні, $0 < \alpha < 1$ — сигнали «менш ортогональні»). Средній коефіцієнт ортогональності для з'єднання з рухливим абонентом $\alpha = 0,6$ і $\alpha = 0,2$ — для з'єднання з пішоходом);

P_N — потужність шуму в приймачі MS;

$P_\Sigma = \sum_{j=1}^N P_j$ — сумарна потужність випромінювання BS, потрібна для N -ак-

тивних каналів (користувачів); P_{othj} — сумарні перешкоди від сусідніх осередків мережі UMTS на вході приймача j -й MS.

При розрахунках зручно використати параметр ЕІВП (ефективна ізотропна випромінювана потужність):

$$\text{ЕІВП}_j = P_j^e = P_j \cdot G_{BSj}. \quad (6.2)$$

Тоді, зважаючи на той факт, що коефіцієнт посилення антени використовуваних сьогодні MS близький до одиниці, вираження (6.1) запишемо в наступному виді:

$$\left(\frac{E_b}{N_o} \right)_j \leq \frac{\left(\frac{P_j^e}{L(d_j)} \right) \cdot \frac{1}{v_j}}{P_N + \frac{P_{\sum othj}}{L(d_{mj})} + \alpha_j \cdot \left(\frac{P_{\sum -Pe - P_j^e}}{L(d_j)} \right)} \cdot G_{pj}. \quad (6.3)$$

Далі для зручності обліку втрат від сусідніх осередків доцільно ввести деякий параметр i , що характеризує відношення сумарної потужності випромінювання усіх BS сусідніх осередків $P_{\Sigma_{othj}}$ при усереднених втратах на трасі поширення сигналів $L(d_{mj})$ до сумарної потужності випромінювання BS власного осередку на вході приймача j -го користувача:

$$i = \frac{P_{\Sigma_{othj}}}{\alpha \cdot P^e} \cdot \frac{L(d_j)}{L(d_{mj})}. \quad (6.4)$$

Після перетворень, з (6.3) з обліком (6.4) отримаємо вираження для ЕІВП BS в каналі DL, яку потрібно для j -го користувача, видаленого на відстані d_j і одержуючого послугу із швидкістю передачі даних R_j і якістю, яка забезпечується за рахунок відношення сигнал/шум на вході приймача (E_b/N_0):

$$P_j^e \geq L(d_j) \cdot \frac{P_N + \alpha \cdot \frac{P_j^e}{L(d_j)} \cdot (1+i)}{\frac{G_{pj}}{\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_j \cdot v_j} + \alpha}. \quad (6.5)$$

Тоді сумарна ЕІВП базової станції, потрібна для N призначених для користувача каналів, буде рівна

$$P_{\Sigma}^e = \sum_{j=1}^N P_j^e \geq \sum_{j=1}^N L(d_j) \cdot \frac{P_N}{\frac{G_{pj}}{\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_j \cdot v_j} + \alpha} \geq 1 - \sum_{j=1}^N \frac{\alpha(1+i)}{\frac{G_{pj}}{\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_j \cdot v_j} + \alpha}. \quad (6.6)$$

Отримане вираження визначає значення ЕІВП базовій станції BS, необхідну для організації N призначених для користувача каналів з необхідним рівнем сигналу на вході приймача, з урахуванням енергетичного запасу, необхідного для компенсації перешкод від сусідніх осередків (параметр i) і компенсації втрат із-за неортогональності кодів (параметр α). Але в той же час, необхідні рівні сигналу для призначених для користувача каналів, що створюються сумарною ЕІВП базової станції P_{Σ}^e , одночасно є i внутрісистемними перешкодами на вході приймача j -го користувача.

З (7.6) витікає, що рівень цих перешкод залежить від таких параметрів радіоканалу, як необхідне відношення сигнал/шум на вході приймача (E_b/N_0) кожного користувача і виграшу по енергетиці (G_p) за рахунок розширення спектру сигналу, т. е., по суті, від характеру послуги, що надається, а також від втрат $L(d)$ на трасі між BS (передавачем) і MS (приймачем),

т. е. від віддаленості користувачів від базової станції. Це у свою чергу змушує мати в ресурсі радіоканалу запас по енергетиці, рівний зростанню рівня внутрісистемних перешкод.

Як відзначалося раніше, кількісно допустимий рівень внутрісистемних перешкод в радіоканалах UMTS може бути визначений за допомогою коефіцієнта завантаження осередку [19] мережі η_{DL} , який дорівнює сумі в знаменнику вираження (6.6) і задає необхідний запас по енергетиці на компенсацію цих перешкод:

$$\eta_{DL} = \sum_{j=1}^N \frac{\alpha \cdot (1+i)}{\frac{G_{Pj}}{\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_j} \cdot v_j} + \alpha. \quad (6.7)$$

З урахуванням цього, вираження (6.6) можна представити в наступному виді:

$$P_N^e \geq \frac{P_N}{1 - \eta_{DL}} \cdot \sum_{j=1}^N L(d_j) \cdot \frac{1}{\frac{G_{Pj}}{\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_j} \cdot v_j} + \alpha. \quad (6.8)$$

Фізично коефіцієнт η_{DL} характеризує перевищення Δl внутрісистемними перешкодами теплового шуму в приймачі:

$$\Delta l = \frac{1}{(1 - \eta_{DL})}. \quad (6.9)$$

Ця залежність показана на рис. 6.20.

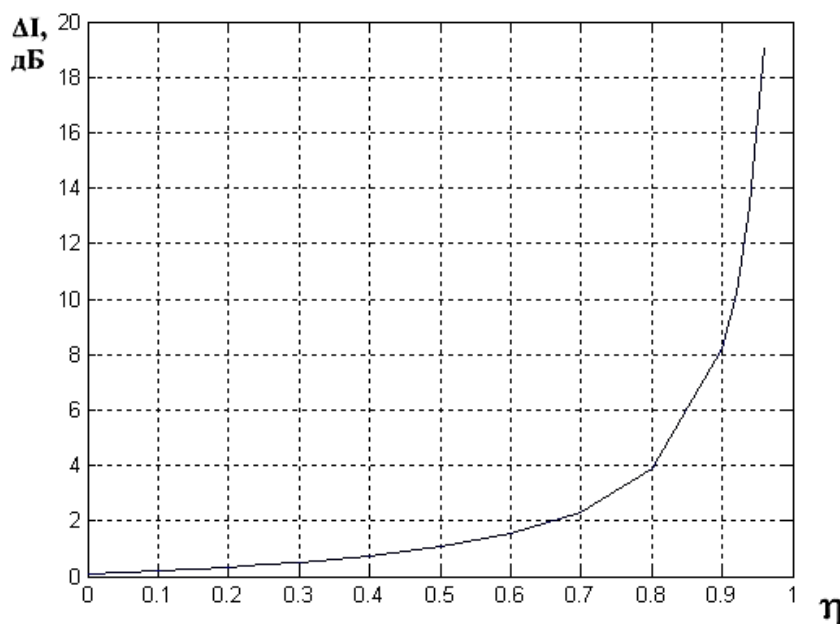


Рисунок 6.20 — Графік залежності зростання внутрісистемних перешкод від завантаження мережі UMTS

Коефіцієнт завантаження η_{DL} осередки (6.6) не може перевищувати одиницю при розрахунку еквівалентної ЕІВП BS.

Тому необхідно виконати умову:

$$\sum_{j=1}^N \frac{\alpha(1+i)}{\frac{G_{Pj}}{\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_j} + \alpha} \leq 1, \quad (6.10)$$

яка після перетворення можна представити у виді:

$$\sum_{j=1}^N \frac{1}{\frac{G_{Pj}}{\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_j} + \alpha} \leq \frac{1}{\alpha \cdot (1+i)}. \quad (6.11)$$

Умову (6.11) можна трактувати як обмеження, що накладаються на кількість допустимих призначених для користувача каналів в N осередку. Це обмеження обумовлене необхідністю дотримання балансу між необхідним енергетичним ресурсом для каналів з конкретними характеристиками і виникаючими внутрісистемними перешкодами. Ця умова може бути використана і для визначення допустимого числа призначених для користувача каналів при HSDPA.

Отримані співвідношення описують динамічний характер радіоінтерфейсу UMTS і можуть бути використані для попередньої аналітичної оцінки кількості можливих кодових (призначених для користувача) каналів і сумарної пропускної спроможності осередку при різних швидкостях передачі даних в каналі користувача. Крім того, вони дозволяють оцінити радіус зони охоплення осередку при заданій максимальній потужності передавача базової станції (чи введеного параметра ЕІВП) і заданих коефіцієнтах посилення передавальної і приймальної антен, а також оцінити зміну розміру осередків мережі UMTS при обмеженнях потужності випромінювання базової станції за умовами ЕМС. Остання обставина обумовлює особливість планування і оцінки параметрів мережі HSDPA

6.5.3 Кількісна оцінка енергетичних і швидкісних характеристик радіоінтерфейсу мережі HSDPA

На відміну від «звичайного» WCDMA (Rel'99 і Rel'4), де енергетичний ресурс каналів DL макро-осередку визначає допустимі втрати на трасі поширення сигналу, тобто зону охоплення осередку, при HSDPA цей ресурс визначає, головним чином, пропускну спроможність в межах цієї зони. Це означає, що при плануванні мережі HSDPA визначається максимальна зона охоплення осередку по висхідних каналах (UL) DPCH-UL, а по ресурсу

HSDPA — максимальна пропускна спроможність в ній [21]. Враховуючи перераховані особливості і використовуючи отримані вище співвідношення, визначимо ряд параметрів осередки HSDPA, які є найбільш значимими на етапі попередньої оцінки параметрів мереж і визначення умов електромагнітної сумісності (EMC). Вважаємо, що при HSDPA всі N які призначені для користувача каналів ідентичні. На підставі цього перетворимо базові співвідношення (6.9) і (6.11) до виду:

$$\sum_{P^e} \geq \frac{P_N}{1 - \eta_{DL}} \cdot N \cdot \left[L(d_j) \cdot \frac{1}{\frac{16}{\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_j \cdot v_j} + \alpha} \right], \quad (6.12)$$

Звідки:

$$N \leq \frac{1}{(1+i)} \cdot \left[\frac{16}{\alpha \cdot \left(\frac{E_b}{N_0}\right) \cdot v} + 1 \right]. \quad (6.13)$$

З (6.13) витікає, що допустима кількість призначених для користувача каналів DL обернено пропорційно до коефіцієнта ортогональності каналних кодів (познизити цю негативну залежність можна застосуванням алгоритмів розрахованого на багато користувачів детектування), активності користувачів, необхідному відношенню сигнал/шум і рівню впливу сусідніх осередків (познизити цей вплив можна за рахунок секторних або адаптивних антен).

6.6 Перспективи розвитку мобільного телебачення

6.6.1 Широкополосні системи передачі даних в технологіях мобільного телебачення

Мобільний зв'язок демонструє зниження динаміки зростання унаслідок кінцівки абонентської бази, що знаходиться в зоні охоплення, але продовжує нарощувати функціональні можливості інфраструктури. Коли мобільні оператори добудують свої мережі 3G-5G, сервіси VoIP стануть і для них справжнім внеском у розвиток нових технологій з відкритими операційними системами на терміналах і комунікаторах. Назріла необхідність диверсифікації сервісу, причому орієнтованого на клієнта.

Проблеми, аналогічні «голосовим», неминуче виникнуть і в ТБ-сегменті. У епоху, коли спори навколо пропускної спроможності IP-мереж ведуться

навколо масової доставки HDTV, недоречними стають питання пропуску не лише голосового трафіку, але трафіку традиційного ТБ-мовлення. І оператори мереж кабельного ТБ з додатковими послугами ширококутної передачі даних (ШПД) реально спостерігають, як з їх ресурсів самим затребуваним стає саме ШПД. І «незручність» дивитися ТБ на екрані мобільного терміналу дуже скоро вирішуватиметься простим високошвидкісним підключенням терміналу до Інтернету, де будуть і якість, і інтерактивність, і персоналізація.

Інфокомунікаційні тренди диктують, що відтепер і надалі операторам зв'язку належить працювати з людьми, згрупованими по інтересах, або ж самим групувати їх по інтересах, займаючись маркетингом «залучення». Всесвітня мережа Інтернет створює новий єдиний простір для інформаційного обміну, співпраці і торгівлі на базі Internet of Things. IoT — це стан Інтернету починаючи з моменту часу, коли кількість «речей або об'єктів», підключених до Всесвітньої мережі, перевищує населення планети. Кількість підключених пристроїв на одну людину з числа Інтернет-користувачів в 2022 році составит навколо 7 од.

Це нова реальність, в якій безпосередність і оперативність телевізійних і голосових повідомлень поєднується з глибиною і змістовністю, властивих повідомленням письмовим. У такої реальності є дві особливості, що відрізняють її від традиційних технологій: по-перше, з її допомогою відшукується потрібна інформація; по-друге, вона дозволяє об'єднувати людей в групи по інтересах (у тому числі і по бізнес-інтересах). І ця реальність має серйозні наслідки, бо на догоду їй відбувається реконструкція галузі зв'язку: масово будуються мережі NGN, покращується якість IP-комунікацій, нестримно розвивається ширококутний доступ (ШСД) і поширюється набір інфокомунікаційних сервісів.

Модель «економіки трафіку» стає неспроможною перед «економікою сервісу», домінуючою в web- просторі і генеруючою, за різними оцінками, в 5–8 разів більші доходи, ніж доходи безпосередньо від ШСД.

Таким чином, вирішуючи глобальні технічні завдання по підвищенню продуктивності, ефективності, керованості і транспарентності мереж, сучасні зв'язківці готують базу для виходу на ринок інфокомунікацій цілої армії нових постачальників послуг і додатків, яким належить «кувати» майбутні успіхи галузі. Ось там, в сервісному шарі, і йтиме основне інфокомунікаційне життя, боротьба ідей, війна за абонентів, конкуренція.

Майбутнє — за додатками, за розширенням набору сервісів і профілів абонентів. Приміром, в цьому сенсі iPhone — знакова бізнес-модель для усієї індустрії, і попит на неї і її аналоги говорить сам за себе. Втім, одні займаються генерацією нових сервісів, інші ж втрачають доходи. За сьогоднішнім небажанням Телекомів займатися «непрофільними» послугами ховається, як було показано вище, серйозна небезпека втрати і «профільних» доходів.

У частині ШСД спостерігається гостра конкуренція, яка знижує тарифи. А ще з'явилися технології, дозволяючі сервіс-провайдерам створювати в Мережі привабливіші цілеспрямовані рекламні майданчики, що дозволяє компенсувати витрати на ШСД за рахунок залучення рекламних грошей (ринок яких в грошовому вираженні у декілька разів більше ринку ШСД). Схожа схема працює в ТБ-мовленні.

Що стосується структури мереж майбутнього, то сучасний мережевий сегмент рано чи пізно буде перетворений у витонченішу і простішу форму на базі ALL-IP (рис. 6.21).

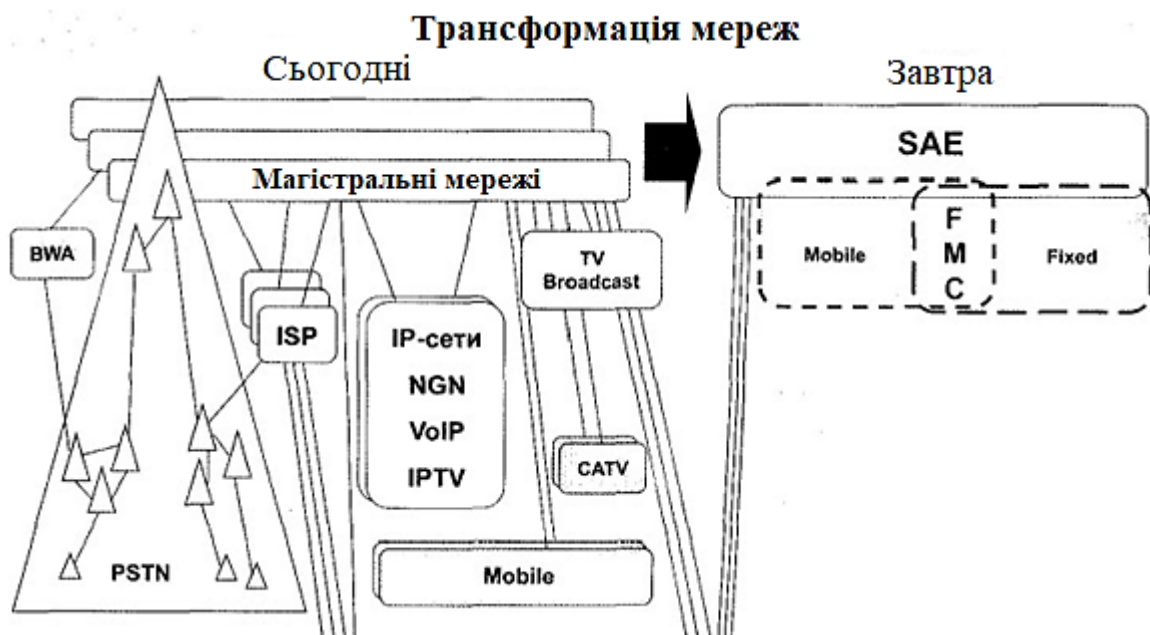
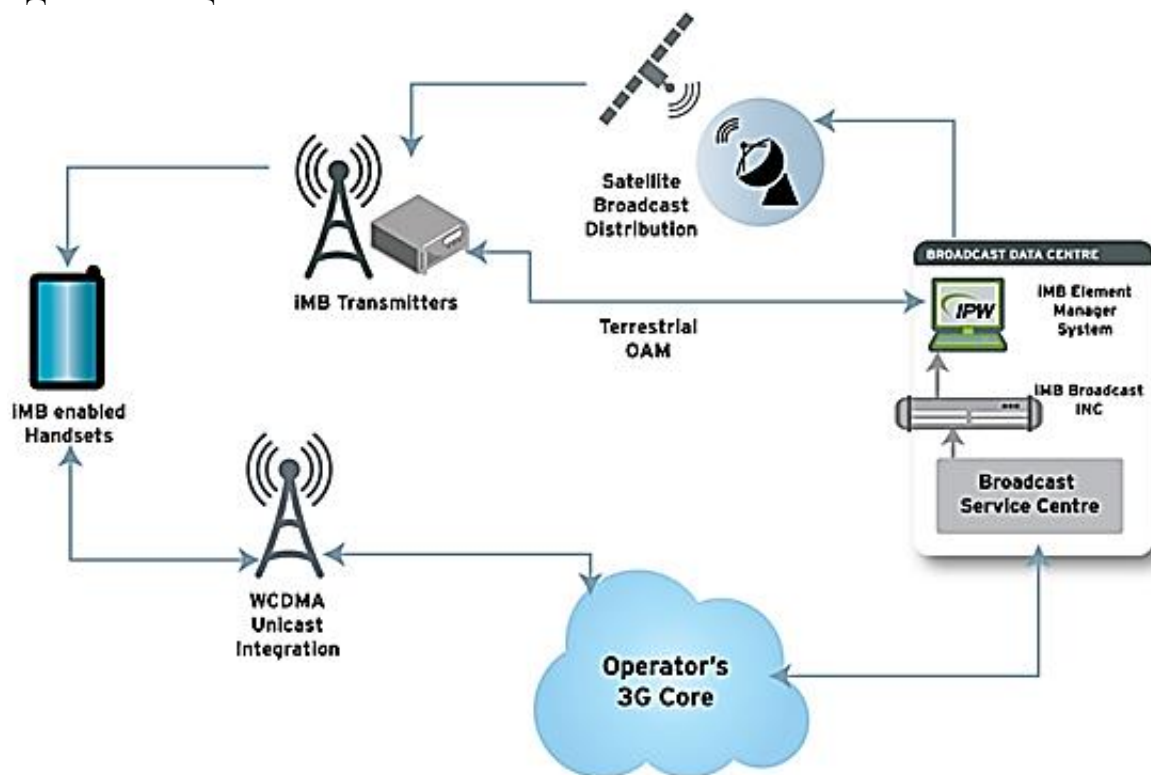


Рисунок 6.21 — Структура мереж майбутнього на базі ALL-IP

За допомогою злиття двох технологій мобільного телебачення в мережах 3G-5G покоління DVB-H і MBMS можна організувати різні інтерактивні послуги [9, 13].

Обов'язковим доповненням до телебачення є інформація до відео у вигляді електронного гіда по послугах (Environmental, social and governance, ESG). ESG-не просто аналог EPG в цифровому телевізійному мовленні, його головна відмінність полягає в тому, що вже у базовій конфігурації фактично усі проекти мобільного телебачення надають ті або інші інтерактивні сервіси. За створення ESG відповідають відповідні генератори ESG таблиць. Такі рішення є частиною платформи мобільного телебачення, будучи при цьому стандартизовані відповідними комітетами DVB-H і DVB-IPDC (IP datacasting). Сумісність з останнім означає стандартизацію не лише в частині ESG, але і протоколах доставки контенту, форматі PSI/SI таблиць, і робить впровадження конвергентних послуг ще ближче (рис. 6.22). Сучасні ESG генератори можуть централізований обслуговувати

декілька регіонів з різним набором сервісів. До базових послуг інтерактивного телебачення можна віднести голосування глядачів, push-сервіси і попереднє сповіщення.



IPWireless IMB Network Configuration

Рисунок 6.22 — Конфігурація 3G мережі ТБ

Інтерактивні ТБ програми, де абонент може проголосувати, посилаючи SMS, стають все більш і більш популярними. Платформа інтерактивного телебачення обробляє SMS, інформацію, що містить, про голосування абонента, і автоматично додає у відповідну статистику. У сучасних платформах IPTV, таких як Thomson SmartCast Mobility, провайдер за допомогою модуля Voting manager сам створює сервіс «Голосування» і додає його до інших ТБ послугам. Перед початком голосування Voting manager оновлює ТБ сервіс і автоматично створює необхідні матеріали.

У кінці голосування Voting manager оновлює ТБ сервіс і видаляє голосування і його опції. Абоненти можуть проголосувати за одну опцію поточного голосування незалежно від способу голосування — через HTTP або посилкою SMS. SMS передається на платформу через HTTP запит. Результати поточного голосування можуть бути проглянуті через призначений для користувача web-портал.

Голосування може бути також здійснене через з'єднання до Web-сторінці, в цьому випадку можливе використання 3G мереж оператора. Завантажуваний Push-Content (Push-VOD, новини і так далі) означає, що медіафайл впродовж певного часу вирушає на ваш термінал з сервера зберігання.

Абонент може вибрати з каталогу необхідний контент (наприклад, відео-кліп) або глобальніший сервіс (наприклад, новини дня). Через SmartVision Mobility™ він автоматично прийме замовлений контент на свій термінал і зможе його проглянути навіть в режимі off line.

Абонент може підписатися на текстові новини, це надасть йому доступ до останніх новин з усього каталогу. Для створення контенту для цього сервісу провайдер завантажує файли на сервер Provisioning Storage Area (PSA) через FTP. Для доставки цього файлу абонентові файл транслюватиметься в мережі DVB-H з використанням протоколу FLUTE. Користувачі можуть декларувати як сервісні провайдери і можуть діставати доступ для закачування свого контенту на сервер через FTP.

Існує послуга сповіщення через SMS-SMS Alert, вона ж SMS-reminder. Послуга SMS Alert дає можливість операторові розсилати повідомлення абонентів, об'єднаних в групи по тематичних інтересах. Абоненти можуть підписуватися на конкретні теми з призначеного для користувача порталу (наприклад, повідомлення про початок все тих же футбольних матчів). Адміністратор може створювати ці теми і привласнювати їм різні події, а також змінити або видалити тему. При створенні теми в сервісній платформі абоненти можуть діставати до неї доступ. Абоненти можуть підписуватися або знімати підписку; таким чином, вони можуть бути повідомлені про тип подій.

Послугами, а також ставками в тоталізаторі або електронними парі, перелік реально працюючих послуг в мережах провайдерів DVB-H і вичерпується. Пояснюється це відносно низькою пропускнуою спроможністю в частині передачі даних в нинішніх мережах мобільного зв'язку. Тут особливі надії покладаються на мережі нового покоління, через конвергенцію з якими сервіси мобільного телебачення повинні вийти на принципово новий рівень [12, 13].

6.6.2 Використання мережі WiMAX, як середовища передачі мобільного телебачення

Асоціація по Міжнародній взаємодії для Сприяння Мікрохвильовому Доступу (WiMAX) пропонує рішення для безпроводових мереж, яке зокрема здатне підтримувати послуги IPTV. Достоїнства мереж WiMAX полягають в здатності передавати дані з великими швидкостями і на значні відстані, а також в здатності працювати в умовах «відсутності прямої видимості» (NLOS) як в смугах частот, що ліцензуються, так і не вимагаючих ліцензування. Ширина смуги радіоканалу піддається регулюванню і масштабується. Інші позитивні якості — це досягнення повної конфіденційності передаваної інформації і мобільність, що проявляється в здатності працювати при швидкостях взаємного переміщення базової станції

і станції передплатника, властивих переважній більшості засобів пересування. Витрати на інсталяцію систем WiMAX складають малу долю від витрат на монтаж дротяних мереж.

Якщо скористатися усіма цими перевагами повною мірою, то побудована на основі WiMAX мережа IPTV може стати високорентабельною при збереженні високої якості передачі цих відео і аудіо. Передача телебачення по мережах Інтернет (IPTV) стала популярною, оскільки вона надає користувачам можливість отримання необхідного контенту тоді, коли це їм треба. Наступним кроком буде забезпечення можливості надання цього контенту у будь-якому місці, де можуть знаходитися користувачі. Традиційні дротяні мережі доступу здатні доставити контент тільки до нерухомих пунктів. Для доставки контенту мобільним користувачам потрібні нові технології.

Технологія WiMAX, ґрунтована на стандартах IEEE802.16-2004 і IEEE802.16e-2005, призначена для стаціонарного і мобільного безпроводного доступу у базових мережах передачі даних (MAN, Metropolitan Area Network). Вона може забезпечити швидкості передачі даних до 70 Мбіт/сек, зону покриття радіусом більше 30Км, а також забезпечити надійну доставку контенту мобільним користувачам, що переміщуються на яких-небудь засобах пересування.

Метод управління доступом до середовища WiMAX (MAC) підтримує послуги реального часу (rtPS), які гарантують надання необхідної смуги пропускання і мінімальний час очікування для послуг відео за допомогою програми забезпечення якості обслуговування (QoS). У мережах WiMAX використовується метод ортогонального частотного мультиплексування (OFDM) і множинний доступ на основі ортогонального розділення по частоті (OFDMA) на фізичному рівні (PHY), які допомагають протидіювати завагам, викликаним багатопроменевим режимом поширення. Крім того, з метою поліпшення якості обслуговування в них використовуються адаптивні схеми модуляції і методи прямого виправлення помилок (FEC). Останнім часом WiMAX PHY також підтримує кадри змінних розмірів і масштабовану смугу пропускання, тому WiMAX — це оптимальний вибір для застосувань IPTV.

WiMAX розглядається як цілісна IP мережа доступу і припускає прозорість для мереж, що ґрунтуються на пакетному режимі. Крім того, обладнання радіоканалу WiMAX розроблене так, щоб не додавати яких-небудь погіршень в процесі доставки контенту. Отже, базові станції WiMAX (BS), станції передплатників і мобільні станції (SS/MS) ідеально підходять для доставки що усіх, що базуються на IP послуг (triple play), а саме: VoIP, IPTV, Інтернет-мультимедіа по безпроводним MAN. Завдяки цьому WiMAX перевершує параметри кабельних мереж, що використовують звичайний

кабель, DSL, і супутникових ліній зв'язку. Мережі доступу WiMAX пропонують дуже бажану повсюдність для контенту. Кінець кінцем, розгортання WiMAX дозволить доставити IPTV сільським і важкодоступним регіонам з високою мірою якості відео і звуку і за розумною ціною.

6.6.3 Перспектива розвитку мобільного телебачення LTE

У стандартному LTE детально розглядається модернізація 3G UMTS, що зрештою буде комунікаційні технології 4G/5G mobile. Велика кількість робіт спрямована на спрощення архітектури системи LTE, яка переходить від існуючої схеми UMTS + комутація пакетів в конвергированную мережу на платформі all-IP. Слід зазначити, що стандарт E-UTRA є радіоінтерфейсом для LTE. Його основними функціями є: — пікова швидкість до 299,6 Мбіт/сек і завантаження до 75,4 Мбіт/сек залежно від категорії обладнання користувачів (з використанням 4x4 антен 20 МГц спектру). П'ять різних класів терміналів було визначено з класу, орієнтованого на голос, трафік якого підтримує пікову швидкість передачі даних. Всі термінали матимуть можливість обробляти смугу пропускання — 20 МГц.

Малі затримки передачі даних (5 мс для невеликих IP-пакетів в оптимальних умовах), нижчій латентності для передачі і час встановлення з'єднання в порівнянні з попередніми поколіннями технологій радіодоступу. Поліпшена підтримка мобільності, про що свідчить підтримка терміналів, що рухаються зі швидкістю до 350 Км/ч (220 міль/год) або 500 Км/год (310 міль/год) залежно від діапазону частот. OFDMA для низхідного каналу зв'язку, SC-FDMA для висхідного каналу з метою економії електроенергії.

Підтримка як FDD і TDD систем зв'язку, а також напівдуплексною FDD з тією ж технологією радіодоступу. Підтримка усіх частотних діапазонів використовуваних нині в системах IMT MCЭ-R. Підвищення гнучкості спектра: 1,4 МГц, 3 МГц, 5 МГц, 10 МГц, 15 МГц і 20 МГц широкий клітини є стандартизованими. (W-CDMA вимагає 5 скибочок МГц, що призводить до деяких проблем з роликком-аутов технологій в країнах, де 5 МГц зазвичай виділяється об'єм спектру, і часто вже використовується із старими стандартами, такими як 2G GSM і CDMA One. Підтримка осередку розміром від десятків метрів, радіус (фемто і picocells) до 100 Км (62 млі), радіус мікроелементів (рис. 6.23).

Якщо подивитися на архітектуру 3G, де Home eNodeB (Femtocell), HeNB підключається до свого шлюзу, який, в свою чергу, підключений до MME/S-GW. У цьому підході є значний обсяг інвестицій в технології. HeNB складається з повного стека протоколів, HeNB-GW-дороге обладнання і для послуг телебачення, включаючи програмне забезпечення для управління і т. д.

Структура мережі доступу до послуг ТБ Internet показана на рис. 6.23.

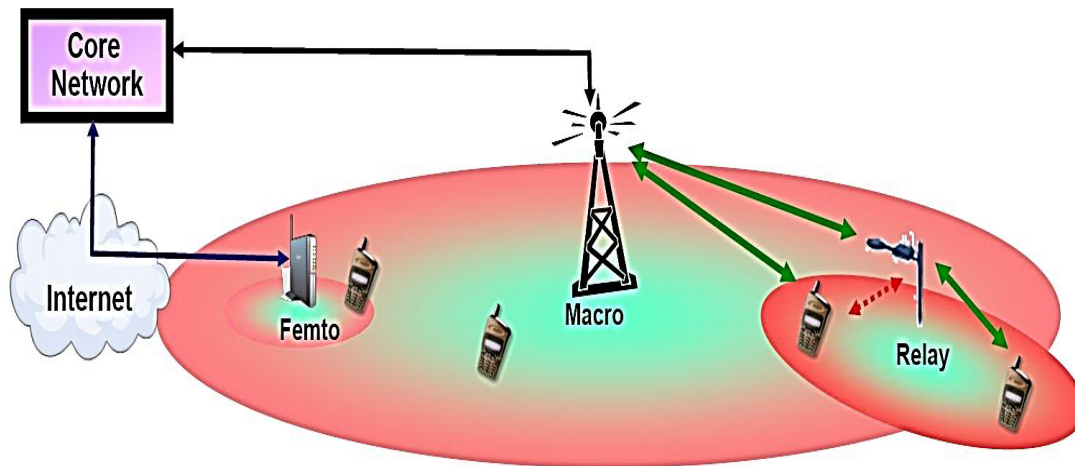


Рисунок 6.23 — Структура мережі доступу до послуг ТБ Internet

У нижньої смуги частот для використання в сільській місцевості, в 5 Км (3,1 милі) є оптимальним розміром осередку, в 30 Км (19 миль), що мають прийнятну продуктивність, а до 100 Км осередку розміром підтримується з прийнятною продуктивністю. У міста і міських районів, вище за смугу частот (наприклад, 2,6 ГГц в ЄС) використовується для підтримки високошвидкісного мобільного широкосмугового доступу. В цьому випадку розміри осередків можуть бути 1 Км (0,62 миль) або навіть менше. Підтримка щонайменше 200 активних клієнтів даних в кожному осередку 5 МГц.

Спрощена архітектура: мережа сторону E-UTRAN складається тільки з eNode. Підтримка міжопераційного і співіснування забезпечується із старими стандартами (наприклад, GSM/EDGE, UMTS і CDMA2000). Користувачі можуть почати дзвінок, передачу даних або ТБ в області використання LTE стандарту і повинно робити без яких-небудь дій з їх боку з використанням GSM/GPRS або W-CDMA на основі UMTS або навіть 3GPP2 мереж, таких як CDMA Один або в CDMA2000 пакет включений радіо-інтерфейс. Підтримка MBSFN (Multicast-трансляція одночастотної мережі). Ця функція може надавати послуги, такі як мобільне телебачення за допомогою LTE інфраструктури, і є конкурентом DVB-H на основі ТБ-мовлення.

Розглянемо сценарій спільного функціонування, коли базова приймальнопередавальна станція LTE (BTS), передає сигнал низхідній лінії зв'язку, діє як джерело перешкод на приймачі цифрового телебачення (DTV) і навпаки. Загальний сценарій спільного функціонування послуг DVB-T2-Lite і LTE представлений на рис. 6.24.

Існує загальний осередок для послуг DVB-T2-Lite. Власник планшета отримує послуги DVB-T2-Lite з частотою 794МГц. У той же час інший користувач смартфона отримує послуги LTE, що надаються мобільним оператором з частотою 802.2МГц (рис. 6.25)

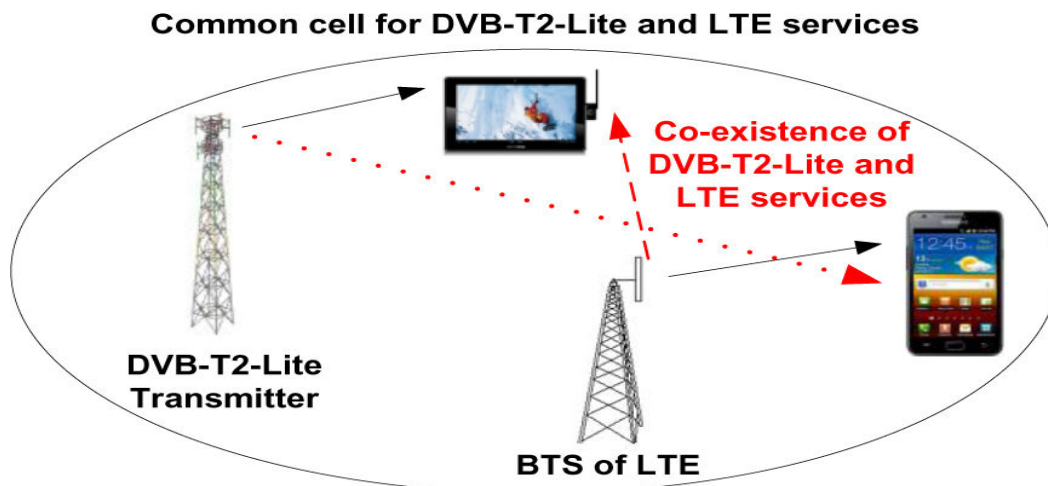


Рисунок 6.24 — Структура спільного функціонування послуг DVB-T2-Lite і LTE

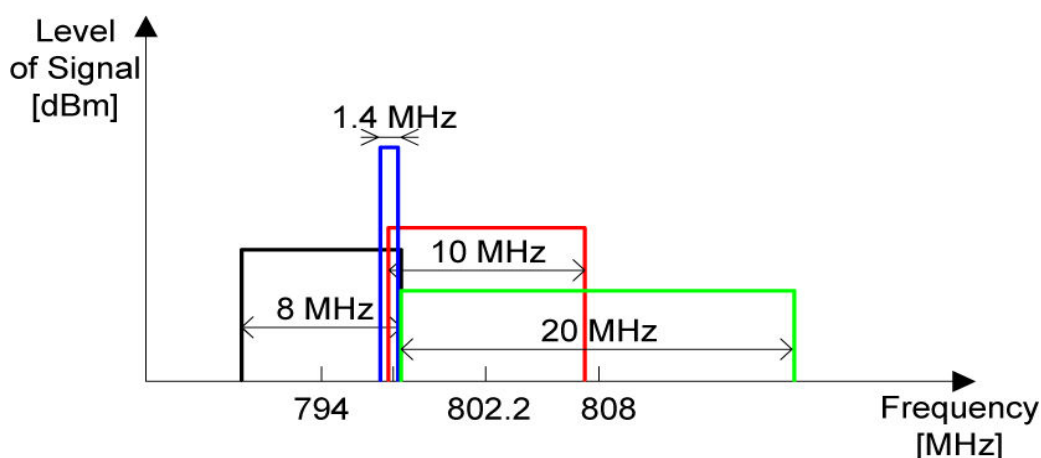


Рисунок 6.25 — Розподіл частотного ресурсу для послуг DVB-T2-Lite і LTE

У разі, коли смуга пропускання LTE-сигналу становить 10 МГц, він може впливати на верхню сторону спектра сигналу T2-Lite (з 794 до 798 МГц). Це означає видимі артефакти при прийомі DTV або повна відмова від отримання бажаного DVB-T2-Lite сигналу. Звичайно, рівень впливу виникнення перешкод залежить від рівня небажаного сигналу. Інші можливі сценарії співіснування, які можуть розглядатися представлені на рис. 6.25.

Контрольні питання

1. Дати загальну характеристику систем мобільного цифрового телебачення.
2. Описати стандарти доставки контенту мобільного телебачення.
3. Обґрунтувати особливості розвитку стандарту мобільного телебачення DVB-H.
4. Описати основні принципи побудови систем мобільного телебачення стандарту DVB-H.
5. Пояснити структурну схему використання загального мультиплексуваного потоку для мовлення в стандартах DVB-T і DVB-H.

6. Як реалізується структурна схема мережі DVB-фірми Enensys?
7. Обґрунтувати варіант DVB-H мережі з і використанням супутникових технологій фірми Unique Broadband Systems.
8. Описати призначення системи Eureka-147 Digital Audio Broadcast.
9. Який стандарт є платформою для мобільних телевізійних служб і дати його характеристику?
10. Пояснити призначення системи цифрового телевізійного мовлення в технології стандарту ISDB.
11. Призначення служби групового мультимедійного мовлення стандарту MBMS Основні характеристики стандартів мобільного ТБ.
12. Описати основні методи організації інтегрованої мережі цифрового наземного мовлення з використанням стандарту DVB-H.
13. Пояснити метод багаторівневого підходу до побудови IMS.
14. Описати архітектуру IMS.
15. Обґрунтувати модель організації послуг на платформі IMS.
16. Які існують режими мовлення для стандарту MBMS?
17. Пояснити протоколи площини управління MBMS (Control plane).
18. Пояснити протоколи площини користувача MBMS (User plane).
19. Описати узагальнену схему і режими роботи системи мовлення з використанням технології MBMS.
20. Пояснити призначення інтерактивних ТБ програм.
21. Дати характеристику кількісної оцінки енергетичних і швидкісних характеристик радіоінтерфейсу UMTS.
22. Описати архітектуру мережі UMTS з режимом MBMS.
23. Дати характеристику кількісної оцінки енергетичних і швидкісних характеристик радіоінтерфейсу мережі HSDPA.
24. Пояснити графік залежності зростання внутрісистемних перешкод від завантаження мережі UMTS.
25. Обґрунтувати перспективи розвитку мобільного телебачення.
26. Описати структуру мережі доступу до послуг ТБ Internet.
27. Пояснити сценарії спільного функціонування послуг DVB-T2-Lite та LTE.

Література до розділу 6

1. Андрианов В.И., Соколов А.В., Средства мобильной связи. — СПб.: ВHV — Санкт-Петербург, 2008. — 256 с.
2. Авдеев С. М., Милашевский И. А., Ратынский М. В. Стандарт DCS-1800 в мире: шаг к персональной связи // Мобильные системы, 2007, № 1, сс. 15–18.
3. Mats Nilson. Third generation radio access standards. — Ericsson Review, 2009, № 3.

4. Christofer Lindheimer, Sara Mazur, Johan Molno, Magnus Waleij. Third generation TDMA. — Ericsson Review, 2010, № 2.
5. WCDMA for UMTS Radio Access for Third Generation Mobile Communications — Harri Holma and Antti Toskala — 2014.
6. Interface UMTS Release 6 and Circuit Switched (CS) Networks — Artemios Andreou, Nigel Linge, Nigel Holland — 2013.
7. Final draft ETSI EN 302 304 V1.2.1 (2006–05). Digital Video Broadcasting (DVB) handheld services c.4–12.
8. 3GPP TR 25.346 V7.7.0 Technical Specification Group Radio Access Network; Introduction of the Multimedia Broadcast Multicast Service (MBMS) in the Radio Access Network (Release 7), available on www.3gpp.org.
9. Ненахов Н.Ю., Перспектива развития услуг телевидения в мобильной связи 3G// 14–й Международный молодежный форум «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке». Сб. материалов форума. Ч.1. — Харьков: ХНУРЭ. 2010.—527с.
10. Ненахов Н.Ю., Перспектива развития услуг телевидения в мобильной связи 3G // Сборник тезисов и докладов II тура Всеукраинского конкурса студенческих научных работ по техническим наукам, направления «телекоммуникации», ОДАЗ 2010 г.
11. Ненахов Н.Ю., Перспектива развития услуг телевидения в мобильной связи 3G // Студенческая научная работа на Всеукраинский конкурс., ХНУРЭ 2010 г.
12. Ненахов Н.Ю., Услуги новых поколений 3G// Региональный конкурс Харьковской области 2010 г.
13. 3GPP Specification TS 23.417 «TISPAN; IP Multimedia Subsystem (IMS); Functional architecture», 2007.
14. The 3G IP Multimedia Subsystem (IMS): Merging the Internet and the Cellular Worlds» by Gonzalo Camarillo, Miguel–Angel García–Martín (John Wiley & Sons, 2006, ISBN 0–470–01818–6)
15. 3GPP TS 22.146 Multimedia Broadcast/Multicast Service: Stage 1 (Release 6), V6.3.0, 2004–01.
16. 3GPP TS 25.346 Introduction of the Multimedia Broadcast Multicast Service (MBMS) in the Radio Access Network (RAN); Stage 2, Release 7, 2007.
17. Скрынников В.Г., Скрынников О.В. Оценка зоны радиопокрытия сети UMTS на ранней стадии планирования // Мобильные системы, февраль 2006.
18. H. Holma, A. Toskala. WCDMA for UMTS. Radio Access for Third Generation Mobile Communications. 2001.
19. First Report on the Evaluation of RRM Algorithms by Simulation. — IST–2000–25133: ARROWS, D09, 2012.

20. Ch. Chevallier, Ch. Brunner, A. Garavaglia, Kenn P. Murray, Kenneth R. Baker. WCDMA (UMTS). Deployment Handbook. Planning and Optimization. — Wiley, 2006.
21. 3GPP TS 25.104. v.5.9.0 (2004.09). Technical Specification Group Radio Access Network; Base Station (BS) radio transmission and reception (FDD) (Release 5). 2004.09.
22. 3GPP Technical Specification TS25.101 (Release 7), User Equipment (UE) radio transmission and reception (FDD). — 2005-12.
23. T. Yoshihisa, S. Nishio A Division-Based Broadcasting Method Considering Channel Bandwidths for NVoD Services IEEE Transaction of Broadcasting, 59. — 2013. — pp. 62–71.
24. Coexistence Digital TV and LTE (Application Note 1MA176_e3), Rohde & Schwarz. — 2012. — pp. 1–34.
25. A. Aloisi A simulation study of broadband mobile systems interference on DVB-T systems operating in the UHF frequency band 2011 Future Network & Mobile Summit. — 2011. — pp. 1–8.

7 ЦИФРОВЕ ТЕЛЕБАЧЕННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ IP (IPTV)

7.1 Загальні відомості про IP телебаченні

7.1.1 Визначення IPTV і його основні характеристики

Технології IPTV базуються на передачі трафіків цифрового телебачення споживачам-передплатникам цього сервісу. IPTV функціонує на протокол IP і широкосмугові з'єднання за допомогою IP-інфраструктури. Часто ця послуга надається паралельно з доступом до Інтернету. Отже, IPTV є системою, яка поставляє послуги цифрового телебачення передплатникам за допомогою широкосмугового з'єднання на базі IP- протоколу.

IPTV — не те ж саме, що звичайна ширококомовна доставка телепередач через Інтернет, а існує цілком самостійно. IPTV схоже на нинішнє абонентське кабельне телебачення, з тією різницею, що мовлення ведеться по безпечних IP- каналах. IPTV помітно відрізняється і від Інтернет-відео. Останнє надає сервіс для перегляда відео, наприклад, зображень з Web-камер, кінороликів. Доставку такого контенту робиться з використанням рівня якості обслуговування, що називається best effort (найкраще з можливого). В протилежність цьому IPTV є розвиненішою технологією, що дружна до користувача і кооперується з технологіями високошвидкісного доступу [3].

IPTV можна розглядати як розширення можливостей IP (передача даних в реальному часі, тоді як спочатку протоколи для цього не призначалися), і як розширення функцій ТБ, а саме:

- передача відео, звукового супроводу, інших пов'язаних і синхронізованих з ними даних. При цьому якість передаваного відео залежно від додатків може бути як стандартним телевізійним, так і зниженим або підвищеним;

- органічне додавання інтерактивності.

Потоки мультимедіа від відеосервера або відеокодера розсилаються по комп'ютерній мережі в реальному часі, приймаються, декодуються і відтворюються приймачами (клієнтами), тоді як раніше необхідно було заздалегідь завантажити і зберегти великі відео і звукові файли. У потоці відео і звукові дані передаються у вигляді пакетів.

Використання IP-мереж як транспортних артерій для передачі мультимедійної інформації (відео, звуку, додаткових даних) забезпечує цілий ряд переваг:

- єдиний механізм поширення по телекомунікаційних мережах різної фізичної природи;

- застосування спеціальних технологій (QoS, Multicast), дозволяючих забезпечити якісну і недорогу доставку відеоінформації;

- простота впровадження інтерактивних послуг, пов'язаних з відеомовленням;
- ефективніше використання комунікаційних IP- систем;
- інтеграція усіх видів додатків в єдину, орієнтовану на послуги (service oriented) платформу.

У сучасному світі об'єктом продажу для операторів стає не сам мережний трафік, а послуги, що забезпечуються цим трафіком. В той же час, поширення відео по комп'ютерних мережах є непростим завданням. Розвиток цієї технології натрапляє на цілий ряд проблем і труднощів різного характеру — технічного, економічного та соціального.

До технічних проблем можна віднести недостатню розвиненість мережі каналів передачі даних, невисоку пропускну спроможність більшої частини наявних каналів (навіть стислі відеодані вимагають відносно високої пропускну спроможності мережі), істотну нерівномірність трафіку в мережах зв'язку; необхідність підвищення ефективності компресії відео і звуку, органічність інтеграції з іншими видами мультимедійної інформації.

До економічних і соціальних проблем відносяться досить висока вартість будівництва нових і вдосконалення існуючих каналів зв'язку, необхідність придбання нового обладнання як провайдерами послуг, так і абонентами, розробка нового контенту для спектра послуг доставки мультимедійних даних, що розширюється, захист юридичних прав і інтелектуальної власності.

У 1998 році створена і ефективно працює ISMA (Internet Streaming Media Alliance) — міжнародна організація виробників обладнання, контент-провайдерів і мовців, яка займається розробкою, прийняттям і впровадженням відкритих стандартів передачі потокового мультимедійного контенту (відео, звуку і додаткових даних) по IP мережах.

По-перше, навіть стислі відеодані вимагають відносно високої пропускну спроможності IP мережі.

Подруге, для потокового відео потрібне безперервне перенесення інформації по IP мережі для забезпечення плавності відтворення в реальному часі.

Протоколи передачі даних не були спочатку призначені для перенесення інформації в режимі реального часу. Для вирішення цих проблем розроблені і продовжують розроблятися спеціальні протоколи, методи резервування пропускну спроможності каналу передачі і забезпечення необхідного рівня якості обслуговування (Quality of Service — QoS), в критерії оцінки якого входять необхідна швидкість передачі, максимальна величина затримки пакетів даних, нерівномірність трафіку і інші (RTP, RTCP, RTSP, RSVP, MPLS), а також способи економії трафіку (наприклад, багатоадресна розсилка).

По-третє, із-за сильної нерівномірності трафіку потокового відео приймальний буфер клієнта, обмежений, що може переповнюватися або

спустошуватися, якщо не вживати заходи по згладжуванню швидкості передачі даних.

Рівень якості обслуговування QoS забезпечується наступними методами:

- підтримкою заданої смуги пропускання каналу зв'язку;
- скороченням вірогідності втрат пакетів даних;
- виключенням або максимально можливим скороченням перевантажень мережі;
- конфігурацією мережевого трафіку;
- установкою кількісних характеристик трафіку в мережі.

7.1.2 Архітектура, основні концепції, типові мережні структури і служби IPTV

Архітектура IPTV залежить від архітектури магістральної мережі і мережі доступу оператора зв'язку, і зазвичай має розподілену структуру. Основні елементи рішення включають: вузол формування телевізійного контенту (станція прийому супутникових телеканалів, місцевий передавальний телецентр, студія і т.д.), портал доступу до послуг IPTV (middleware), система захисту контенту від несанкціонованого доступу (CAS/DRM), система управління відеосерверами.

Найважливішим компонентом IPTV при наданні послуг цифрового телебачення є головна станція Це програмно-апаратний комплекс, який забезпечує прийом сигналу від радіо і телевізійних станцій, супутників, декодування і демультимплексування цифрових сигналів, а також MPEG-кодування аналогових сигналів з подальшим мультимплексуванням підготовлених матеріалів в IP- потоки (рис. 7.1).

Антенний пост забезпечує прийом сигналів від ефірних станцій і супутників. Цифрові супутникові приймачі — дескриптори забезпечивають декодування цифрових сигналів, отриманих з антенного поста і передачу матеріалів Стримеру/мультимплексору. Вузол цифрового кодування забезпечує MPEG-кодування аналогових і цифрових сигналів і передачу матеріалів Стримеру/мультимплексору. Стример/мультимплексор — це ключовий елемент Головної станції, забезпечує мультимплексування матеріалів і IP-мовлення таким чином, що кожен канал має свою унікальну адресу і порт IP-мовлення.

Сучасна станція IPTV повинна працювати з широким діапазоном вхідних джерел відео-контенту, у тому числі:

- супутникові ТБ канали у форматі DVB-S, що отримуються через DVB;
- ASI інтерфейс приймачів або «потоків дескремблерів» в режимі одно-програмного транспортного потоку (SPTS) або багатопрограмного транспортного потоку (MPTS);

– аналогове і цифрове некомпресоване відео, що отримується від студійного ТБ обладнання в форматах SDI, S-video, композитний відеосигнал, а також можна припустити використання в майбутньому цифрових інтерфейсів DVI (Digital video interface) і HDMI (High — Definition Multimedia Interface);

– ефірні цифрові програми через DVB-ASI інтерфейс DVB-T-приймачів і з меншою вірогідністю аналогові ефірні канали у форматі композитне відео, отриманих з виходу аналогових ефірних демодуляторів;

– відеоконтент, що передається через транспортні мережі в форматах IPTV (MPEG over IP), Video over ATM, IP-video over ATM.

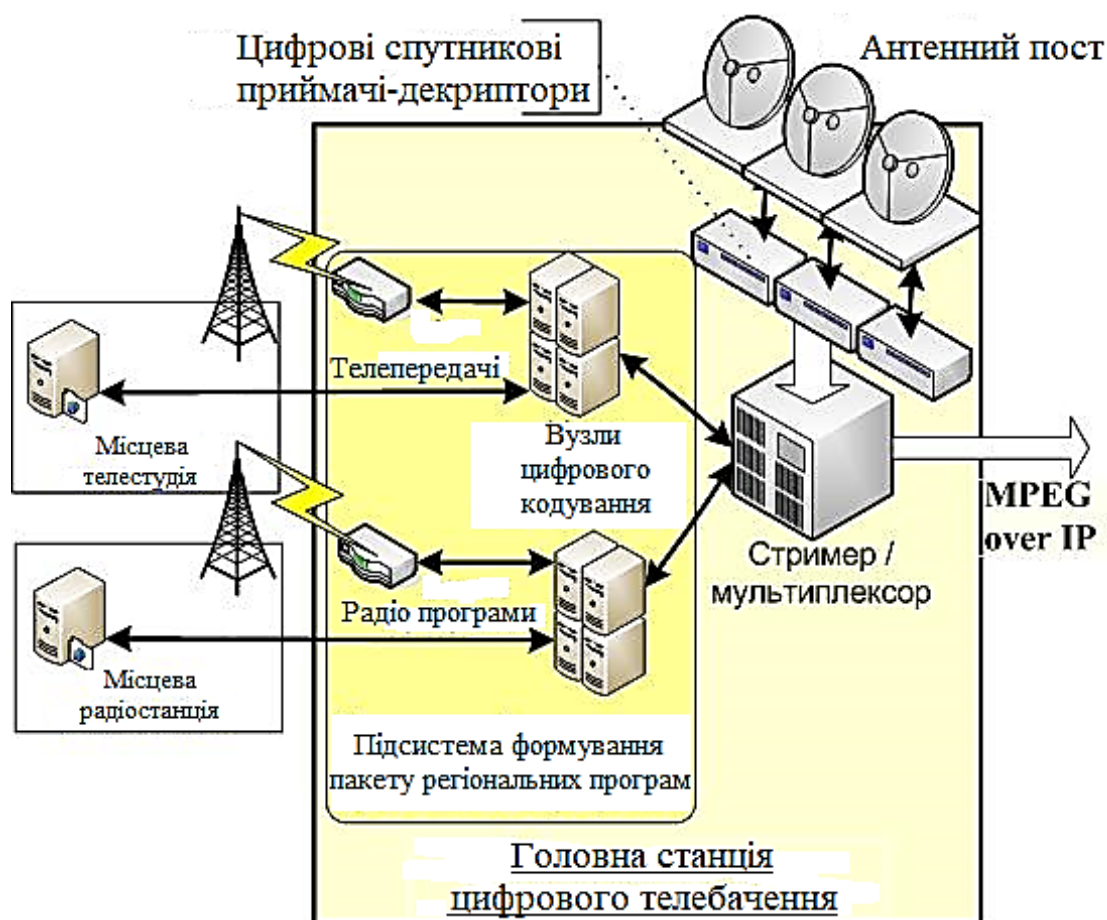


Рисунок 7.1 — Головна станція цифрового телебачення

Система захисту контенту від несанкціонованого доступу (CAS/DRM) забезпечує безпеку послуг і захист відео матеріалів від несанкціонованого перегляду і цифрового копіювання (дотримання авторських прав) (рис. 7.2).

Система CAS/DRM здійснює шифрацію аудіо і відеоматеріалів. При цьому доступ до матеріалів абонентам дозволяється за авторизацією абонентів власними засобами CAS/DRM або приладами інших систем — middleware та билінг. Як засоби авторизації використовуються програмні ключі і найсучасніші, та надійніші алгоритми. Дешифрування аудіо і відеоматеріалів здійснюється безпосередньо на стороні абонента за допомогою STB.

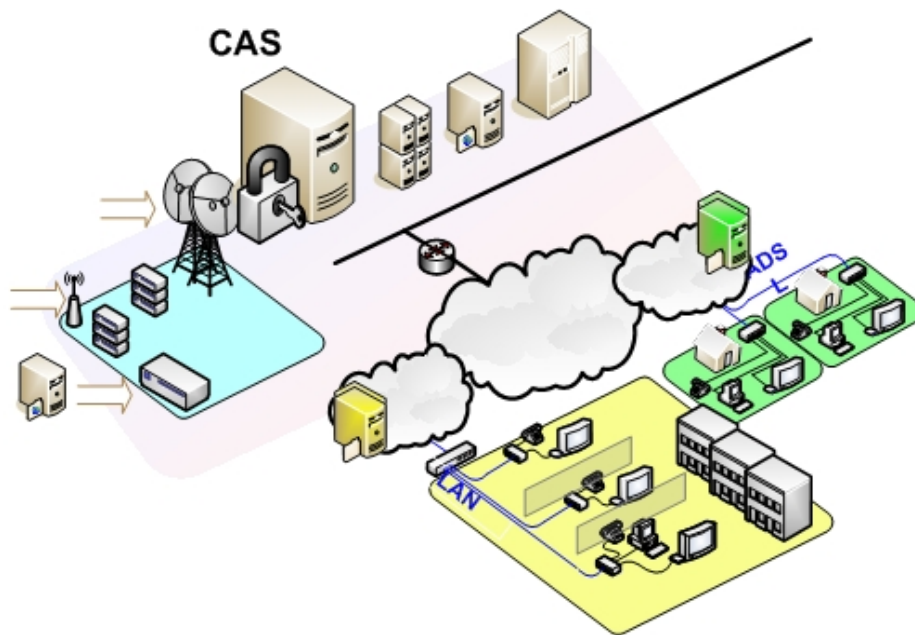


Рисунок 7.2 — Система захисту контенту від несанкціонованого доступу

Програмно-апаратний комплекс (Middleware) забезпечує управління усіма компонентами рішення IPTV. Він обробляє запити від абонентських пристроїв, забезпечує взаємодію з системами оператора зв'язку. Система управління є web-сервером, який за запитом користувача передає статичні html-сторінки з деяким кодом JavaScript. Відповідно, уся інформація з бази даних (БД) з'являється в інтерфейсі так само, як це відбувається при вході на звичайний сайт в Інтернеті.

Middleware дозволяє здійснювати:

- авторизацію абонента, формування програми передач EPG; формування інтерфейсу і інструментів управління рішенням IPTV;
- взаємодію з системами CAS/DRM, VoD, Головною станцією, STB-пристроями;
- взаємодію з білінговими системами і підтримки бізнесу оператора зв'язку (OSS/BSS/CRM і тому подібне).

Middleware має відкриту архітектуру, що дозволяє оперативнo масштабувати компоненти рішення, і розширювати спектр послуг.

Програмуємий абонентський інтерфейс дає можливість повною мірою враховувати потреби операторів зв'язку і їх абонентів (рис. 7.3).

При наданні послуг IPTV зосереджувати аудіо і відеоматеріали в єдиній точці обміну — недоцільно, оскільки це призводить до підвищеного завантаження мережі, нераціонального використання компонентів системи і обмеження якості послуг великій кількості абонентів. Мінімізацію завантаження мережної інфраструктури і рівномірне розподіл навантаження на відеосервери забезпечує система розподілу контенту (рис. 7.4).

Система розподілу отримує від middleware запити абонентів на доступ до контенту, визначає, на якому сервері з мінімальним навантаженням

і в максимальній близькості до абонента знаходяться необхідні дані, і дозволяє абонентові отримати їх з вибраного сервера. Якщо на мінімально завантаженому, але максимально наближеному до абонента сервері, необхідного контенту не виявлено, то запит буде переадресований на іншій, схожий за умовами, сервер.

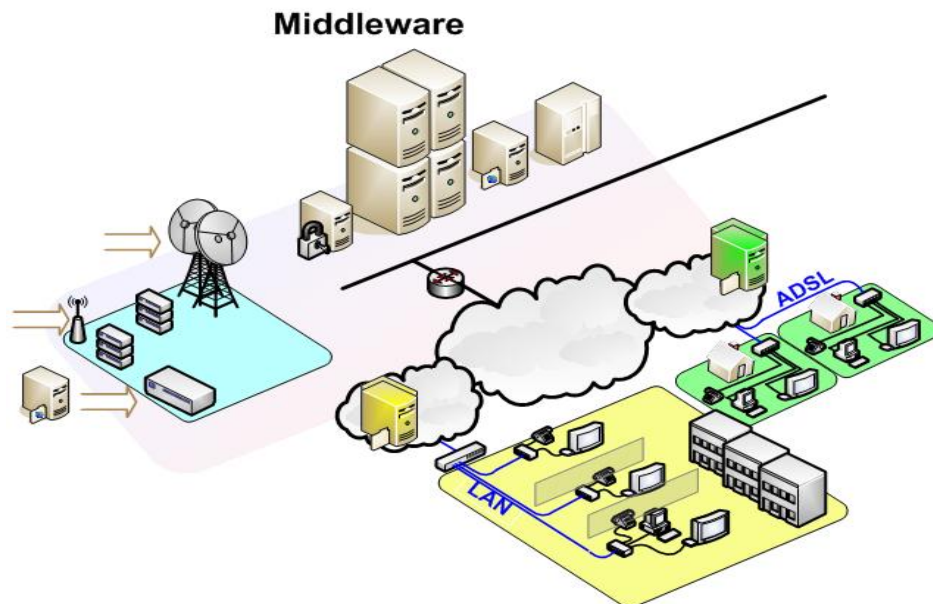


Рисунок 7.3 — Програмно-апаратний комплекс (Middleware)

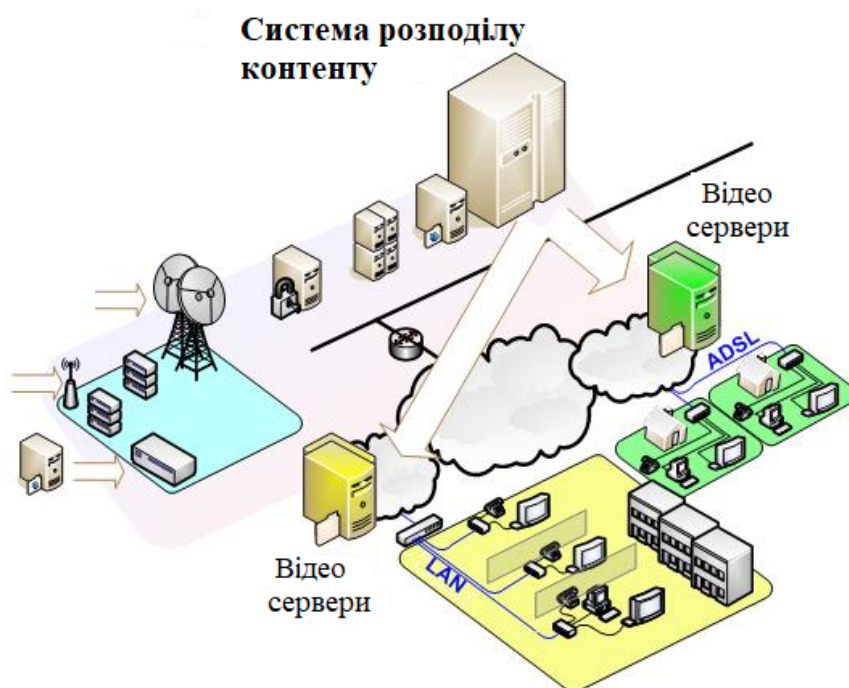


Рисунок 7.4 — Система розподілу контенту

Наступними важливими компонентами системи є відеосервери. Кожен відеосервер — це дисковий масив великої ємності з встановленим програмним забезпеченням, тобто це набір виділених комп'ютерів, які за

запитом користувача ініціюють відеопотік, що відображається у результаті на екрані телевізора абонента. Відеосервери використовуються для реалізації послуг NVoD, VoD, PVR (рис. 7.5).

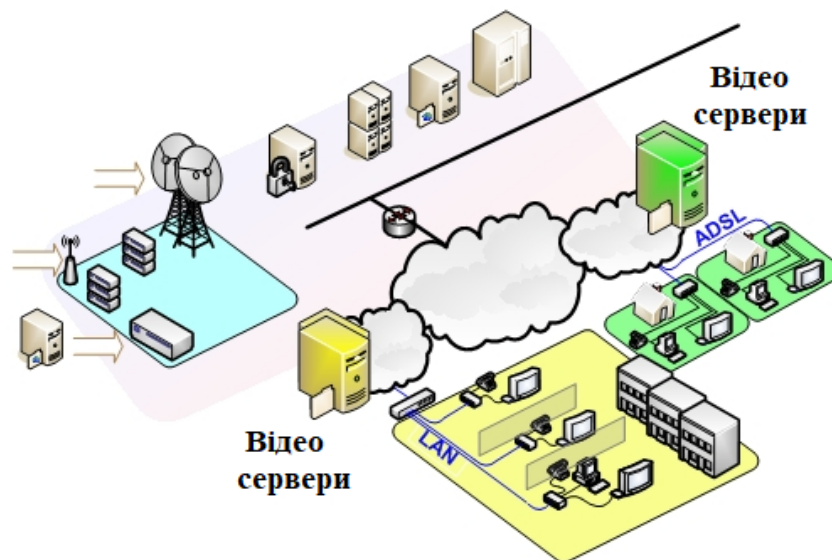


Рисунок 7.5 — Відеосервери

Програмне забезпечення реалізує multicast — трансляцію відео-матеріалів для послуги NVoD і unicast — трансляцію при наданні послуги VoD.

Відеосервер дозволяє здійснювати перехоплення і запис multicast-потоків, тобто підтримувати послугу PVR.

Абонентський пристрій (STB — Set — Top — Box) є сполучною ланкою між системами формування і доставки аудіо- і відеоматеріалів і телевізором абонента (рис. 7.6). Це портативний комп'ютер, в якій вбудовані специфічний браузер (як правило, Fresco) і набір програм для прийому і декодування відеопотоку. Управління відеопотоком відбувається за допомогою виклику команд з JavaScript. У пристрою є два основні роз'єми: RJ-45 для підключення до локальної мережі і вихід на телевізор. Управління інтерфейсом відбувається за допомогою пульта дистанційного управління.

Для надання послуг цифрового телебачення прокладається мережа (оптоволокну, мідна пара). Якщо IP мережа вже існує, відбувається її адаптація до вимог центрального обладнання, наприклад, установка і налаштування комутаторів, які підтримують multicast. Оператор проводить підключення по оптиці за допомогою управляючого медіаконвертора — свитча, який дозволяє під'єднати декілька абонентських пристроїв кожному передплатникові. Встановлюючи різні VLAN на різні порти, можна впроваджувати різні типи послуг. Для станційного вузла, розроблен високоінтегрований кошик, що дозволяє під'єднати 480 оптичних лінків (40xmmc100+2xbmc20). Оптика в кожному квартиру — найправильніше, надійніше і високошвидкісне рішення для оператора (рис. 7.6).

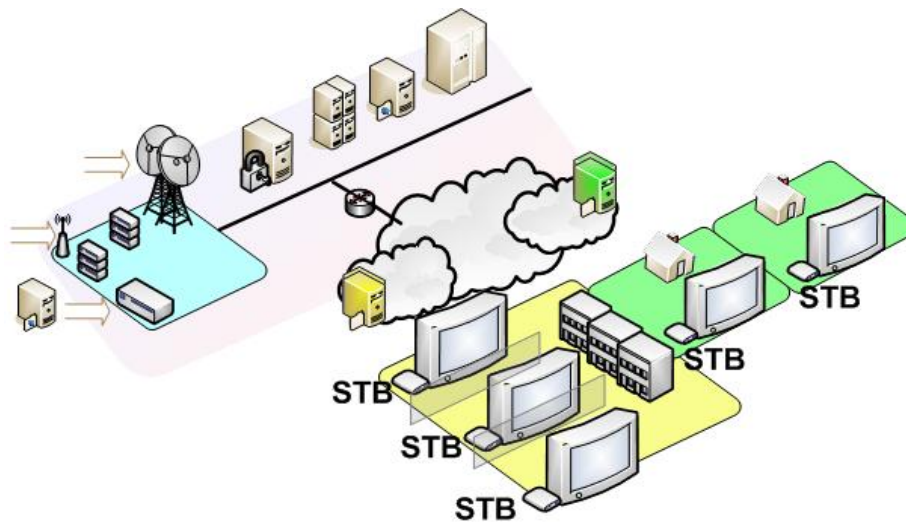


Рисунок 7.6 — Абонентські пристрої — STB

Найголовніший процес, виконуваний IPTV станцією, — інкапсуляція. Для передачі транспортних MPEG-потоків (MPEG Bitstream) через традиційні мережі з пакетною передачею даних, Головна станція IPTV об'єднує множину 188-ми байтових MPEG транспортних пакетів і формує з них корисне навантаження кадру PDU (protocol data unit). Заголовок (Header) і замикаюча частина кадру (Trailer) визначаються використанням мережним протоколом (рис. 7.7).

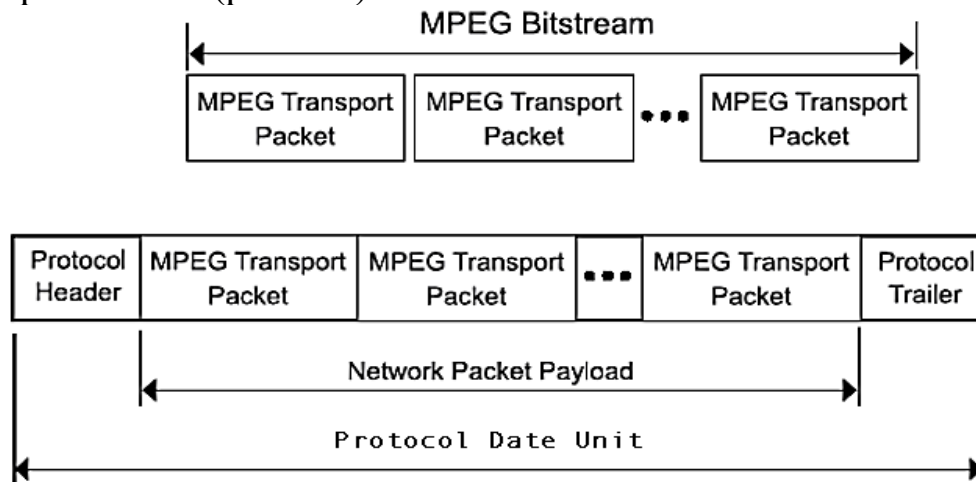


Рисунок 7.7 — Процес інкапсуляції

7.2 Архітектура комплексу IPTV

В архітектуру комплексу IPTV, як правило, входять наступні підсистеми:

- управління комплексом і послугами. Дана система називається також «проміжним програмним забезпеченням» або IPTV Middleware;
- прийому і обробки контенту;
- захисту контенту;
- відеосерверов;
- контролю якості потоків даних, а також клієнтського обладнання.

Клієнтське обладнання. Це може бути відповідний системним вимогам комп'ютер, спеціалізована ТВ-приставка, медіаплеєр, телевізор з технологією SMART TV, мобільний пристрій.

Програмний рівень. На даному рівні доступ до ресурсів IPTV можливий за допомогою спеціальних програм (додатків), а також вбудованого в пристрій звичайного Інтернет-браузера.

Доставка контенту. До обладнання клієнта контент доставляється по керованій IP-мережі за допомогою технологій (рис. 7.8):

- **multicast** (групова передача, один до багатьох, адреса призначення пакета даних — мультикастна група);
- **unicast** (одностороння передача, пакети передаються єдиному адресату).

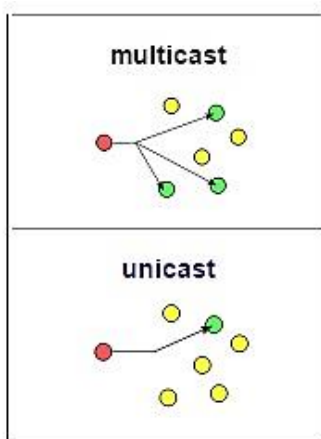


Рисунок 7.8 — Технології доставки контентів IPTV

Технології доставки контентів IPTV можуть залежати від топології мережі і можуть бути реалізовані без прив'язки в мережах операторів зв'язку.

7.3 Основні варіанти передачі відеосигналів в IPTV

На основі IPTV-платформи дані передаються по телефонній лінії, в абонентському обладнанні вони декодуються, і розшифроване відео виводиться на екран телевізора. Користувачеві при цьому не потрібно чекати повного завантаження файлу, щоб переглянути його. Пересилання відео йде безперервним потоком у вигляді послідовності IP-пакетів, і програється воно в міру передачі на абонентський пристрій.

IPTV — технологія дозволяє передавати контент на клієнтське обладнання поверх IP-мережі того чи іншого оператора зв'язку. І особливістю IPTV-технології є можливість поставляти, користуватися великим спектром сервісів додаткового типу, яких налічують десятки, а також надання відеопослуг інтерактивного типу. IP-протоколи дає можливість надати не

тільки самі відеопослуги, але і величезний пакет інших послуг, які теж часто бувають корисними і навіть необхідними.

Для єдиного відеоряду тут можна використовувати два і більше каналу супроводу звуку, канал при цьому поліфонічний, і є можливість чути мову одночасно, наприклад, українською та англійською, що дуже зручно.

IPTV — технологія нічим не поступається кабельному телебаченню, і навіть багато в чому його випереджає. Її плюсами стає більш висока якість зображення, додаткові сервіси та інтерактивність. Використовуючи можливості цієї технології, можна бачити дуже чітке зображення, прекрасне звуковий супровід, чути кілька каналів звуку, і користуватися масою інших привабливих можливостей.

Увесь широкий спектр відеододатків можна умовно розділити на наступні основні групи, що розрізняються дозволом і швидкістю зміни кадрів:

- відеотелефонія (кадр 160×120 пікселів, 1.5 кадрів/с);
- відеоконференцзв'язок (кадр 320×240 пікселів, 10.15 кадрів/с);
- домашнє відео (кадр 352×288 пікселів, 25.30 кадрів/с);
- стандартне телебачення (кадр 720×576 пікселів, 25.30 кадрів/с);
- телебачення підвищеної чіткості (кадр 1280×720 пікселів, 25.60 кадрів/с);
- телебачення високої чіткості (кадр 1920×1080 пікселів, 25.60 кадрів/с);
- відеосистеми надвисокого дозволу і цифрове кіно (кадр $1920 \times 1080.7680 \times 4320$ пікселів, 60 кадрів/с).

Один з найважливіших аспектів реалізації IP-відеомовлення — це ефективне кодування відео і звуку, максимально можлива якість відтворення інформації, що забезпечується при обмеженій пропускної здатності каналів зв'язку.

Голосові і звукові кодеки забезпечують передачу аудіоінформації з частотою дискретизації 8.48 кГц форматів моно, стерео і інших по каналу з пропускною спроможністю від 2 Кбіт/с.

Широке застосування отримали голосові вузькосмугові кодеки з Рекомендацій МСЭ-Т: G.711, G.722, G.723.1, G.726, G.729. Також використовуються в різних системах передачі мультимедійної інформації інші голосові кодеки: GSM, iLBC, AMR, Speex і т. д.

Серед звукових кодеків слід згадати кодеки стандарту MPEG: MPEG-1 Layer 1, 2 (Musicam), 3 (MP3), а також багатоканальний кодек Dolby AC-3, MPEG-4 AAC, кодеки Microsoft Windows Media Audio.

Одним з найбільш ефективних звукових кодеків є AACPlus. Він є кодеком MPEG-4 AAC (Advanced Audio Coding), доповнений технологіями SBR (Spectral Band Replication) і PS (Parametric Stereo). AACPlus підтримує кодування моно-, стерео- і багатоканального звуку, забезпечує стереозвук

CD-якості при швидкості кодованого потоку від 48 Кбіт/с, стереозвук ЧМ-якості — при швидкості від 24 Кбіт/с, мова з музикою — при швидкості від 8 Кбіт/с.

Для IPTV актуальними є як мінімум три передових формата стискування — відкритий стандарт MPEG4 AVC (H.264), стандарт VC-1, створений на базі відео кодек Windows Media Video 9 від Microsoft, і стандарт AVS, розроблений в КНР за завданням міністерства інформаційної промисловості Китаю.

7.4 Стандарти та протоколи IPTV

Існує кілька різних стандартів, що мають відношення до IPTV-відкритих і пропріетарних, нижче будуть розглянуті тільки відкриті. Кілька стандартів IETF визначають набір протоколів для передачі інформації IPTV, до них відносяться RTP, RTSP, SDP, SAP і ін. Крім стандартів IETF існують широко відомі стандарти MPEG2, що визначають транспортний потік, в який можуть бути інкапсуліровані дані, а також спосіб компресії відео і аудіо. Останнім часом повсюдно поширився стандарт відеокомпресії ITU H.264. Для компресії відео і аудіо можуть бути використані й інші способи (MPEG-1, H.261, H.263 та ін.).

Крім зазначених вище стандартів, розроблений великий набір стандартів ETSI та консорціуму DVB під назвою DVB-IP, який зачіпає способи організації мережевих процедур, необхідних для роботи IPTV, подання інформації (включаючи метадані) і організації додаткових сервісів в IPTV (наприклад, електронного довідника програм). Існує ще специфікація Nordig (члени Nordig — Данія, Ісландія, Норвегія, Фінляндія, Швеція), проте, в частині IPTV ця специфікація практично повторює DVB-IP. Крім технічних стандартів існують кілька бізнес-моделей, які можуть бути активно використані, а в традиційному телебаченні їх застосувати складно.

Крім класичних «за все платить абонент» або «за все платить телекомпанія», існує модель pay-per-view, коли абонент оплачує певний час користування сервісом (наприклад, протягом якого йшов футбольний матч) або перегляд зі свого депозиту у постачальника контенту та ін. На відміну від класичної push-моделі в IPTV відкриваються широкі можливості для організації гнучких комерційних сервісів будь-якого характеру. Вище вже згадувався сервіс CoD — «Контент на вимогу», який з'явився з більш вузькоспеціального VoD — «Відео на вимогу».

Стандарти IETF для передачі інформації IPTV включають протоколи:

HTTP — для організації інтерактивних сервісів;

RTSP — для управління потоками мовлення;

RTP — для передачі потокового відео;

IGMP — для управління мультикаст-потокaми.

Як приклад на рис. 7.9 приведена схема використання протоколів передачі даних IPTV (згідно IETF).

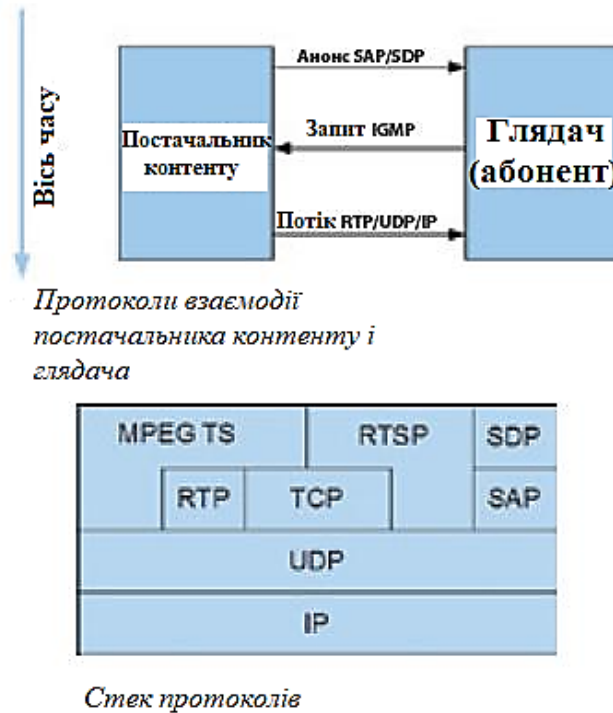


Рисунок 7.9 — Схема використання протоколів передачі даних IPTV

Дана схема не є специфічною для IPTV, вона може також застосовуватися, наприклад, для заходів і для організації відеоконференцій. Очевидно, що для організації з'єднання потрібно, щоб абонент знав адресу, по котрому потрібно відправляти запит на отримання контенту.

У мережі IPTV може служити, наприклад, адреса Multicast-групи або URL-сервера. Ця електронна адреса передається абоненту різними способами — Multicast-потокaм з використанням протоколу SAP, який в якості навантаження несе протокол SDP, а також публікацією адрес в Інтернеті або друкованих виданнях.

По суті, передача адреси — це звичайна реклама. IANA реєструє Multicast-адреса для поширення анонсів конкретних операторів зв'язку і постачальників контенту. Інформацію про них можна отримати на сайті IANA. Для анонсів DVB-сервісів зареєстрований адреса 224.0.23.14, однак оператор може призначати і будь-який інший адресу в своїй мережі в діапазоні локально адмініструються адрес. Коли абонент дізнався адресу сервісу, він за допомогою програмного забезпечення приставки або комп'ютерної програми може запросити бажану інформацію. Ця операція виконується із застосуванням протоколів IGMP або TCP в залежності від того, яку технологію використовує постачальник контенту. IGMP необхідний для побудови маршруту Multicast-потокa, за допомогою якого буде доставлений

сервіс. IGMP використовується для відправки на маршрутизатор запиту, за яким він передає Multicast-потік абоненту, або запитує інші маршрутизатори в мережі про наявність підключеного джерела сервісу, потрібного абоненту. Останній запит виконується між маршрутизаторами з використанням протоколу PIM. Після того, як абонент надіслав запит і в мережі знайдено джерело запитуваної сервісу, він отримує запитаний сервіс. Можуть бути різні способи отримання: юнікастовим потоком по протоколах UDP або RTP, Multicast-потоком через протокол UDP або RTP, Multicast-потоком через протокол UDP або RTP у вигляді транспортного потоку MPEG (так званого MPEG over IP), за допомогою протоколу TCP, в який інкапсулюваний транспортний потік MPEG і ін.

Якщо абонент використовує сервіси за запитом, які генеруються сервером постачальника контенту або оператора зв'язку, то абонентське обладнання може застосовувати протокол RTSP для управління таким сервером. Подібне управління полягає в посилці сервера команд, які він виконує. Найпростіший приклад — контент на вимогу. Абонент дивиться замовлений фільм і при цьому має можливість управляти показом за допомогою кнопок «Вперед», «Стоп», «Перемотка» і ін.

Слід підкреслити, що мережа IP — складна структура, вона може отримати різні фільтри, які пропускають тільки певні типи протоколів. У найпопулярнішій мережі IP-Інтернеті надійність доставки може бути забезпечена за допомогою протоколу TCP, а в локальній мережі досить протоколу UDP або RTP.

RTP протокол потрібно, коли в мережі можливе поширення по декількох шляхах або коли в абонентській приставці необхідно відновити синхронізацію кодера. Протокол RTP відрізняється від протоколу UDP тільки двома полями: порядковим відносним номером пакета і показанням годин кодера в момент генерації цього пакета. Перше поле допомагає поставити отримані по мережі пакети в правильному порядку, а друге — запустити декодер з тією ж швидкістю, з якою працює кодер.

Якщо мережа, в якій проводиться поширення IPTV, має складну структуру, то краще використовувати RTP, якщо вона проста — підійде і UDP. Ще одна корисна властивість RTP — за допомогою поля з показаннями годин можна виміряти джиттер мережі, який відповідно до стандарту ISO 13818-9 не повинен перевищувати 20 мс.

Приклад стека протоколів, використовуваних при організації IPTV за допомогою транспортного потоку MPEG TS наведено на рис. 7.9. Передані сервіси можуть бути вміщені в транспортний потік MPEG-2. В цьому випадку для опису сервісів може бути використаний PSI/SI — гнучкий спосіб опису змісту транспортного потоку MPEG, який наведено в стандартах консорціуму DVB і ISO 13818-1.

Спосіб передачі декількох сервісів в складі транспортного потоку також називається «багатопрограмний транспортний потік» — MPTS. Можлива передача кожного сервісу в окремому транспортному потоці, в цьому випадку спосіб називається SPTS — «однопрограмний транспортний потік». У разі використання MPTS необхідний одну Multicast-адресу для передачі всіх сервісів всередині MPTS і один анонс SAP на весь потік.

У разі застосування SPTS кожен сервіс передається на своєму Multicast-адресу та відповідно може мати індивідуальний анонс SAP. Абонентський пристрій знаходить повідомлення SAP в мережі і таким чином дізнається, які потоки (і сервіси) доступні.

І останнє, що слід розглянути, — це забезпечення платежів абонентів за використання сервісів. Оскільки маршрутизатори, які підтримують маршрутизацію IGMP, досить дороги, побудувати мережу, де абонент отримуватиме доступ на сеансовому рівні, досить складно. Замість цього можна застосовувати системи умовного доступу CAS (Conditional Access System), які здійснюють скремблювання переданих сервісів.

Відповідно абонентський пристрій виконує дескремблювання сервісів на підставі наявного в приставці критерію доступу — якісь умови, «ключа» за допомогою якого здійснюється доступ. Цей «ключ» може бути різним у залежності від розробника системи умовного доступу.

Консорціумом DVB розроблені стандарти, що дозволяють уніфікувати системи умовного доступу і навіть застосовувати кілька систем одночасно до кожного сервісу (так звана технологія Simulcrypt). Поширені реалізації дескремблерів на базі CAM-модулів, які загальновідомі. Крім CAS, оператор зв'язку має білінгову систему з інтерфейсом до CAS, яка формує інформацію, необхідну для створення і поширення критеріїв доступу. Найголовнішою перевагою IPTV перед іншими системами передачі відео і звуку залишається його універсальність. Абонент теоретично може отримати будь-який контент, який захоче. Тому широке впровадження IPTV сприятиме активізації виробників контенту, вони почнуть конкурувати один з одним, що послужить на благо глядачів-абонентів.

7.5 Базові послуги IPTV

У побуті під IPTV розуміють передачу телевізійного каналу по Інтернет-протоколу. Почасти це так. Однак IPTV — це в першу чергу технологія нового покоління. І якщо говорити про телевізійному мовленні, то воно вигідно відрізняється від трансляції телепрограм традиційними способами (ефірне, кабельне та супутникове телебачення).

IPTV технологія дозволяє подавати абоненту величезну кількість телевізійних каналів і послуг у високій якості. Основні компоненти IPTV представлені на рис. 7.10.

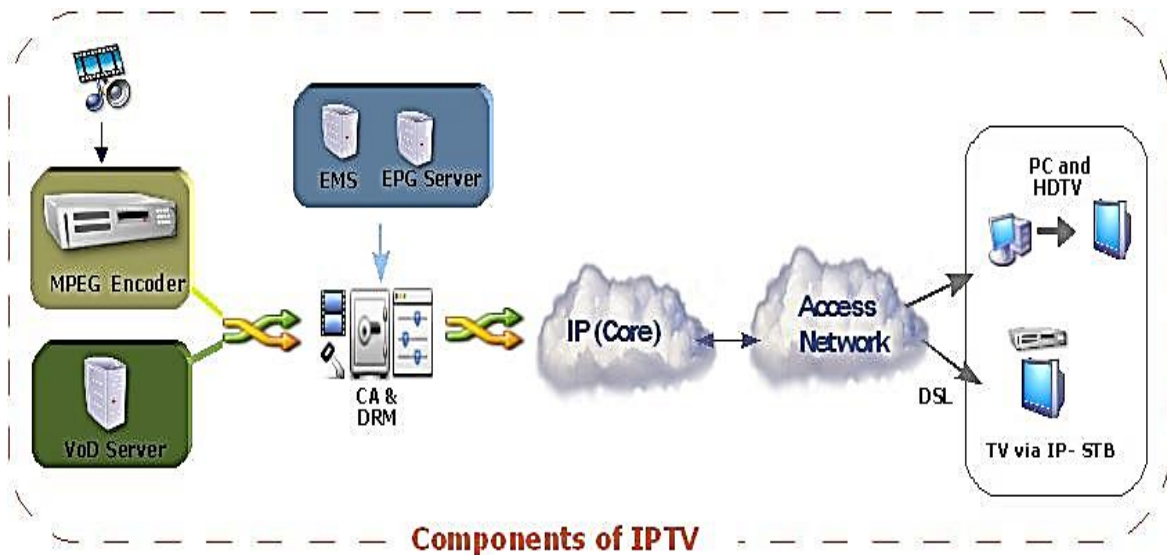


Рисунок 7.10 — Основні компоненти IPTV

Дана схема не є специфічною для IPTV, вона може також використовуватися, наприклад, для організації відеоконференцій. Очевидно, що для організації з'єднання необхідно, щоб абонент знав адресу, по якому буде відправлений запит на отримання контенту.

Послуги IPTV можна розділити на базові послуги мультимедіа і інтерактивні.

До послуг мультимедіа відносяться:

- цифрове мовне телебачення і радіо;
- отримання контенту за запитом, наприклад, фільмів;
- послуги, що забезпечують розширені можливості управління і користування послугами телебачення, радіо, отримання контенту за запитом і тому подібне.

До інтерактивних послуг, що надаються через телевізор і STB, відносяться:

- доступ в Інтернет, ігри;
- спілкування за допомогою форумів, чатів, пейджерів, e-mail і т. п.

Коротко розглянемо деякі з базових послуг IPTV.

Цифрове мовлення. Трансляція супутникових і місцевих телевізійних каналів з розділенням на пакети (цифрове телебачення) і підтримкою додаткових сервісів:

- електронна програма передач (EGP);
- мережний відеомагнітофон з можливістю запису абонентом будь-якої програми на мережевий відеосервер по команді з дистанційного пульта управління, або по попередньому замовленню через EPG;
- можливість короткочасної «зупинки» трансляції з подальшим відновленням з місця зупинки мовлення радіо передач, які приймаються зі супутників або від місцевих радіостанцій.

Перевагами послуги є:

- для запуску послуги потрібне рішення в мінімальній конфігурації;
- мовлення здійснюється в режимі Multicast, що дозволяє оптимально використати смугу пропускання каналу.

Надання послуги цифрового телебачення повинне передбачувати набір платних пакетів телепрограм, що включає ефірні і супутникові телепрограми, при цьому кожен набір має бути орієнтований на певну цільову аудиторію.

Відео за запитом VOD (Video on Demand). Отримання відео/аудіо контенту за запитом, в рамках якого Оператор створює бібліотеку контенту. Перевагою послуги є:

- надання абонентові вибору контенту;
- можливість збору і аналізу інформації про запити з метою вивчення пріоритетів у абонентів.

Різновидом послуг VOD є послуга SVOD (subscription VOD), яка має на увазі доступ до тематичного контенту, наприклад, серіалам на підставі підписки, тобто в плинні тривалого часу без обмеження кількості звернень.

Віртуальний кінозал N Vod (NearVOD) — багатоадресне мовлення медіаконтенту, при цьому програму мовлення складає оператор зв'язку на основі власної бібліотеки. Ця послуга поєднує властивості послуг VOD і мовного телебачення. Програма, що складається оператором, може найбільшою мірою відповідати очікуванням абонентів, а мовлення здійснюється в режимі розсилки multicast. Плата за послуги може взиматися як у вигляді абонентської плати за тривалий період користування, наприклад, місяць доступу, так і за звернення до послуги, наприклад, за просмотр двох вибраних фільмів. Цей підхід зручний для оплати як постійним користувачам послуги, так і тим абонентам, які хочуть скористатися разовою послугою і оцінити її з метою використання в майбутньому.

Мережний відеоманітофон nPVR (network Personal Video Recorder) дозволяє абонентам через EPG (електронну програму передач) замовляти запис будь-якої передачі будь-якого дозволеного каналу. У надалі абонент може в розділі «Мої записи» звертатися до записаних передач і викликати їх на екран телевізора для перегляда. Слідую відзначити, що запис передачі здійснюється з використанням мережевих ресурсів оператора зв'язку, тому абонентові, що бажає отримати цю послугу, не потрібно ніяких додаткових технічних коштів, йому досить лише активізувати послугу.

Персональний видеоманітофон PVR (Personal Video Recorder) — реалізація запису по натисненню абонентом кнопки «record» на пульті дистанційного управління. В результаті здійснюється запис не конкретної передачі, а усього контенту на інтервалу між натисненнями кнопок «record» і «stop».

Телебачення за запитом TVOD (TV On Demand) об'єднує певну категорію сервісів, що дозволяють зробити послугу IPTV зручнішою і такою, що персоналізується для абонента.

Пауза прямого ефіру PLTV (Pause Live TV) — цей сервіс дозволяє абонентові у будь-який час прямій трансляції натиснути кнопку «pause» на пульті дистанційного управління і зупинити трансляцію. Трансляція може бути продовжена по натисненню кнопки «play» з місця зупинки.

Перезапуск програми Start Over (program restart) — цей сервіс дозволяє, натиснувши усього лише єдину клавішу, розпочати поточну програму з початку.

Телебачення зі зміщенням в часі TSTV (Time shifted TV) — це найбільш широка реалізація усіх «PVR-based» сервісів. TSTV дозволяє у будь-який момент натиснути під час прямої трансляції кнопку «rewind» і «перемотати» телеканал на будь-який час назад (10 хвилин, годину і так далі).

Таким чином, реалізується концепція IPTV-перегляд «чого завгодно і коли завгодно».

Послуги підвищують привабливість основних послуг і плата за послуги повинна включатися у вартість основних послуг. При цьому оператор зв'язку може пропонувати абонентам два пакети послуг: недорогий пакет послуг без послуг TVOD і дорогий пакет послуг з включеними в нього послугами TVOD.

Ігри. Розраховані на одного користувача і розраховані на багато користувачів прості ігри, наприклад, тетрис, арканод. В даному випадку опонентом для абонента є сервер. Для гри абонент використовує пульт дистанційного управління. Розраховані на багато користувачів ігри на базі ігрових платформ, наприклад, Counter Strike, Quake. В даному випадку абоненти грають один з одним, і взаємодія абонентів здійснюється через ігровий сервер. Для гри абонент може використати клавіатуру або джойстик, що підключаються до STB-пристрою. Ігри є ефективним інструментом залучення користувачів вікової категорії від 10 до 20 років і плата за доступ до ігрових ресурсів для цієї цільової аудиторії має бути мінімальною.

Програма телепередач EPG/IPG (Electronic Program Guide/Interactive Program Guide). Послуга за поданням програми телепередач полягає в забезпеченні абонентові можливості переглядати програму передач телевізійних каналів, пропонованих в рамках послуги телевізійного мовлення на базі мережі з комутацією пакетів, здійснювати пошук телепередач відповідно до заздалегідь встановлених критеріїв, складати перелік передач для перегляда.

LBTB (Linear Broadcast TV) — телевізійне мовлення. Послуга телевізійного мовлення на базі мережі з комутацією пакетів полягає в забезпеченні абонентові можливості перегляду телепередач, поширюваних по мережі з комутацією пакетів, з використанням телевізійної

абонентської приставки (IP-STB). Передбачена класифікація телевізійних каналів за тематикою і обмеженнями за віком для їх перегляду.

FM-радіомовлення (Linear Broadcast Audio). Послуга FM-радіомовлення полягає в забезпеченні абонентові можливості доступу до радіоконтенту, поширюваного по мережі з комутацією пакетів в реальному масштабі часу. Це рішення дозволяє абонентам за допомогою телевізійної абонентської приставки (IP-STB) отримати доступ до якісного контенту радіопрограм. Перегляд передачі за розкладом PPV (Pay Per View).

Послуга перегляду телепередачі (кінофільму) з розкладу полягає в забезпеченні абонентові можливості замовлення і перегляду телепередачі (кінофільму) трансльованої на закритому каналі у встановлене оператором зв'язку час. Перед замовленням абонент повинен мати можливість перегляду трейлера до телепередачі (кінофільму) або прочитання анотації. Приклад комерційної назви: «Домашній кінотеатр», «Віртуальний кінозал».

Навігація по контенту ECG (Electronic Content Guide). Послуга навігації з контенту полягає в забезпеченні абонентові можливості переглядати різні види контенту (дані, аудіо, відео), пропонованого оператором зв'язку. Послуга також дозволяє абонентам здійснювати пошук контенту, що цікавить, відповідно до встановлених критеріїв.

Музика на вимогу MoD (Music on Demand). Послуга полягає в забезпеченні абонентові можливості замовлення музичного контенту, наявного у оператора зв'язку, і його прослуховування в індивідуальному порядку у будь-який час з можливістю управління відтворенням з використанням телевізійної абонентської приставки (IP-STB).

Контент абонента (Consumer originated content). Послуга полягає в забезпеченні абонентові можливості завантажувати на сервер оператора власні фотографії, музику або відеофільми для подальшого перегляду (прослуховування) з використанням телевізійної абонентської приставки (IP-STB). В рамках цієї послуги абонент може зробити власний контент доступним іншим абонентам оператора.

Завантаження контенту на приставку (Content download service). Послуга завантаження контенту з використанням телевізійної абонентської приставки STB полягає в забезпеченні абонентові можливості завантаження файлів (відео, аудіо, ігри, караоке) і збереження їх на телевізійній абонентській приставці.

Навігація в мережі Інтернет (World Wide Web). Послуга полягає в забезпеченні абонентові можливості переглядати Web-сторінки на екрані телевізора, а також відправляти і отримувати електронну пошту. Передбачається можливість формування чорного списку ресурсів Інтернету, доступ до яких можливий тільки по окремому пароллю (наприклад, для забезпечення батьківського контролю).

Спілкування (T-communication). Послуга полягає в забезпеченні абонентіві можливості відправляти/отримувати електронну пошту, обмінюватися миттєвими сполученнями з іншими абонентами, спілкуватися в чатах і блогах оператора зв'язку. Передбачається можливість формування чорного списку чатів і блогів, доступ до яких можливий тільки по окремому паролю (наприклад, для забезпечення батьківського контролю).

Телеголосування (TV Voting). Абонентом послуги «Телеголосування» є організація, що бажає провести масові опитування, голосування, конкурси, телемарафони, аналіз громадської думки і інші інтерактивні заходи на телебаченні. Користувачі послуги дістають можливість брати участь в цих телевізійних опитуваннях за допомогою пульта управління телевізійної приставки (IP-STB).

Відображення номера телефону (T-communication CLIP ID). Послуга полягає в забезпеченні абонентіві можливості перегляду на екрані телевізора повідомлення про виклик, що поступив, на домашній телефон і номер телефону того, що дзвонить. Абонентіві надається можливість скинути виклик, переадресувати його на телевізор і розмовляти за допомогою мікрофону, підключеного до телевізійної абонентської приставки, прийняти виклик на стаціонарному телефоні, переадресувати виклик на мобільний телефон або ящик голосової пошти.

Відправка повідомлень SMS (T-communication SMS). Послуга відправки повідомлень SMS забезпечує абонентіві можливість набору короткого повідомлення SMS і його передачі на вказаний номер за допомогою пульта управління телевізійної абонентської приставки STB.

SIP-телефонія VoIP. Послуга телефонного зв'язку на базі технології з комутацією пакетів полягає в забезпеченні абонентіві можливості встановлювати місцеві, внутрішньозонові, міжміські і міжнародні телефонні з'єднання за допомогою абонентської приставки STB, на якій встановлено спеціальне ПЗ та SIP-телефон.

Відеоконференцзв'язок Video Conference (Video Phone). Послуга дозволяє двом і більше абонентам об'єднатися в одну телефонну конференцію.

Домашнє відеоспостереження. Послуга полягає в наданні абонентіві можливості перегляду через Інтернет трансльованого зображення зі встановлених їм відеокамер (у квартирі, офісі та ін.).

7.6 Основні параметри якості IPTV і вимоги до них

Смуга пропускання мережі доступу. Кількість відеоданих, яка може бути відправлена, обмежується тільки смугою пропускання, яка встановлена для мережі доступу. Її зменшення в порівнянні з потрібною приведе до втрати відео пакетів, що спричинить погіршення якості зображення.

Втрата пакетів. Втрата IP пакету може проявитися як у вигляді мало-помітної точки у відеоряду, так і у вигляді помітніших спотворень зображення, коли воно пікселизується або взагалі пропадає. Якщо втрачені пакети відносилися до відтворення І-кадрів, то можуть спостерігатися короточасні втрати відеосигналу. Якщо ж втрачені пакети відносяться до В- або Р-кадрам, тоді наслідки не такі значні, але якість зображення також може постраждати.

Затримка пакетів. У мережі з комутацією пакетів поширеним випадком являється те, що маршрут проходження пакетів не завжди однаковий і пакети можуть прибувати в різний час і не за порядком. Протокол RTP дозволяє таке прибуття пакетів. Пакет може бути оброблений і поміщений в потрібне місце для декодування, оскільки кожен пакет має свій порядковий номер і єдиною умовою є відсутність надмірної затримки, яка може привести до перевищення можливостей приймального буфера декодера. Проте якщо затримка перевищує розмір буфера, пакет відкидається і вважається загубленим.

Джиттер часу прибуття пакетів є оцінним значенням статистичного відхилення часу між прибуттям пакетів даних RTP, яке може бути виміряне за тимчасовим шаблоном RTP. Джиттер впливає на відеопотоки MPEG-2 або H.264, призводячи до погіршення якості відеозображення. Транспортний потік, що переносить опорну частоту, може бути також схильний до впливу джиттера. Цей вплив не-повільно позначиться на процесі декодування, яке виконується ТБ приставкою абонента (STB).

Усі пакети UDP приходять до одержувача один за іншим через деякий інтервал часу (IAT — Inter-Arrival Time, інтервал часу між прибуттями пакетів). Цей проміжок часу в ідеальному випадку має бути постійним. Але в реальності із-за джиттера він постійно змінюється як в позитивну, так і в негативну сторону, і може досягати неприпустимих значень (рис. 7.11).

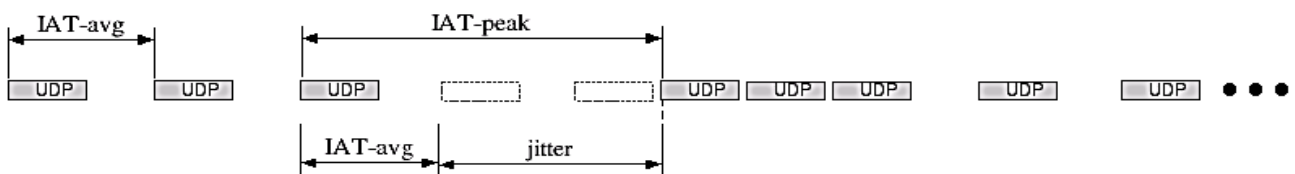


Рисунок 7.11 — Джиттер пакетів UDP

Згідно із стандартом ETSI TS 102 034, розбіжність між максимальними відхиленнями в позитивну і негативну сторону не може перевищувати 40 мс. Інакше, можливе переповнювання або спустошення буфера абонентської приставки (STB — Set Top Voks) і, як наслідок, до помітних дефектів зображення [6].

Чинник затримки (DF — Delay Factor) є максимальною різницею, що отримується на кожному пакеті в медіапотоці між прибуттям медіаданих і їх витіканням (споживанням). Мається на увазі, що витікання

даних здійснюється з номінальною постійною швидкістю трафіку для потоків з постійною швидкістю або з розрахунковою швидкістю для видаваного по частинах трафіку для потоків, що мають змінну швидкість. DF є максимальним зафіксованим значенням незбалансованості швидкості потоку для розрахункового інтервалу.

DF дозволяє визначитися з мінімальним розміром буфера, який потрібно наступному вузлу на маршруті. DF, що має великі значення, вказують на те, що для доставки даних потрібно більше затримки через те, що необхідно заздалегідь заповнити приймаючий буфер, до того як почати брати з нього дані і не викликати повного спустошення буфера[6].

Час зміни (перемикання) каналу (Instant Channel Change) — це інтервал між натисненням клавіші пульта управління і появою на екрані зображення бажаного каналу. Згідно з доповіддю ITU-T [TNO «Perceived Quality of Channel Zapping», Contribution 24 ITU-T, Q9/SG12 February 2006], «для досягнення середньої оцінки якості (Mean Opinion Score, MOS) не менше 3.5, яка визначає нижню допустиму межу якості відео, значення часу перемикання каналу не повинне перевищувати 0,43 сек».

На жаль, із-за особливостей кодування відеоданих, середній час зміни каналу перевищує 1 сек. Значення Instant Channel Change 0,4 сек і менш може бути досягнуто при використанні комбінації одно-адресних потоків з виділеного сервера цільового мовлення і підтримки другої версії протоколу IGMP на вузлі доступу.

Відсутність пікселізації. Піксел є елементом двомірного цифрового зображення прямокутної або квадратної форми. Поява таких пікселів на телевізійній картинці називається пікселизацією і обумовлено втратою пакетів. Наприклад, пропуск однієї точки може проявлятися у вигляді пікселизації декількох кадрів. Якість буде відмінною, якщо коефіцієнт втрати пакетів не перевищує 10^{-6} за час.

Затримки мови. Мова чутлива до затримки. Мала варіація і час затримки — необхідні умови високоякісної інтерактивної розмови. Рівень якості операторського класу буде досягнутий при часі затримки менше 150 мс. Існуючі крайові ЦАП VoIP містять механізм, який маскує затримки до 30 мс.

Доступ в Internet. Доступ в Internet сам по собі нечутливий до тимчасових параметрів мережі доступу. Проте завантаження файлів великого розміру може істотно скоротити пропускну спроможність одночасно працюючих каналів VoIP і IPTV, що неприпустимо. Тому між домашнім шлюзом і DSLAM повинен застосовуватися механізм якості QoS Policy.

Управління доступом. Провайдери послуг Internet зобов'язані гарантувати, що тільки авторизовані користувачі отримують доступ до мережних послуг. Послуги Triple Play з'явилися на ринку тоді, коли ще не

було стандартів аутентифікації користувачів. Тому деякі першопроходці Triple Play для управління процесом аутентифікації між адміністративним сервером і домашнім шлюзом або STB застосовували власне проміжне ПЗ. Залежно від функціональності, воно відповідало за перевірку MAC- адреси домашнього шлюзу або забезпечувало складний процес аутентифікації між адміністративним сервером і домашнім шлюзом.

Вимоги до пропускну́ї спроможності. При використанні Moving Pictures Expert Group-2 (MPEG-2) для стандартного телебачення (Standard Definition TV, SDTV) потрібні швидкість передачі 3-5 Мбіт/с і коефіцієнт втрати IP пакетів не більше 10^{-5} , а для телебачення високої чіткості (High Definition Television, HDTV) потрібно 15–18 Мбіт/с при допустимому коефіцієнті втрати пакетів 10^{-6} .

Вимоги до BER і втраті пакетів. BER і коефіцієнт втрати пакетів пов'язані між собою, але є різними поняттями. Типовий пакет IP містить сім пакетів MPEG-2 по 188 байтів кожен. Втрата одного пакету IP означає втрату 10000 біт. Тому коефіцієнту втрати пакетів 10^{-6} відповідає BER 10^{-10} . Досягнення таких малих значень BER (в порівнянні зі швидким доступом до Internet, що вимагає 10^{-7} при запасі по шуму 6 дБ) можливо лише у разі переходу до FTТх із застосуванням VDSL2, модернізації абонентської телефонної мережі і обов'язкового видалення паралельних відведень.

Захист відео від помилок. Відео особливо чутливо до втрати пакетів. Затримка і її варіація не впливають на якість зображення до тих пір, поки знаходяться в допустимих межах. Вимоги до втрати пакетів визначені у вигляді двох параметрів — Loss Period і Loss Distance. Перший дорівнює загальному часу втрати пакетів, а другий — часу між двома подіями втрати пакетів. Згідно з документом WT-126 DSL Forum, значення Loss Distance повинне складати не більше за один випадок втрати пакетів впродовж 30 с для контенту SDTV і впродовж чотирьох годин — HDTV при величині Loss Period не більше 16 мс.

Програмний метод боротьби с втратою пакетів. Для цієї мети широко використовується метод попередньої корекції помилок FEC на фізичному рівні. Він ще ефективніший на рівні додатків — Application Layer Forward Error Correction (AL-FEC) [7].

Сьогодні найбільш передовою країною в Західній Європі, де комерційне використання IPTV лідирує і за територіальним проникненням, і за кількістю абонентів, є Франція. Тут ринок IPTV розділений між трьома операторами: Neuf Telecom, Free і France Telecom. Разом ці компанії обслуговують близько 1 800 000 абонентів. За Францією слідує Італія і Іспанія. А ось у Великобританії послугами IPTV користуються всього близько 200 000 абонентів. На думку аналітиків, ринок західної Європи по IPTV до кінця 2021 року становитиме 7,5 мільйонів абонентів.

Звичайно, таке зростання буде відбуватися на тлі жорсткої боротьби з іншими телевізійними форматами, в першу чергу з кабельними операторами. В Україні доступ до всього платного телебачення мають понад 2 мільйонів абонентів. При цьому на частку IPTV в кінці 2020 р. припало всього 4% ринку. Якщо судити лише по цим абсолютним цифрам, то можна сказати, що це трохи. З іншого боку, варто враховувати, що за 2020 р. зростання абонентської бази в «українському» IPTV склав 50%, в той час як «кабельники» вирости тільки на 8%.

Питання для самоконтролю

1. Дати визначення і перерахувати основні характеристики IPTV.
2. Як забезпечується рівень якості обслуговування QoS в технологіях IPTV?
3. Описати архітектуру, основні концепції, типові мережеві структури та служби IPTV.
4. Пояснити схему головної станції цифрового телебачення.
5. Призначення програмно-апаратного комплексу (Middleware).
6. Як реалізується система розподілу контенту?
7. Призначення абонентського пристрою в технологіях IPTV.
8. Дати характеристику спектру відеододатків IPTV.
9. Пояснити класифікатор послуг IPTV.
10. Описати основні компоненти IPTV.

Література до розділу 7

1. WIKI IPTV [Електронний ресурс] // wikipedia. — 2015. — Режим доступу до ресурсу: <https://ru.wikipedia.org/wiki/IPTV>.
2. Ананский Д.С., Сабурова С.А.: 17-й Международный молодежный форум «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке». ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА УСЛУГ IPTV».
3. IPTV [Електронний ресурс] // MUVI. — 2017. — Режим доступу до ресурсу: <https://www.muvi.com/blogs/what-is-iptv-how-iptv-works.html>.
4. IPTV RUSSIA [Електронний ресурс] // IPTV в СНГ. — 2020. — Режим доступу до ресурсу: <https://iptv-russia.ru/technology/monitoring-iptv/>.
5. IPTV краткий обзор [Електронний ресурс] // chto-to pro TV. — 2020. — Режим доступу до ресурсу: <https://trushenk.com/chto-takoe-iptv-kratkij-obzor.html>.
6. Всё об IPTV-телевидении [Електронний ресурс] // Всё просто. — 2020. — Режим доступу до ресурсу: <https://vseprost.ru/vsyo-ob-iptv-televidenii.html>.
7. Всё, что нужно знать об IPTV [Електронний ресурс] // HiTech.Expert. — 2020. — Режим доступу до ресурсу: <https://expert.com.ua/116796-vsyo-chto-nuzhno-znat-ob-iptv.html>.

8 МІКРОХВИЛЬОВІ ТЕЛЕРАДІОІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ

8.1 Основні відомості про мікрохвильові телерадіоінформаційні мережі (МТРС)

8.1.1 Класифікація технологій МТРС

МТРС — бездротові мережі, які призначені для передачі кінцевим споживачам радіосигналів систем телерадіомовлення та зв'язку з використанням радіохвиль НВЧ діапазону. Вони є по суті трансформацією класичного мікрохвильового радіорелейного обладнання у зонове ефірне мовлення.

У світі найбільшого поширення набули такі технології МТРС:

- MMDS (Multichannel Multipoint Distribution Service) — багатоканальна багатоточкова розподільна служба;
- LMDS (Local Multipoint Distribution Service) — локальна багатоточкова розподільна служба;
- MVDS (Multipoint Video Distribution Systems) — багатоточкова відео розподільна служба;
- MITRIS — Мікрохвильова інтегрована телерадіоінформаційна система.

8.1.2. Основні переваги МТРС

Системи МТРС набули останніми роками широкого поширення як альтернатива сучасним кабельним мережам, у яких розподільна мережа будується з допомогою прокладки коаксіальних чи оптичних кабелів. Застосування таких систем поряд з високою якістю телесигналу має низку незаперечних переваг перед кабельними мережами:

- не потрібне дороге прокладання підземних або повітряних кабельних ліній;
- легше досягти високої якості сигналу, тому що на шляху його поширення відсутня велика кількість підсилювачів;
- компактність та мобільність, не потрібно утримання великого штату співробітників для експлуатації та ремонту мережі;
- малий час розгортання та відповідно швидка окупність вкладених коштів;
- для розширення мережі в межах зони обслуговування передавача МТРС — не потрібно перепроєктування або переробки обладнання, що передає;
- у разі виникнення технічної чи комерційної необхідності система може бути в короткий термін демонтована та встановлена в іншому місці або продана;
- можливість здійснення широкосмугового мовлення;
- готовність до мовлення у цифровій формі та передачі даних.

Порівняно з мережами ефірного телерадіомовлення в метровому і дециметровому діапазонах МТРС мають такі переваги:

- істотно вищу якість переданого сигналу;
- висока завадостійкість;
- нижчі рівні випромінюваної потужності;
- не потрібно складних капіталомістких споруд (щогл, веж);
- низьке енергоспоживання;
- більш висока інформаційна ємність мікрохвильового діапазону;
- простий перехід до мовлення у цифровому вигляді;
- для більшості систем гарна сумісність із стандартами передачі супутникового мовлення;
- малий час розгортання.

Мікрохвильові розподільчі мережі найчастіше будуються як наземні місцеві розподільні мережі супутникового мовлення. Маючи якість переданого сигналу останніх, МТРС немає недоліків, властивих системам безпосереднього ТБ мовлення (СНТВ), що визначається такими перевагами МТРС:

- абонентському обладнанню для прийому телерадіопрограм достатньо встановлення однонаціленої антени з габаритами істотно меншими, ніж потрібні в СНТВ;
- відсутній дорогий космічний сегмент ретрансляції;
- низька вартість встановлення та експлуатації;
- низькі питомі витрати на канал;
- малий час розгортання;
- проста сумісність та взаємозв'язок із наземними інформаційними мережами;
- можливість використання різноманітних типів розподільчих ліній.

8.1.3 Класифікація МТРС та розподіл радіочастотного ресурсу

Залежно від радіусу дії МТРС класифікуються:

- на великого (понад 30 км) радіусу дії;
- середнього (15...30 км) радіусу дії;
- малого (менше 15 км) радіусу дії;
- стільникові структури (менше 10 км).

За видом інформації МТРС, що передається, можна підрозділити на:

- аналогові телерадіомовні;
- аналогово-цифрові телерадіоінформаційні мовні;
- аналогово-цифрові з наявністю зворотних цифрових каналів;
- повністю цифрові із зворотними радіоканалами.

Згідно з видом обслуговуваної зони МТРС бувають:

- всеспрямовані кругові (спрямованість розглядається від центру кола до його периметру);

- односпрямовані секторні;
- всеспрямовані секторизовані (кругова зона обслуговування ділиться певну кількість секторів).

Розподіл радіочастотного ресурсу між МТРС технологій MMDS, MITRIS, LMDS, MVDS показано на рис. 8.1.

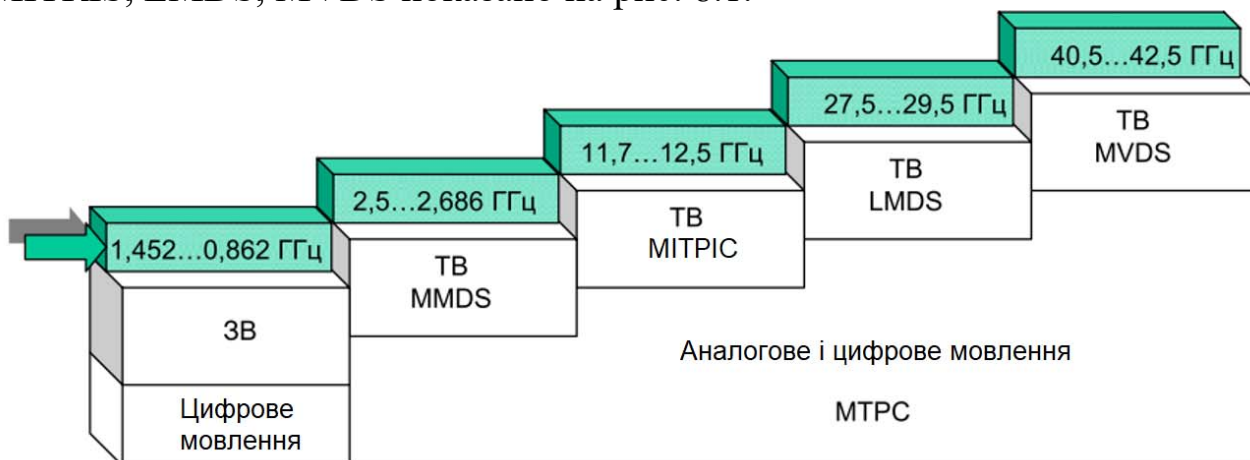


Рисунок 8.1 — Розподіл радіочастотного ресурсу для МТРС

8.1.4 Побудова базового комплексу МТРС

У випадку до складу МТРС (рис. 8.2) входять:

- 1) центральна станція (ЦС);
- 2) розподільні радіолінії або ВОЛЗ;
- 3) вузол стику з кабельними системами;
- 4) супутниковий телепорт;
- 5) телерадіостудія;
- 6) вузол прийому ефірного телерадіомовлення;
- 7) ретранслятори;
- 8) індивідуальні та колективні абонентські станції.

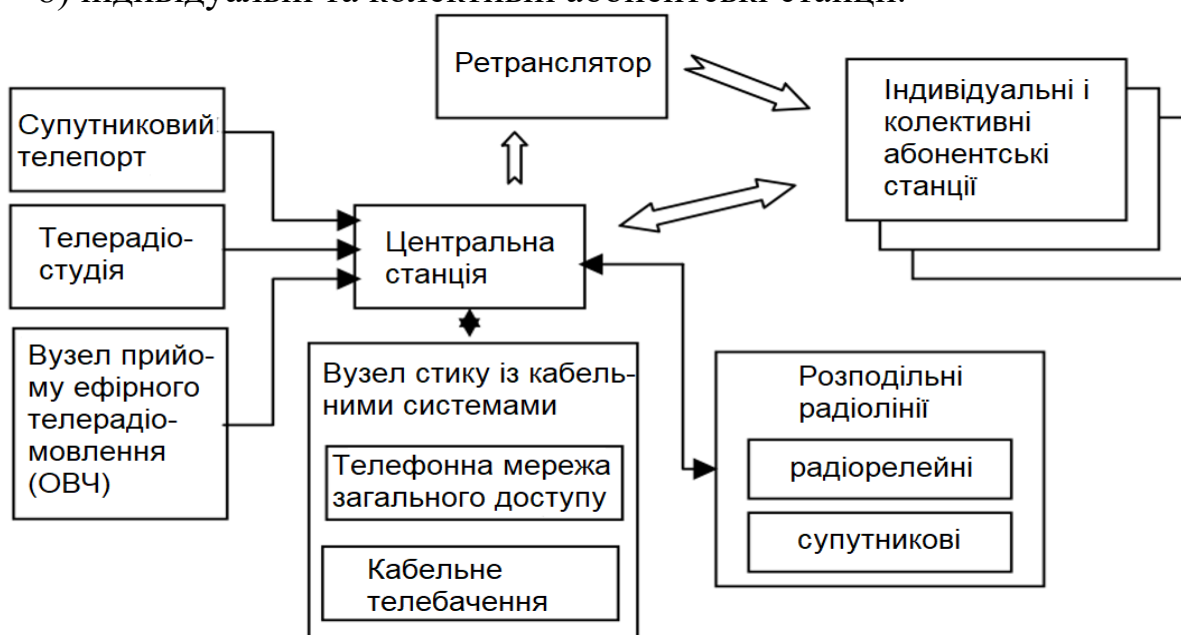


Рисунок 8.2 — Побудова базового комплексу МТРС

Основою МТРС служать центральні станції (рис. 8.3), призначені для прийому, обробки та трансляції телерадіоінформації, що до неї надходить через розподільні радіолінії та кабельні мережі, а також із супутникового телепорту, телерадіостудії та вузла прийому ефірного мовлення. Для обробки та контролю телерадіопрограм, що надходять на ЦС, використовується спеціальний телерадіовузол, склад якого може змінюватися від простого VHS-відеомагнітофона з телевізорами до студійних цифрових відеокомплексів, що дозволяють забезпечити обробку та мультиплексування цифрових телепрограм. Роботу з цифровими потоками даних (доступ в Інтернет або локальну інтранет-мережа) виконує вузол комутації цифрових потоків. Він дозволяє сполучити апаратуру передавачів із цифровими потоками даних, що надходять із радіорелейної та кабельної ліній, супутникового каналу. Також при необхідності до складу вузла комутації може входити повний комплекс обладнання провайдера Інтернет із виходом у телефонну мережу загального користування (ТМЗК).

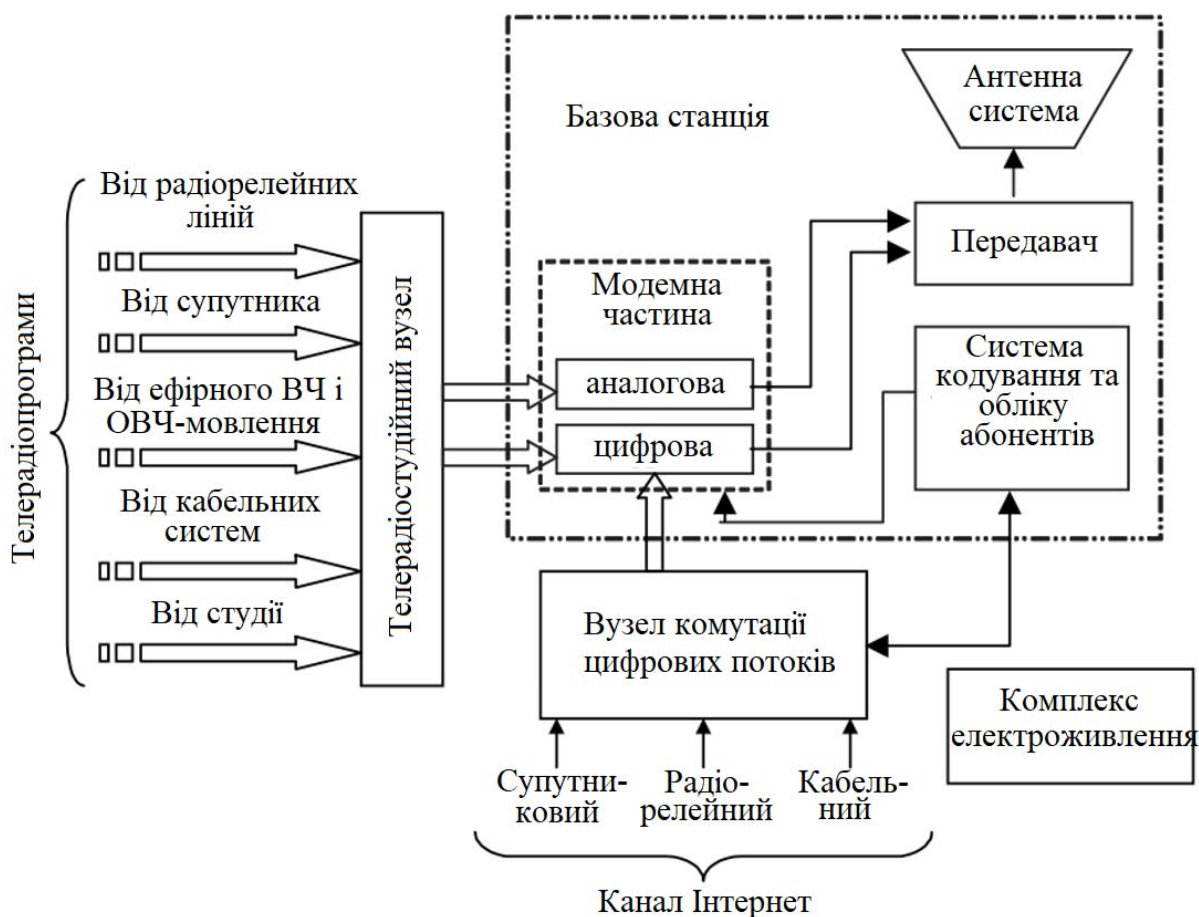


Рисунок 8.3 — Центральна станція МТРС

Система кодування та обліку абонентів спільно з модемною частиною, антеною системою та передавачем (або приймачем) складають так звану базову станцію (БС) — головний вузол із забезпечення трансляції телерадіоінформації в мікрохвильовому діапазоні.

Центральна станція містить систему кодування та обліку абонентів, побудовану на основі комп'ютерної бази даних, аналогової та цифрової систем кодування. Комп'ютерна база даних постійно відслідковує індивідуальні запити абонентів на трансляцію тих чи інших телерадіопрограм та потоку даних, має вихід у ТМЗК та надає вхідні дані для управління системами кодування мовних каналів.

Модемна частина являє собою стійку аналогових і цифрових модемів, що забезпечують необхідну модуляцію сигналів, що надходять на них, і перенесення останніх на вхідну проміжну частоту передавача базової станції. Кількість модемів визначається кількістю передавальних каналів станції.

Залежно від побудови стволів передавача розрізняють передавач із незалежними стволами (рис. 8.4) та груповий (з одним вихідним підсилювачем) (рис. 8.5). При першому побудові кожен канал МТРС має свій окремий передавальний ствол, що незалежний від інших. Об'єднання стволів проводиться у частотному суматорі, безпосередньо пов'язаному з антеною системою. Така побудова дозволяє враховувати особливості конкретного каналу, що передається (метод модуляції, стабільність частоти та ін) і домагатися максимально високої якості сигналу, що транслюється.

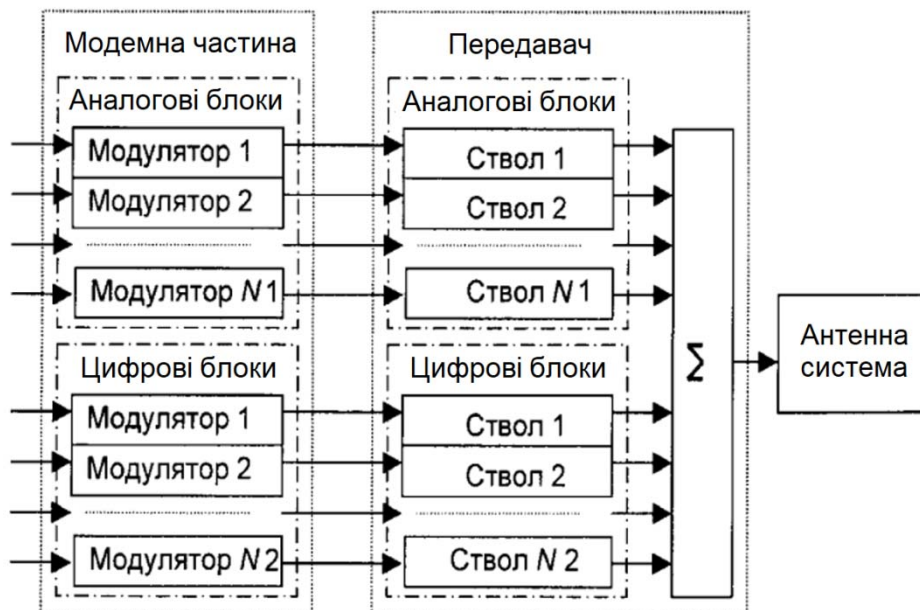


Рисунок 8.4 — Передавач із незалежними стволами

Групова побудова передавача дешевша, але має ряд недоліків, пов'язаних з жорсткими вимогами на єдиний для всіх каналів вихідний широко-смуговий підсилювач потужності. Тут сигнали після модуляторів в конверторах зсуваються по частоті вгору, підсумовуються у пристрої об'єднання і надходять на широко-смуговий підсилювач потужності. Така побудова зручна для трансляції телерадіопрограм у довгохвильовій частині НВЧ-діапазону, де можлива реалізація подібного підсилювача та його надійна

робота при дотриманні всіх вимог, що накладаються на нього, особливо за рівними інтермодуляції та нерівномірності частотно-фазових характеристик. З підвищенням частоти групова побудова передавача стає малоефективною.

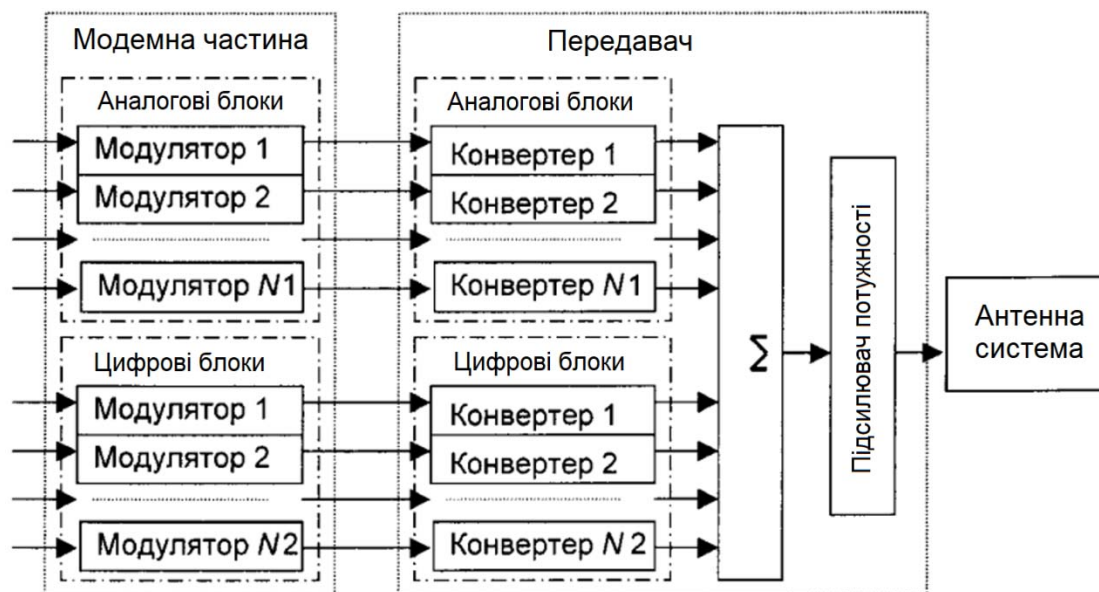


Рисунок 8.5 — Передавач з одним вихідним підсилювачем

У якості антенної системи використовується фідерний тракт на основі хвилеводів або коаксіальних кабелів і антен з звуженими діаграмами спрямованості (ДС) у вертикальній площині, щоб не створювати завад супутниковим приймальним установкам. Антени можуть бути всеспрямованими з круговою ДС та рупорні секторні з розкривами від 30 до 270°. Застосування тих чи інших типів антен визначається потребами за величиною охоплення території, дозволеним сектором мовлення, обмеженнями, що накладаються робочим діапазоном частот, що використовуються, особливостями створеної територіальної телерадіоінформаційної мережі.

Для якісного прийому ЧМ-аналогових та цифрових телерадіоінформаційних сигналів супутникових каналів використовується телепорт, до складу якого входить ряд приймальних комплексів з антенами діаметра від 1,5 до 5 м.

8.1.5 Інфраструктура МТРС

Головним чином, інфраструктуру МТРС утворюють розподільні радіолінії, які з'єднують студійні центри з ЦС, БС з центральною та між собою, а також утворюють з'єднання з ТМЗК та різними лініями волоконного зв'язку (ЛВЗ). Радіолінії будуються переважно на основі мікрохвильових малогабаритних радіорелейних станцій і, рідше на виділених супутникових каналах. Однак через великий обсяг інформації в МТРС (десятки аналогових телеканалів, цифрові потоки з сумарними швидкостями передачі до 100 Мбіт/с) останнім часом як розподільні лінії, де дозволяють

місцеві умови, застосовуються ВОЛЗ. Це особливо важливо для цифрових МТРС в крайвисокочастотного (ВВЧ)-діапазону, які покликані забезпечити повний набір сучасних послуг цифрового доступу як до комп'ютерних мереж, так і до ТМЗК, мультимедійних банків даних.

Призначення ретрансляторів в МТРС аналогічне їх призначенню в традиційному ефірному мовленні — обслуговування тих ділянок зон дії радіопередавача ЦС, де не забезпечується прийом сигналів, що транслюються, з належною якістю через екрануючий вплив рельєфу місцевості, а також для розширення зон обслуговування транслюючої центральної станції.

Найбільшу розмаїтість мають абонентські станції прийому МТРС. Вони можуть бути індивідуальними та колективними, сумісними зі стандартними супутниковими тюнерами або виконаними тільки під певний тип МТРС, призначеними виключно для прийому телепрограм або потоку даних і т.д. Вочевидь, що різноманіття абонентських станцій цілком закономірно визначається типом МТРС, призначенням конкретного абонентського терміналу та її ціною.

8.1.6 Топології побудови МТРС

Залежно від використовуваних БС антенних систем, як було вже відзначено, зона трансляції МТРС може бути кругова (при всеспрямованій антені) і секторна (при відповідній антені або антенах). У круговій зоні дії БС розташовується в центрі кола, радіус якого називають дальністю дії системи. Величина такого радіусу сильно залежить від погодних умов та рельєфу місцевості. Тому, як правило, під радіусом дії мають на увазі відстань від БС до точки впевненого прийому в найгірших погодних умовах для даної місцевості. При розрахунках інтерференції між довколишніми зонами мовлення базових станцій використовується поняття максимального радіусу дії, який визначається як найбільша відстань від БС до точки можливого прийому сигналу МТРС без урахування послаблення радіохвиль у гідрометеорах та впливу поверхні ландшафту.

При круговій зоні трансляції вибір частот мовлення близько розташованих БС (або їх ретрансляторів) слід вибирати, як показано на рис. 8.6. Тут зображено ряд кругових зон із номерами від 1 до 7, які відповідають семи різним робочим частотам передачі. Поляризаційний та часовий поділ каналів передачі рекомендується застосовувати всередині зон мовлення, а не для забезпечення розв'язки між прилеглими зонами, щоб не було жодних передумов для виникнення випадкових перехресних завад однієї зони на іншу.

Обмеженість частотного ресурсу, властива будь-якій радіосистемі (але різною мірою), та необхідність мовлення у певній просторовій зоні при забезпеченні максимальної ефективності використання потужності передавача визначили організацію мовлення секторами. При цьому зона

трансляції (включаючи і круговий випадок) ділиться на парне число (4, 6, 8 і т. д.) кутових секторів, в яких встановлюються передавачі з антенами з секторної ДН. Сектори через один можуть обслуговуватись однаковими (по частоті) передавачами, що підвищує ефективність використання смуги частот у 2, 3, 4 і т.д. Приклад побудови чотирисекторної зони мовлення показано на рис. 8.6. Як видно з малюнка, найбільша небезпека виникнення міжсекторних перешкод лежить у близькій зоні від передавача, де можлива наявність високої щільності випромінювань від бічних пелюсток секторних антен, що висуває останні високі вимоги щодо забезпечення їх придушення. Відбудова сигналів у суміжних секторах організується за рахунок частотного рознесення, зміни поляризації чи способу модуляції.

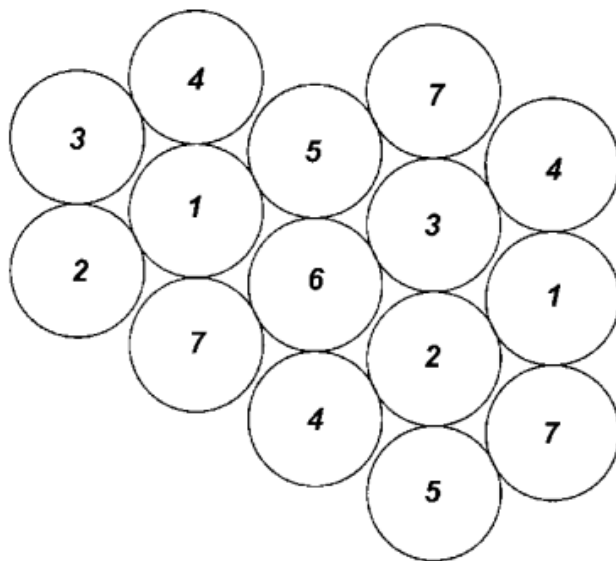


Рисунок 8.6 — Розташування базових станцій: при круговій зоні трансляції

Ефективність використання смуги частот і потужності передавачів для МТРС ВВЧ-діапазону може бути підвищена і за рахунок організації мережі за стільниковим принципом, заснованим на тому, що територія мовлення поділяється на невеликі зони, своєрідні «стільники», кожна з яких обслуговується окремим передавачем. Радіус його дії, як правило, невеликий — до 3...6 км (рис. 8.7).

Кожен такий стільник містить одну базову або ретрансляційну станцію, яка працює в певному частотному каналі і пов'язаний з сусіднім стільником, утворюючи таким чином повну зону обслуговування. Ретрансляційна станція містить два прийомопередавачі та розміщується в центрі стільника. Ці два приймачі називаються базовими або ретрансляційними залежно від виконуваної ними функції. Базовий приймач використовує всепрямовану антену для обслуговування абонентів свого стільника, а ретрансляційний приймач використовує спрямовану антену (у разі радіорелейної лінії) або кабельний канал для встановлення зв'язку з базовою або ретрансляційною станцією в сусідньому стільнику.

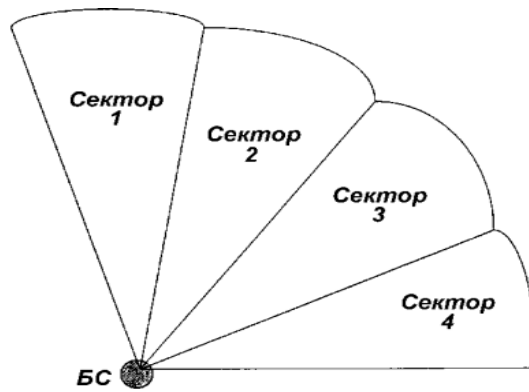


Рисунок 8.7 — Чотирисекторна зона мовлення

Стільникова побудова для МТРС КВЧ-діапазону є єдино можливою. Це зумовлено швидким згасанням міліметрових хвиль в атмосфері. Віддалені стільники з'єднуються оптоволоконном або іншою швидкісною лінією.

Приклади побудови МТРС на основі стільникових структур типу «кільце» та «зірка» представлені на рис. 8.8. Кільцеві структури МТРС можуть будуватися за принципом «кільце в кільці», який дозволяє проводити нарощування мережі по периметру існуючої зони дії, утворюючи зовнішнє кільце з БС, з'єднаних високошвидкісною лінією зв'язку. При цьому всі кільця мають вихід одну загальну ЦС МТРС.

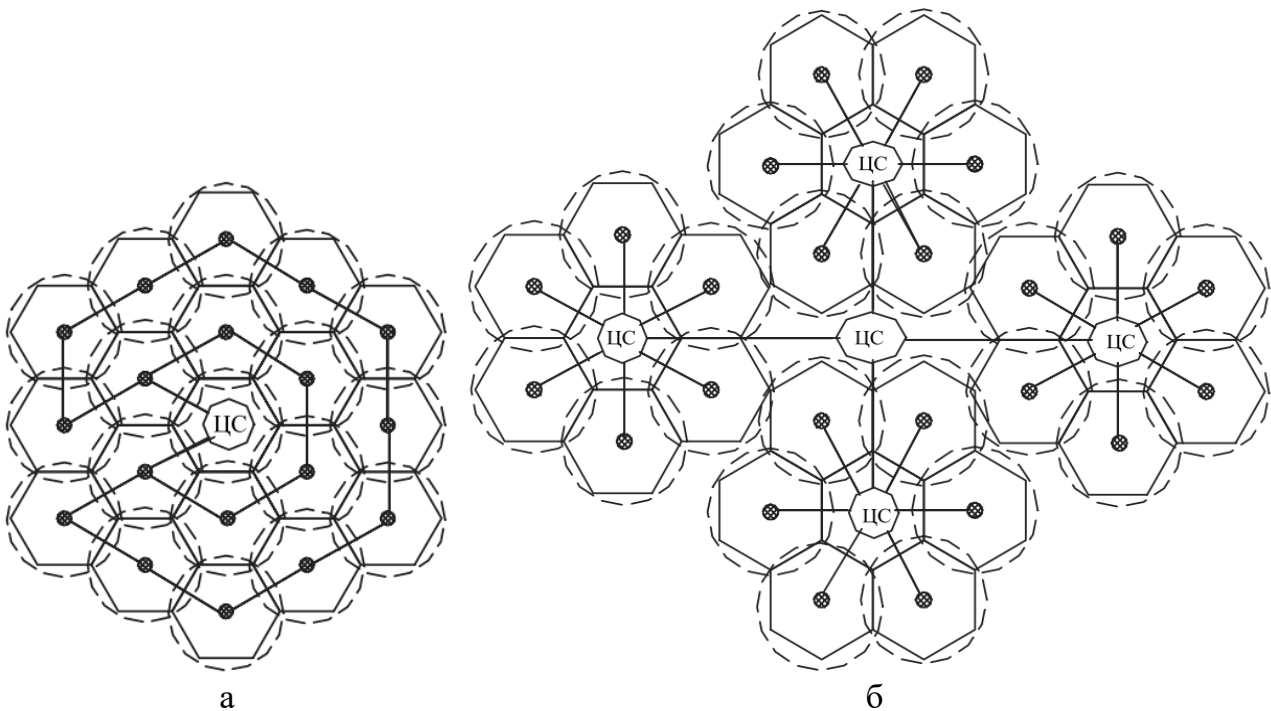


Рисунок 8.8 — Стільникова будова МТРС: а — «кільце»; б — «зірка»

Зіркоподібна структура побудови є найбільш характерною для МТРС та рекомендується при утворенні мережі з ряду незалежних МТРС з однією центральною та розташованими навколо неї базовими станціями. Така структуризація дозволяє створювати розподілену біля мережі, до складу якої можуть входити віддалені МТРС.

8.1.7 Фактори, що зумовлюють труднощі побудови великомасштабної телерадіоінформаційної мережі виключно на основі МТРС

Побудова великомасштабної телерадіоінформаційної мережі винятково з урахуванням МТРС найчастіше неможлива. Це пов'язано з впливом наступних факторів:

1) конкуренція: в будь-якому місці знайдеться хоча б одна інформаційна система, що функціонує, яка значною мірою може задовольняти якусь частину своїх користувачів.

2) вплив рельєфу місцевості: у міських районах з високою щільністю населення та багатоповислою забудовою за наявності розвиненої комунікаційної інфраструктури найефективніше застосування СКТВ;

3) на даний час у країнах СНД існує значний незаможний прошарок населення, який не в змозі дозволити собі користуватися послугами платного телерадіомовлення;

4) збільшення потоку переданої інформації вимагає високошвидкісних ліній зв'язку, як у наземних магістралях використовується ВОЛЗ, а глобальних міжконтинентальних магістралях — супутникові лінії зв'язку.

8.1.8 Утворення телерадіомережі адміністративного району з використанням МТРС разом із СКТВ

Така мережа (рис. 8.9) утворюється двома підмережами з головними центральними станціями ЦС МТРС та ЦС3 СКТВ. До складу першої підмережі входять РТ1, РТ2 та ЦС1 СКТВ, а другий — ЦС2 та ЦС4 СКТВ, БС1, БС2 та БС3 (РТ — ретранслятор МТРС, БС — базова станція МТРС). У якості джерела телерадіосигналів для головних станцій підмереж використовуються канали СНТВ (супутниковий телепорт) і телецентр (телецентр → РПС → ЦС МТРС і телецентр → ЦС2 СКТВ → БС2 → ЦС3 СКТВ). Розподільчими лініями для першої підмережі є радіорелейні лінії (ЦС МТРС → ЦС1 СКТВ і РПС → ЦС МТРС), трансляційні канали ЦС МТРС (ЦС МТРС → РТ1, ЦС МТРС → РТ2, РТ2(1) → ЦС1 СКТВ), а для другої — кабельні лінії (ЦС3 СКТВ → БС2 → ЦС2 СКТВ, ЦС2 СКТВ → БС2 → ЦС3 СКТВ → БС3, ЦС2 СКТВ → БС1) та трансляційні канали БС3(1) (БС3 → ЦС4 СКТВ або БС1 → ЦС4 СКТВ).

У першій підмережі робоча зона формується МТРС у складі ЦС та двох ретрансляторів РТ1 та РТ2. Область радіотіні МТРС заповнює СКТВ із ЦС1, що має приймальну колективну абонентську станцію МТРС. У цій підмережі МТРС виконує як мовленнєву, і розподільчу функцію.

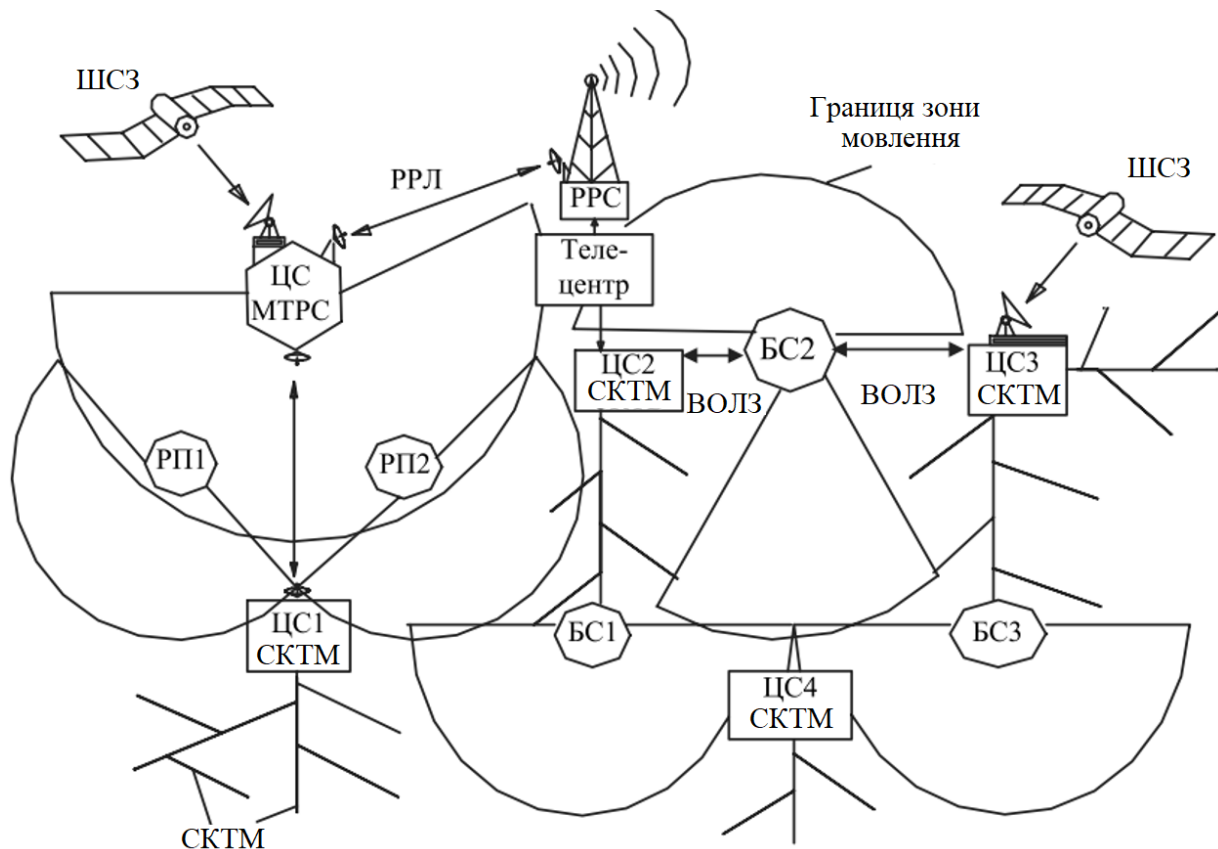


Рисунок 8.9 — Утворення телерадіомережі адміністративного району

8.2 Основні відомості про технологію трансляції сигналів цифрового телебачення МІТРС

Система МІТРС розроблена Інститутом електроніки та зв'язку у співробітництві з НТУУ «КПІ», АТЗТ «РОКС», НВП Геліос РРЛ» та рядом підприємств.

У 1991 р. в Україні були проведені перші дослідження щодо створення в діапазоні 11,7...12,5 ГГц першої вітчизняної розподільчої системи МІТРС (мікрохвильова інтегрована телерадіоінформаційна система). Ця система використовує ті ж частоти, що і супутникові системи теле- і радіомовлення в Ku-діапазоні. Ідея використання цього діапазону частот була пов'язана з можливістю використання телеглядачами системи МІТРС радіоприймачів, що працюють у зазначеному діапазоні та які використовуються для прийому супутникового телебачення. В результаті іноді можуть виникати проблеми взаємних завад від цих двох систем. Однак шляхом раціональної просторової селекції сигналів базової станції МІТРС і супутникових систем зазначений вплив може бути мінімізований або цілком усунутий. Найважливішим перевагою систем сімейства МІТРС є можливість забезпечення інформаційного обміну на значній території (десятки кілометрів при розміщенні однієї базової станції на висоті близько 100 м).

Розроблена система МІТРС є основою екологічно безпечних безпроводових мереж інтегрального обслуговування на базі раціонального поєднання

можливостей мікрохвильових та кабельних розподільчих технологій. Особливість таких мереж полягає у можливості надання на їх основі комплексу телекомунікаційних послуг:

- багатоканального аналогового та/або цифрового, в тому числі інтерактивного телебачення;
- передачі даних та інформаційного обслуговування (включаючи доступ до Інтернету);
- цифрової телефонії;
- телемедицини та дистанційного навчання;
- електронних проплат та торгівлі;
- охоронної та протипожежної сигналізації;
- диспетчеризації інженерного обладнання будівель;
- організації локальних мереж передачі даних для адміністративних органів та органів місцевого самоврядування, установ освіти та науки, промислових підприємств, органів силових структур та ін.;
- циркулярного оповіщення, зокрема в інтересах силових структур.

Існує кілька модифікацій системи МІТРС. Так, МІТРС-М забезпечувала мовлення ТВ- та радіопрограм в аналоговому форматі з частотною модуляцією (ЧМ) при зоні обслуговування радіусом до 60 км у частотному діапазоні 11,7–12,5 ГГц. Абонентські термінали в цій конфігурації, складаються з тюнера, приймального конвертера та гостронаправленої антени. Кількість транслуються телевізійних програм становить не менше 50.

Конфігурація МІТРС-КОМ має два рівні обслуговування: у діапазоні 11,7–12,5 ГГц працює як і у випадку МІТРС-М; у дециметровому діапазоні від ретранслятора ведеться прийом на спеціальну антену дециметрового діапазону (кількість телепрограм, як правило, не перевищує 10).

Інтерактивне телебачення та доступ до Інтернету призначені реалізувати МІТРС-К за допомогою організації цифрових каналів на базі технології DVB (рис. 8.10). Подальшим розвитком цієї конфігурації стали МІТРС-ІНТ та МІДС.

З 1997 р. в Києві почала працювати мікрохвильова інтегрована теле-радіоінформаційна система МІТРС в експериментальному режимі. Частоти в яких розпочиналося це мовлення 11,7–12,5 ГГц. Система також може працювати у діапазонах 27-30 ГГц — «американський» та 40–43 ГГц — «європейський». Система МІТРС-М використовує частотну модуляцію ЧМ сигналу, в цьому є її суттєва різниця від MMDS систем, де використовується амплитудна модуляція (АМ). Застосування ЧМ дає суттєвий вигреш у потужності передавача, до 40 дБ у порівнянні з АМ.

Рівень випромінюваної потужності в системі МІТРС складати 50 мВт на канал, що у 500–1000 разів менше, ніж у MMDS систем. Водночас ширина смуги частот на один телеканал в MMDS системах з АМ складати

8 МГц, а в системі МІТРС з ЧС — 22 МГц, що є природною платою за меншу потужність сигналу. Шаг сітки частот у системі — 28 МГц.

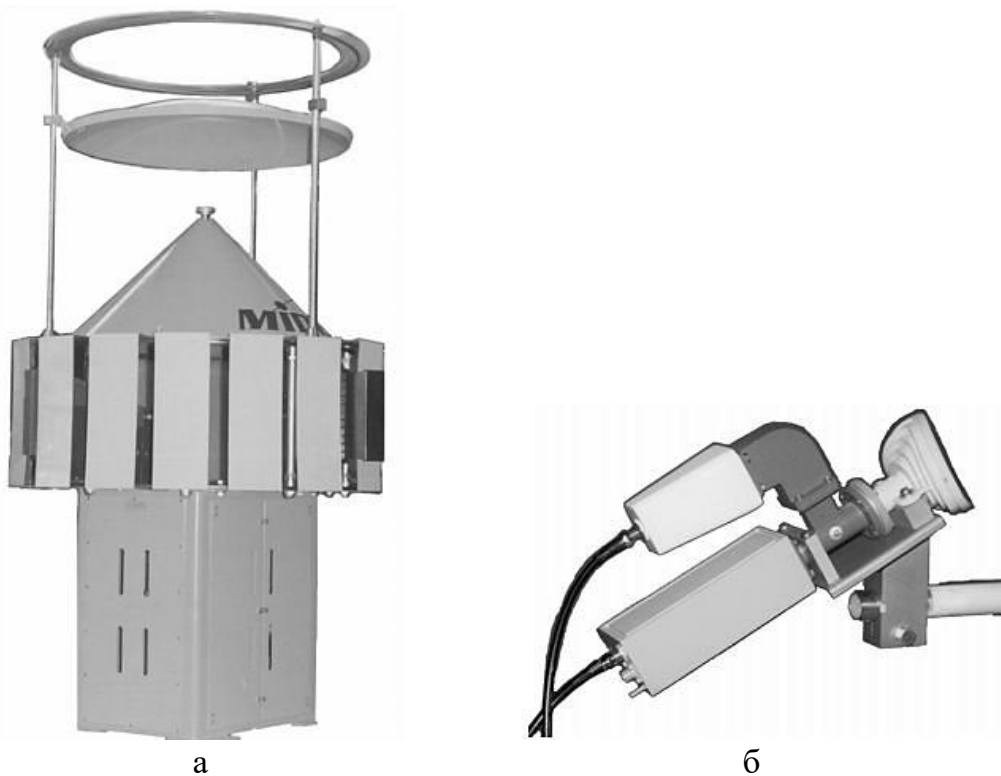


Рисунок 8.10 — Обладнання МІТРС: а — антена з круговою діаграмою направленості та рядом секторних антен БС; б — прийомо-передавач АТ

МІТРС орієнтована на використання дешевого обладнання абонентських супутникових систем, прийом сигналу здійснюється в зоні прямої видимості передавальній антені на відстані: до 5 км — безпосередньо на опромінювач конвертора; до 15 км — на антенну діаметром 20–25 см; до 30 км — антенну діаметром 60 см; до 40 км — на антенну діаметром 90 см. Можливий навіть прийом крізь суху кирплю стіни.

Важливим питанням для розробників МІТРС було теоретичне та практичне вивчення впливу системи на ТВ-прийом безпосередньо зі супутників у тій же смузі частот. Можливе вплив було одним із аргументів противників систем типу МІТРС, прихильників MMDS систем. В результаті досліджень було зроблено висновок, що спільна робота супутникового та наземного мовлення у даній смузі можлива. За рахунок просторового рознесення жодного впливу не спостерігалось (МІТРС працює горизонтальним променем, а супутникові приймальні системи спрямовані вище). Іншим напрямком експериментальної роботи був набір статистики щодо роботи системи в різних атмосферних умовах та роботи в умовах реальної міської забудови.

8.3. Основні відомості про технологію MMDS та її практичне застосування

8.3.1 Історичні аспекти розвитку MMDS

Однією з перших серед МТРС з'явилася американська система MMDS. Незважаючи на те, що діапазон частот, що використовується нею, відноситься до короткохвильової частини дециметрових довжин хвиль, побудова і закладені технічні рішення в MMDS дозволяють їй легко бути переналадженою і в більш високочастотний діапазон, принаймні, до 5 ГГц. Тому прийнято її розглядати як мікрохвильову систему.

Поява MMDS пов'язують із шістдесятима роками, коли Канада та США створили Інформаційну службу телевізійних стандартів (ITFS), що визначила для місцевих розподільчих систем телемовлення у смузі частот 2500...2690 МГц розміщення 31 телевізійного каналу. Ця система мовлення була призначена для забезпечення телевізійними програмами невеликих міст та зв'язку між регіональними телецентрами. Два канали в смузі 2150...2162 МГц були виділені для служб MDS (Multipoint Distribution Service) — багатоточковий розподільної служби. Дані системи, що транслюють лише один канал платного телебачення для споживачів, напрочуд швидко прижилися і до кінця 70-х — початку 80-х обслуговували близько мільйона передплатників. мережі кабельного тіл, що стрімко розвиваються, до цього часу надавали послугам передплатників вже 10...20 каналів за ту ж абонентську плату, що змусило компанії MDS шукати шляхи розширення ринку. У 1983 р. Федеральна служба зв'язку (FCC) США створила багатоканальну систему Multichannel MDS (MMDS) у смузі 2500...2686 МГц із можливістю трансляції до 30 програм телебачення. У США до 1997 р. MMDS охоплено вже понад 5,5 млн. абонентів. На початку 90-х років системи MMDS працювали на всіх континентах земної кулі, обслуговуючи від 100 000 до 250 000 абонентів.

На даний час у західній півкулі впроваджено десятки систем MMDS, які реалізують доступ до Інтернету, надають послуги інтерактивного телебачення та інших ширококугових послуг за технологією бездротового доступу. Декількома фірмами у світі виробляється обладнання, яке дозволяє забезпечувати високошвидкісний доступ до Інтернету будь-якому віддаленому жителю, що знаходиться в зоні впевненого прийому і встановив приймально-передавальну антену MMDS. Серед фахівців, що займаються впровадженням систем MMDS, найбільшою популярністю користується обладнання трьох американських фірм — EMCEE, ADC та Comwave, що перевершує обладнання інших фірм.

8.3.2 Загальна характеристика систем MMDS

Системи MMDS (Microwave Multipoint Distribution Service — мікрохвильові багатоточкові розподільчі системи) набули останніми роками широкого поширення як альтернатива класичним кабельним мережам, в яких розподільна мережа будується за рахунок прокладання коаксіальних або оптичних кабелів.

Можливість інтеграції системи MMDS з високошвидкісним бездротовим обміном цифровими даними дозволяє легко вирішити проблему «останньої» милі (рис. 8.11). Це відкриває додаткові ринки збуту інформаційних послуг віддаленим користувачам, які розташовані на величезному просторі, який може охоплювати тільки система MMDS, забезпечуючи радіус мовлення, обмежений лінією горизонту (близько 60 км).

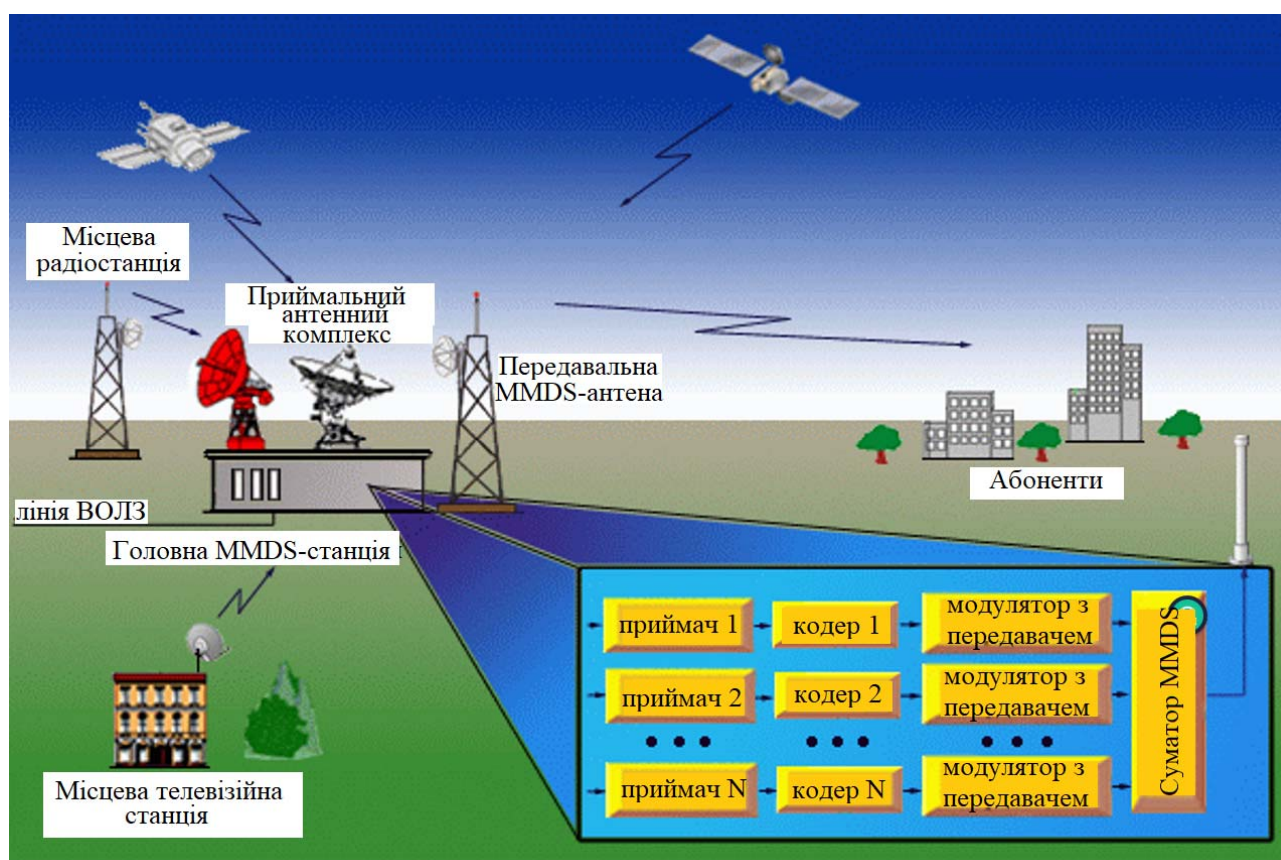


Рисунок 8.11 — Телерадіомовлення з урахуванням системи MMDS

Дані, що запитуються користувачами, транслюються низхідними потоками в цифрових каналах, що використовують модуляцію QPSK, 16-, 32-, 64-, 128- або 256-QAM. При цьому, залежно від ширини каналу та вибраної схеми модуляції сигналу, в одному ТВ-каналі шириною до 8 МГц забезпечується швидкість передачі даних до 56 Мбіт/сек. Користувачі отримують дані з Internet зі швидкістю всього каналу, який використовується в режимі поділу часу, що у 1000–1500 разів швидше, ніж дозволяє аналоговий телефонний модем (33,6 Кбіт/с), у 200–400 разів швидше, ніж

за лінією ISDN (64 і 128 Кбіт/с), і в 20-30 разів швидше, ніж виділеним каналом E1 або RadioEthernet (2 Мбіт/с).

Радіус зони обслуговування системи MMDS визначається висотою підвісу передавальної антени, потужністю передавача, кількістю каналів, що передаються, втратами в антенно-фідерному тракті і коефіцієнтом посилення передавальної та приймальної антен.

8.3.3 Переваги MMDS систем

Застосування таких систем має низку незаперечних переваг перед кабельними мережами:

Головна перевага мереж MMDS перед кабельними мережами полягає в тому, що вони вимагають менших капітальних витрат (щонайменше **в чотири рази** при 100 розподільних точках у радіусі 20 км від телецентру). При цьому розгортання головної станції MMDS займає лише кілька днів.

Система MMDS у порівнянні з кабельною мережею компактніша і мобільніша, не вимагає утримання великого штату співробітників для експлуатації та ремонту мережі.

Мережа на основі MMDS розгортається всього за кілька днів і відразу починає окупувати вкладені кошти.

Використання систем MMDS у багатоканальних системах наземного телебачення має низку переваг в порівнянні зі звичайними системами наземного телемовлення:

– Вони мають можливість передачі до 25 телевізійних програм, залежно від стандарту за аналогового сигналу і в 4–6 разів більше за модуляції цифровими сигналами стандарту MPEG-2.

– Радіо- та телемовлення ведеться на екологічно безпечному рівні, коли сумарна потужність передавача не перевищує 1000 Вт (переважно 1–10 Вт). (Довідка: в системах ТБ-мовлення, що застосовуються зараз, використовуються передавачі потужністю в метровому діапазоні до 50 кВт, в дециметровому — до 10 кВт, при цьому рівень електромагнітного поля поблизу телецентрів може перевищувати допустимі норми).

– Порівняльна дешевизна абонентської установки за рахунок використання малогабаритної компактної антени з лінійними розмірами 15–25 см.

– Висока якість сигналів через порівняно низький рівень перешкод у виділених для цих систем діапазонах частот (2,5–2,7 ГГц).

– Незалежність умов прийому від телевізійних стандартів NTSC, PAL, SECAM оцифровки сигналів.

– Системи MMDS дозволяють усунути так звані «мертві зони» у великих містах із багатоповерховою забудовою. Вони забезпечують значну економію коштів, порівняно з будівництвом систем кабельного телебачення (СКТВ). Якщо в розгалуженій кабельній мережі потрібно перекрити

окремі ділянки довжиною 5...20 км, то варіант з ретранслятором може виявитися кращим за прокладання кабелю.

– Істотно зменшуються експлуатаційні витрати завдяки відсутності протяжних магістральних та субмагістральних ліній.

– Підвищується надійність системи теле- і радіомовлення, оскільки кабельні лінії вразливі при різноманітних реконструкціях, що проводяться в містах, та стихійних лих (пожежа, землетрус, техногенні надзвичайні події).

– Системи стільникового телебачення на основі технології MMDS відкривають широкі можливості і щодо збільшення кількості програм, що ретранслюються на регіональному рівні: замість 2–5 каналів телеглядачі матимуть змогу побачити від 25 аналогових до 100 цифрових зарубіжних каналів.

– Час розгортання системи MMDS в залежності від її конфігурації лежить у межах від кількох днів до двох-трьох тижнів.

Дуже важливою відмінністю систем MMDS вважатимуться їх доступність для широких верств населення з різним рівнем доходів. MMDS може використовуватися і як простий і недорогий джерело отримання телевізійних програм для населення міста, і як система платного телебачення з пакетами закритих каналів для більш вимогливих клієнтів, і як засіб доступу до передачі даних, INTERNET, телефонії.

Трафік Інтернет несиметричний: інтенсивність інформації у прямому каналі в 10–20 разів вища за інтенсивність передачі запитів. Тому у зворотному каналі використовуються простіші схеми модуляції: QPSK і 16QAM, що становить відповідно 12 і 25 Мбіт/сек у смузі 8 МГц.

8.3.4 Компоненти системи MMDS

Як видно з блок-схеми на рис. 8.12, система **MMDS** складається в найпростішому випадку з групи модуляторів (число каналів), суматора і конвертора-передавача. На вхід системи можуть бути подані сигнали з приймальних телевізійних антен метрового або дециметрового діапазону, супутникової приймальної системи або сигнал місцевої телевізійної студії. Кожна із програм, поданих на вхід системи, конвертується таким чином, щоб можна було сформувати груповий сигнал із шириною смуги до 200 МГц, що дозволяє в загальному випадку передавати до **25** телепрограм у стандарті D/K. Далі груповий сигнал фільтрується і конвертується в діапазон **2500–2700** МГц, посилюється і подається на антену. Оскільки прийом сигналу цих частотах можливий лише межах прямої видимості, дуже важливо розмістити передавальну антену достатньої висоти для якісного обслуговування необхідної території.

Приймальна частина обладнання виконана дуже компактно. Вона складається з невеликої приймальної антени і понижуючого конвертера, який переносить груповий сигнал з діапазону 2,5–2,7 ГГц в необхідний

діапазон метрових або дециметрових хвиль (найчастіше використовуються конвертори, що конвертують на початок або кінець ДМВ — діапазону). Поскілки при передавані застосовується амплітудна модуляція, прийнята в ефірному телебаченні, на виході приймального конвертера виділяються сигнали телевізійних програм у звичайному вигляді. Вихід конвертера можна підключити безпосередньо до телевізора абонента (при індивідуальному прийомі), до будинкової розподільної мережі (за багатоповерхової забудови) або до входу головної станції локальної кабельної мережі, якщо встановити приймальну антену на кожен будинок неможливо.

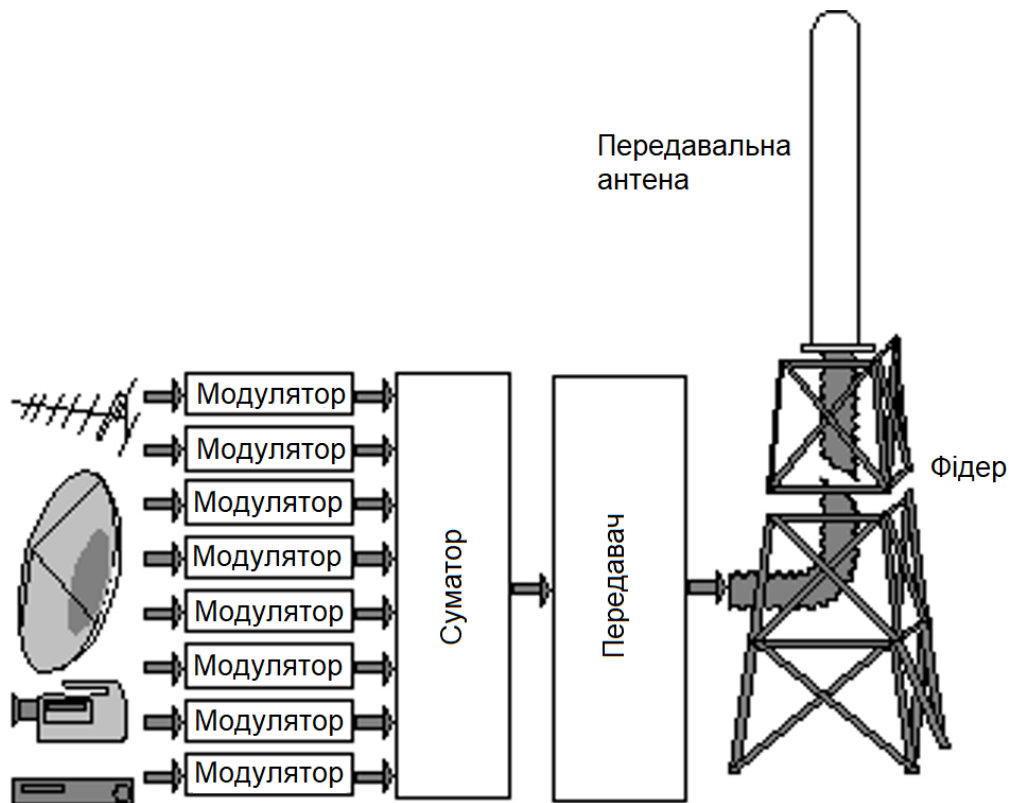


Рисунок 8.12 — Узагальнена структурна схема передавальної ТВ системи на основі MMDS

Комплект передавального обладнання системи MMDS включає такі компоненти:

- модулятори;
- вхідну приймальну систему;
- цифро/аналогові передавачі (або один груповий на N каналів);
- цифро/аналоговий суматор каналів;
- систему мережевого управління;
- автоматичну чи ручну систему резервування;
- широкосмугові ретранслятори (за потреби);
- антени;
- хвилевід та коаксіальний кабель.

8.3.5 Модулятори

Зазвичай у наземному телебаченні передачі зображення використовуються аналогові сигнали АМ, а передачі сигналів звукового супроводу застосовується ЧМ. При цьому модулятори в системах MMDS нічим не відрізняються від модуляторів передавачів метрового та нижньої частини (від 300 до 860 МГц) дециметрового діапазону.

Пропоновані компанією ADC NTSC/PAL-модулятори серії 5013 ідеальні для використання з широкосмуговими передавачами MMDS. Модулятори, що повністю перебудовуються — з вихідною частотою від 138 до 408 МГц. Високорівневим змішуванням та багаторівневою фільтрацією досягається низьке значення позасмугових перешкод.

Впровадження в наземному телемовленні цифрових методів передачі вимагає заміни аналогових модуляторів на цифрові. Крім того, потрібна модернізація побутових телевізійних приймачів.

8.3.6 Передавачі MMDS

У практиці проектування та монтажу систем MMDS використовуються два варіанти побудови структурних схем — одноканальний та багатоканальний. Таким чином, передавачі можуть бути груповими (багатоканальними) і одноканальними, і призначатися передачі як аналогових, так і цифрових сигналів. Крім того, передавачі можуть бути розраховані для роботи в приміщеннях та поза приміщенням поблизу антени. Варіант розміщення передавача біля антени дозволяє практично виключити втрати у лініях фідерів, але при значних коливаннях температури і вологості різко зростають вимоги до надійності роботи. Звичайно, що ускладнюється і експлуатаційне обслуговування.

Передавачі сумісні з будь-якими модуляторами, що працюють у діапазоні 138...408 МГц. Блокова конструкція дозволяє уніфікувати різні моделі, передбачена вбудована система дистанційної діагностики, а також є захист від перенапруг та коротких замикань.

При несправності основного передавача система автоматичного резервування відключає несправний передавач, перебудовує резервний передавач на задану частоту, забезпечуючи комутацію на нього вхідних і вихідних сигналів. Блок пам'яті системи резервування фіксує час і причину несправності та надсилає оператору системи повідомлення про введення резервного передавача в дію.

В одноканальному варіанті передачі N-телевізійних програм застосовується N-передавальних пристроїв, що включають модулятор і власне передавач, а підсумовування потужності різних передавачів проводиться в антені (див. рис. 8.13).

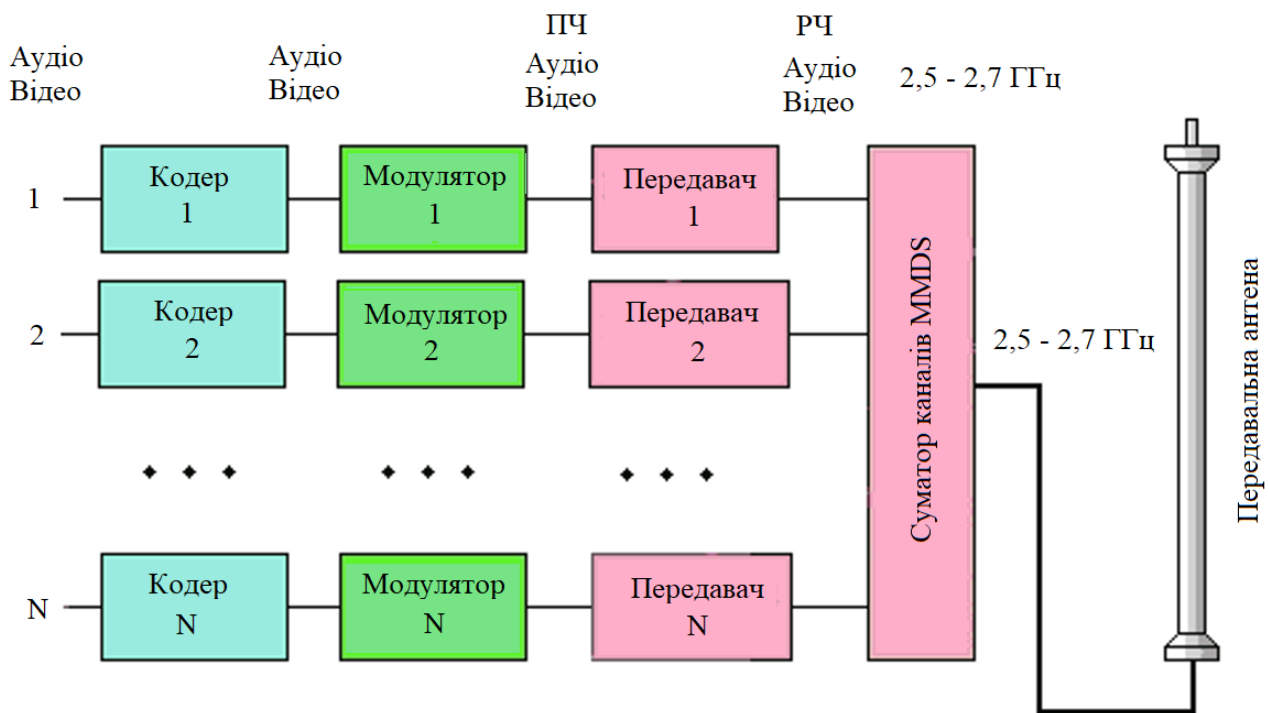


Рисунок 8.13 — Структурна схема системи MMDS під час використання одноканалних передавачів

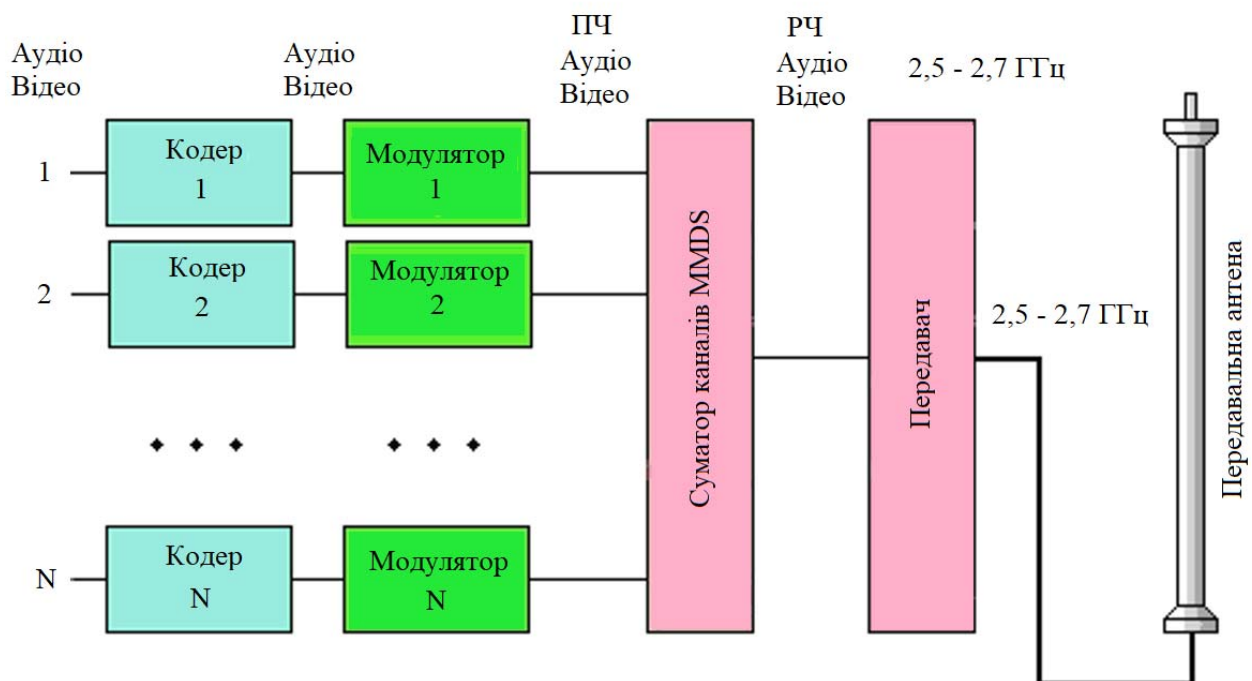


Рисунок 8.14 — Структурна схема системи MMDS при багатоканальному передавачі

У багатоканальному варіанті передані N-телевізійних програм спочатку надходять на свої модулятори, далі формується груповий сигнал, який модулює широкопasmовий передавач, що працює на загальну антену (див. рис. 8.14).

У смузі 2500...2700 МГц може бути розміщений **31** канал аналогового телебачення стандарту NTSC (смуга каналу 6 МГц) і **24** каналу стандарту PAL і SECAM (смуга 8 МГц).

В одноканальному варіанті вся потужність випромінюється у цьому каналі, а багатоканальному варіанті — зменшується при 8 каналах приблизно 50 раз, тобто. потужність у кожному каналі падає приблизно $2N$ разів.

Під час передачі по системі ТВ-сигналів радіоджерелом передачі їх споживачам служить цифрова головна станція. Відеосигнали від супутника, місцевих телевізійних станцій або відеомагнітофонів кодуються (кодер MPEG) і мультиплекуються в транспортні потоки, що включають сигнали від 4-х до 10-ти індивідуальних відеосерверів.

Багатоканальні або групові передавачі доцільно використовувати в невеликих містах та селищах міського типу, де радіус зони покриття не перевищує 6 км.

Одноканальні передавачі серії **5720** (рис. 8.15) дозволяють передавати як аналогові телевізійні сигнали (PAL, NTSC), і цифрові (QAM, QPSK). Як аналогового, так цифрового мовлення є ланцюга корекції частотної характеристики системи автоматичного регулювання рівня сигналу (APU).



Рисунок 8.15 — Цифро-аналоговий MMDS передавач компанії ADC серія 5720

Вихідна потужність передавачів цього модельного ряду знаходиться в діапазоні **2,5–100 Вт** — для модульованого цифрового сигналу та **10–280 Вт** — для аналогового.

Модульне виконання передавачів спрощує їх встановлення, експлуатацію та заміну.

Автоматичне перемикавання на резервні модулі дозволяє не переривати мовлення у разі збоїв.

Передавач **5720** має вбудовані модулятори мовної якості для телевізійних сигналів NTSC, PAL. Це значно економить стійкий простір і дозволяє розмістити систему MMDS на 31 канал у 4 стійках.

Широкопasmовий передавач серії ITS-6450B (рис. 8.16) дозволяє одночасно посилювати та мовити 24 телевізійних канали. У цьому ряді передавачів є моделі з вихідною потужністю від 50 до 1300 Вт. При практично рівних відносинах сигнал/шум (52–55 дБ) у широкопasmового передавача

через поділ потужності на число каналів зона мовлення буде менше, ніж у одноканального. Проте, для невеликих міст та селищ це ефективніше за вартістю рішення.

Широкопasmовий передавач можна використовувати як на головній MMDS станції, так і як широкопasmовий ретранслятор для збільшення зони мовлення і, відповідно, числа абонентів. Передавач ITS-6450B приймає на вході VHF/UHF сигнали, піднімає вгору по частоті і вирівнює рівень вихідного сигналу.

Використання корекції дозволяє зменшити споживану потужність та інтерференційні спотворення.



Рисунок 8.16 — Широкопasmовий MMDS-передавач серії 6450B компанії ADC

8.3.7 Передавальна антена та елементи хвилеводного тракту

Передавальна антена діапазону 2,5 ГГц являє собою вертикальну фазовану антенну решітку (ФАР), покрити радіопрозорим кожухом. Чим більший коефіцієнт посилення антени, тим більше її розміри і, відповідно, ціна. Як правило, застосовуються антени з круговою 360° (в горизонтальній площині) ДН.

Досить поширеними є ще два типи передаючих антен: односекторні (кардіоїдні) 180° та 120° ; двосекторні 120° (у двох протилежних напрямках, у кожному по 60°). Посилення антени досягається звуженням ДН у вертикальній площині.

Іноді застосування всепрямованої антени є недоцільним — наприклад, у приморських містах, які зазвичай займають вузьку смугу вздовж берега. У разі доцільно застосування однієї чи кількох спрямованих антен, до створення ДН заданої форми.

На частотах 2,5–2,7 ГГц загасання сигналу в хвилеводному тракті значно, тому, щоб підвести потужність від передавача до антени з міні-

мальними втратами, доводиться застосовувати спеціальні коаксіальні фідери з повітряним діелектриком, а за великої довжини тракту — жорсткі хвилеводи. Для електричного та механічного з'єднання таких ліній з антеною та передавачем використовуються спеціальні роз'єми та перехідники.

При використанні фідерної лінії коаксіального кабелю радіус зони покриття зменшується в 1,7...1,8 рази за рахунок збільшення втрат в кабелі в порівнянні з хвилеводом.

8.3.8 Ретранслятори MMDS

При різноповерховій міській забудові, наявності екрануючих перешкод (висот, технічних споруд тощо) або складного рельєфу місцевості для виключення «мертвих зон», що виникають при цьому, в яких пряма видимість між антеною базової станції та антенами абонентських терміналів не забезпечується, використовуються ретранслятори (рис. 8.17). Ретранслятор — це частіше необслуговуваний приймально-передавальний комплекс, що складається з приймальних та передаючих антен, широко-смужових підсилювачів з фільтруючими блоками та фідерних ліній.

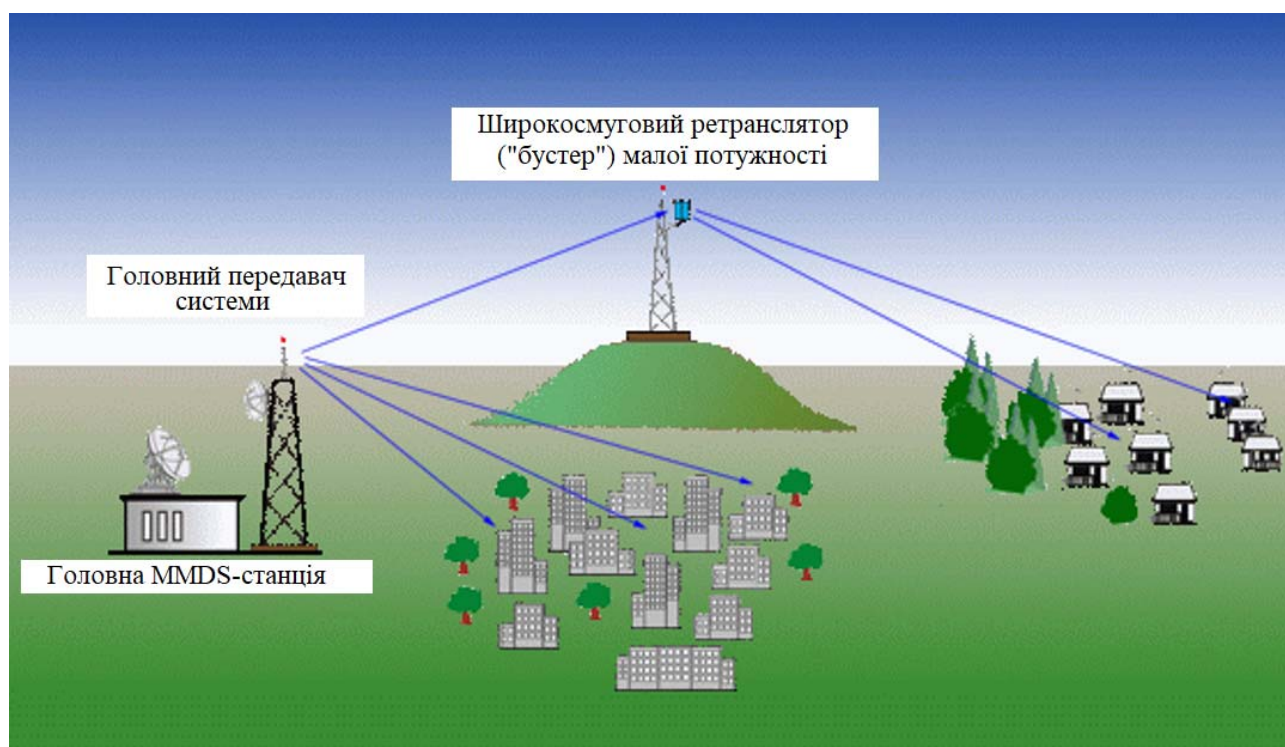


Рисунок 8.17 — Схема передачі сигналу в MMDS-системі

Сигнал випромінюється ретранслятором на тій же частоті, на якій приймається. Щоб **виключити завади** абонентам, що перебувають у зоні обслуговування ретранслятора та основного передавача, передача з ретранслятора здійснюється в іншій поляризації або вибирається відповідна конфігурація ДН приймальної та передавальної антен ретранслятора.

Передавач та приймач ретранслятора розміщуються поблизу відповідних антен, мають герметичний корпус та систему терморегулювання, які надійно захищають їх від впливу погодних умов.

Ретранслятор 605С (booster) — використовується для розширення зони прийому або для ретрансляції основного сигналу в область радіотіні. Система АРУ ретранслятора забезпечує постійний рівень вихідного сигналу при різниці сигналів, що приймаються до **30 дБ** (рис. 8.18).

Ретранслятор може розміщуватися у захищеному всепогодному корпусі, що забезпечує необхідний вологий і температурний режим.



Рисунок 8.18 — Зовнішній широкосмуговий ретранслятор (бустер) MMDS компанії ADC серії 605С

Ретранслятори 6479А серії — широкосмугові підсилювачі, що монтується в стійку, які забезпечують мультиканальну ретрансляцію сигналів в діапазоні 2076–2686 МГц. Можливий вибір із семи модулів, завдяки чому забезпечується від 20 до 1300 Вт пікової потужності (рис. 8.19).



Рисунок 8.19 — Широкосмуговий ретранслятор(бустер) MMDS компанії ADC серії 6479А

8.3.9 Система управління приймально-передавальним обладнанням MMDS

Система SCADA (ITS-5001) — мікропроцесорна система управління та моніторингу, що дозволяє оператору MMDS у режимі реального часу здійснювати контроль та управління приймально-передавальним обладнанням та системою автоматичного резервування з одного робочого місця — персонального комп'ютера, який може розташовуватися як безпосередньо поблизу обладнання, так і в будь-якому віддаленні від нього. GUI (GUI — графічний інтерфейс користувача), що працює під NT та UNIX, дозволяє налаштувати контроль системи в термінах робочих коридорів та порогових значень. Керування здійснюється за протоколом SNMP. SCADA-контролер змонтований у стійку та має простий у використанні інтерфейс. Контролер з'єднаний із головним передавачем резервним обладнанням та з інтерфейсним обладнанням вузла через мережу, побудовану на RS-485. Інтерфейс вузла має цифровий та аналоговий входи для моніторингу параметрів, таких як змінна напруга, температура, та забезпечення безпеки. Структурну схему системи мережевого управління SCADA наведено на рис. 8.20.

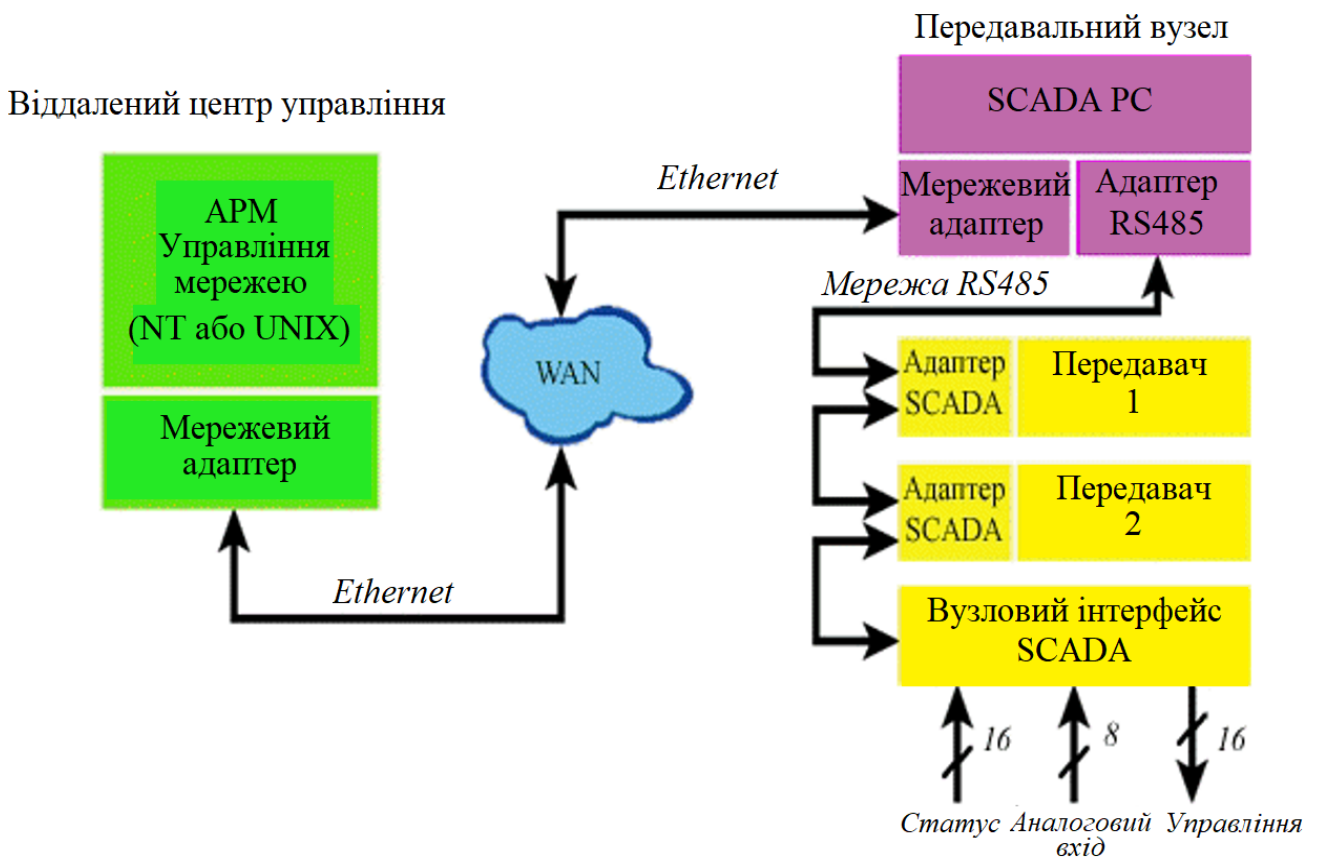


Рисунок 8.20 Функціональна схема системи мережевого керування SCADA

8.3.10 Приймальні антени та конвертери

У абонента встановлюється антена, що монтується на стіні будівлі, малошумливий конвертер і стандартний ресивер. Антени, залежно від виду ДН, поділяються на три типи: всеспрямовані, секторні та спрямовані.

Всеспрямовані антени («omni») — мають кругову діаграму спрямованості у горизонтальній площині, вертикальну поляризацію та коефіцієнт посилення від 3 до 12 дБ. Ширина діаграми спрямованості у вертикальній площині пов'язана з коефіцієнтом посилення антени і змінюється від 60° — при коефіцієнті посилення 3 дБ до 7° — при посиленні 12 дБ.

Всеспрямовані антени використовуються для створення бездротових точок доступу за умови довільного розташування абонентів.

Секторні антени мають ширину діаграми спрямованості в горизонтальній площині від 35 до 180 і використовуються для створення секторованих точок доступу, що забезпечують просторовий поділ абонентів. Така побудова антени точки доступу дозволяє підвищити її пропускну здатність за рахунок підключення окремих пристроїв до різних антен, а також більш раціонально використовувати наявний частотно-енергетичний ресурс системи.

Спрямовані антени застосовуються для забезпечення максимальної дальності радіолінії, а також зв'язку бездротових абонентів з головною станцією MMDS-системи. Коефіцієнт посилення і, тип спрямованої антени, вибираються виходячи з необхідності забезпечення необхідних енергетичних параметрів радіолінії.

Приймальна антена та конвертор, як правило, конструктивно виконані як єдиний виріб (див. рис. 8.21). Для прийому в межах запланованої зони обслуговування зазвичай досить невеликих антен типу «хвильовий канал» з посиленням 18дБ. Для розширення зони обслуговування може застосовуватися кілька типів приймальних антен: хвильовий канал з конструктивно вбудованим конвертором, параболічні приймальні антени з коефіцієнтом посилення 21, 24 і 28 дБ і квазілоперіодичні антени.

Антени мають невеликі розміри та надійну, механічно міцну конструкцію, у всіх типах антен конструктивно встановлений малошумний знижувальний конвертор (в діапазон 50–860 МГц). Всі антени призначені для зовнішньої установки, мають всепогодне виконання. Безпосереднє розміщення конвертора поруч із антеною дозволяє зменшити втрати в кабелі, які можуть бути найбільш суттєвими на НВЧ частотах. Знижувальний конвертер переносить прийнятий груповий сигнал з діапазону 2,5 ГГц в необхідний прийом телевізійного приймача діапазон метрових або дециметрових хвиль. Так як при передачі застосовується амплітудна модуляція, прийнята в ефірному телебаченні, на виході приймального конвертера виділяються сигнали телевізійних програм у звичайному вигляді. Частота

гетеродина конвертера визначається замовником та забезпечує конвертування телевізійних каналів в один із діапазонів 222–408 МГц (МВ-канали) або 662–848 МГц (ДМВ). Вихід конвертера можна підключити безпосередньо до телевізора абонента, до будинкової розподільної мережі (при багатопверховій забудові) або до входу головної станції локальної кабельної мережі (при складній забудові різноповерхової, якщо встановити приймальну антену на кожен будинок неможливо).

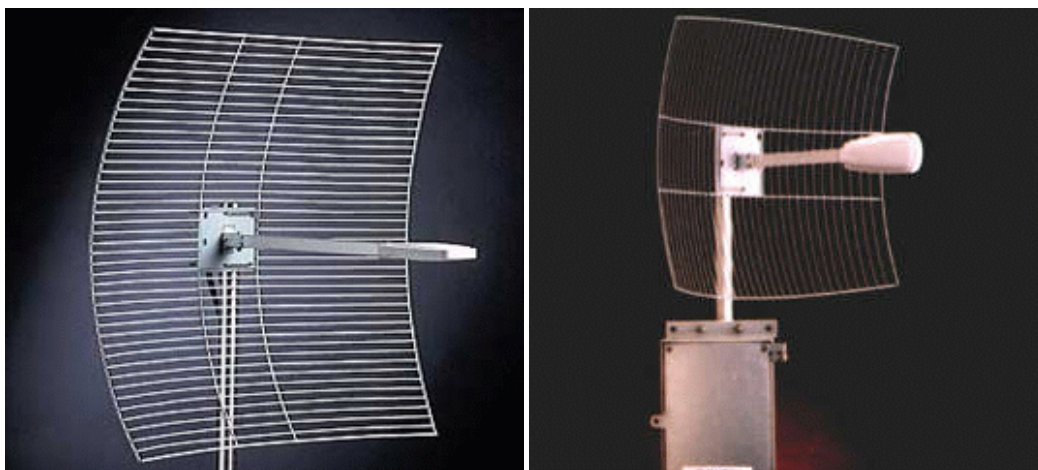


Рисунок 8.21 — Приклади абонентських антен:
із вбудованим знижувальним конвертером

8.3.11 Приклад системи MMDS для організації широкопasmового бездротового доступу

Система Axity™ являє собою станцію місцевого обслуговування MMDS, призначену для організації двонаправлених розподільчих мереж, яка може використовуватися для передачі даних телефонії та будь-яких IP-додатків за допомогою радіозв'язку в умовах прямої видимості.

MMDS Axity™ працює в діапазоні 2,5...2,7 ГГц, що знижує вплив погодних умов та місцевої рослинності на поширення радіосигналу. Мережу радіодоступу утворюють одна базова станція (BS) та термінальні станції користувача (CPE) (антена, блок приймача, мережевий термінал). BS підтримує двосторонній зв'язок більш ніж з 8000 абонентами, здійснюючи прийом та передачу вхідних та вихідних сигналів у режимі «точка — багато точок» (point-to-multipoint) до кінцевого користувача радіотерміналу та від нього, що дає можливість корпораціям об'єднувати в єдину мережу все свої ланки, що знаходяться на відстані 40 км, у межах досяжності сигналу.

Axity™ має потужні механізми розподілу смуги пропускання. Наявність у системі керування функції QoS дозволяє гнучко встановлювати рівні обслуговування залежно від потреб клієнта та завантаження мережі, визначаючи мінімальну гарантовану смугу пропускання кожного користувача загального ресурсу.

Апаратура станції включає передавачі для прямого каналу, приймачі зворотного каналу, автоматичну систему моніторингу та управління, еталонний генератор. Широкосмугова система MMDS Axity™ є багатоканальною, з числом каналів від 1 до 13 у напрямку на абонента та від 1 до 28 у напрямку від абонента до базової станції. Канальні передавачі потужністю від 15 до 200 Вт, що використовуються в системі, дозволяють охопити територію радіусом більше 35 км. Прийом сигналів зворотного напрямку реалізується за допомогою секторних антен. Система дозволяє обслуговувати до 18 секторів, причому в парних та непарних секторах канали можуть формуватися на одній і тій же частоті.

Для організації умовного доступу сигнали можуть бути закодовані. Модулятори станції підтримують — 16, 64 і 256-QAM, причому технології ґратчастого кодування та кодування кодом Ріда-Соломона суттєво знижують дію завад, що спотворюють сигнал під час передачі. Також може застосовуватися модуляція QPSK, яка зазвичай використовується при передачі вихідного трафіку від абонента до базової станції.

Цифрові модульовані сигнали можуть бути передані абоненту безпосередньо від головної станції при використанні кругових або секторних (спрямованих) передаючих антен. У разі, коли необхідно передати сигнал на відстань великій кількості абонентів або в «мертві зони», застосовується система ретрансляції сигналів з використанням передавачів або, як видно з рис. 8.17, малопотужних ретрансляторів (бустерів), що не обслуговуються. Зовнішні передавачі та ретранслятори, що встановлюються на дахах будівель або на вежах, дуже стійкі до впливу навколишнього середовища і знаходять найширше практичне застосування. Блоки передавачів та ретрансляторів можуть бути обладнані вбудованим мікропроцесором для дистанційного моніторингу, що здійснюється з операторської. Можлива організація їхнього резервування.

При використанні архітектури Суперстільника для покриття одного міста буде достатньо однієї базової станції. Сама базова станція (BS) має антену із круговою діаграмою спрямованості. Потужність передавача BS може досягати 100 Вт.

До складу головної (базової) станції входять:

- антена з круговою діаграмою спрямованості;
- передавач серії 5720 з автоматичним резервуванням та мережевим керуванням за протоколом SNMP;
- система підключення бездротових модемів (WMTS), див. рис. 8.22;
- MMDS-приймач;
- малошумливий генератор для цифрових пристроїв;
- суматор суміжних та несуміжних каналів та інші блоки.

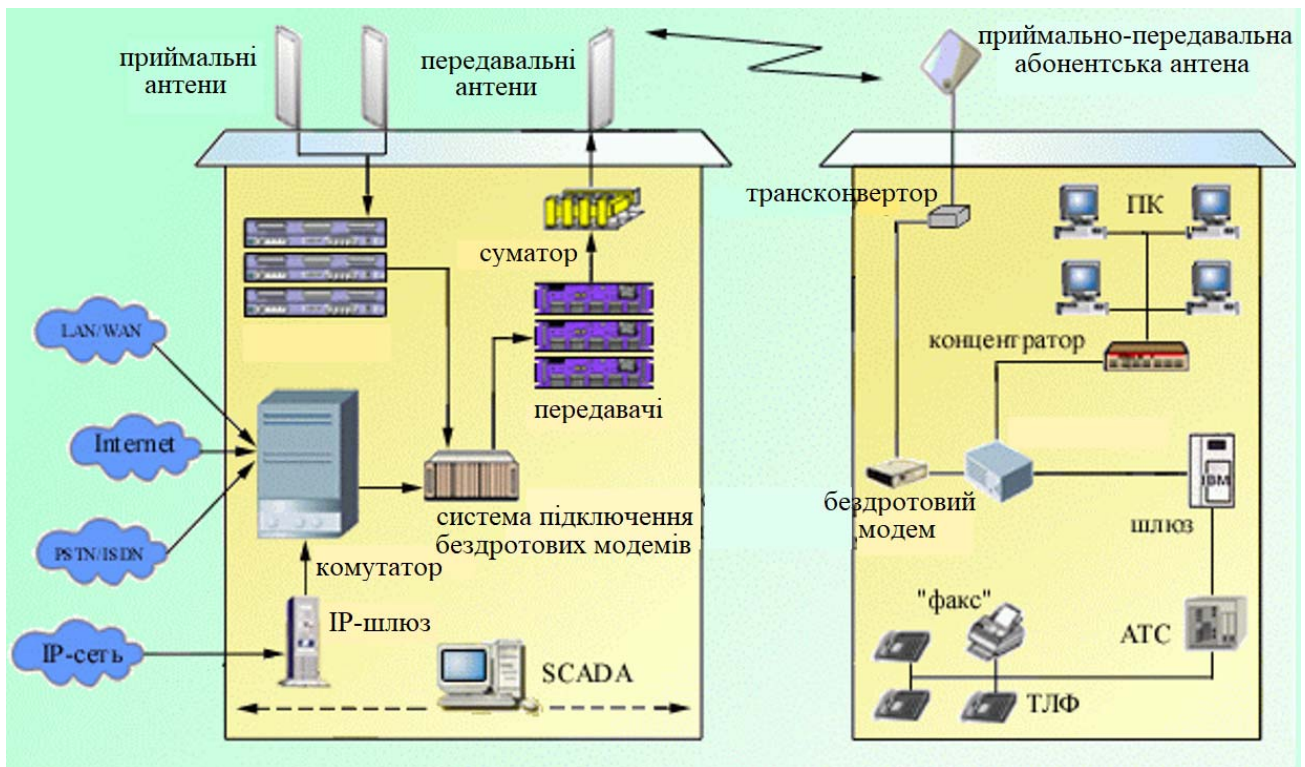


Рисунок 8.22 — Функціональна схема Axity MMDS-системи.

Базова станція Axity™ має інтерфейс із зовнішнім світом типу 10/100Base-T (Fast Ethernet).

Система підключення бездротових модемів (WMTS), зображена на рис. 8.23, допускає встановлення до 6 універсальних знімних модулів, що дозволяє, крім підвищення ремонтпридатності, в залежності від потреб клієнтів і підтримки необхідної якості та набору послуг з передачі даних і голосу, що надаються, задіяти, відповідно, необхідну кількість модулів. Крім динамічного розподілу ширини смуги (ширина низхідного каналу становить 6 МГц, а ширина висхідного каналу може становити 200 кГц, 400 кГц, 800 кГц, 1,6 МГц) система автоматично здійснює вибір несучої частоти і режиму модуляції (64-QAM, 6 QAM, QPSK).

У системі застосовується резервування, що дозволяє проведення гарячої заміни, а також використовується мережевий протокол управління SNMP.

На рис. 8.24 наведено загальний вигляд приймально-передавальної абонентської антени, яка застосовується в системі MMDS Axity™.

– **блок приймача**, що працює в заданому діапазоні частот з вихідною потужністю 0,1..1 Вт (250 мВт достатньо для роботи на 30 км), який для зменшення втрат найчастіше розміщується в безпосередній близькості від абонентської антени, наприклад, на її несучій стійці.

– **мережевий термінал**, що складається з бездротового модему передачі даних (WMU) (див. рис. 8.25) і інтерфейсів, що дають абоненту доступ до повного набору інтегрованих якісних послуг як на частотах,

характерних для MMDS-технології, так і на 3,5 ГГц. Бездротовий модем функціонує на основі мережевого протоколу керування SNMP та забезпечує пікову пропускну здатність: до 10 Мбіт/с — у низхідному каналі та 1,8 Мбіт/с — у висхідному.

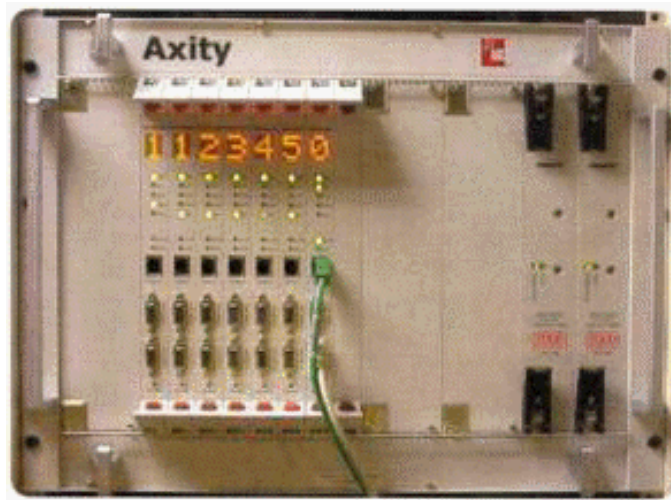


Рисунок 8.23 — Система підключення бездротових модемів, розміщена на BS



Рисунок 8.24 — Абонентська приймальна антена системи MMDS Axity™



Рисунок 8.25 — Бездротовий модем, що встановлюється на стороні абонента

Бездротовий модем, що встановлюється в абонента, має інтерфейс 10BaseT Ethernet (10 Мбіт/с) для підключення до комп'ютера або локальної мережі. Для організації зворотного каналу використовується зворотний канал MMDS з модуляцією QPSK. Зворотний канал має нижчу (порівняно з прямим каналом) пропускну здатність, зате забезпечує більшу дальність при меншій потужності передавача. У цьому випадку на вузлі розподілу встановлюється приймач і демодулятор QPSK. Збільшення числа користувачів можливе за рахунок поділу зони, що обслуговується, на сектори. Стандартні варіанти конфігурації мережі передбачають застосування антен з шістьма (до 16 200 абонентів), дванадцятьма (32 400) або вісімнадцятьма (до 48 600 абонентів) секторами, у кожному з яких використовується один із двох об'єднаних підканалів (по 6 МГц).

Axity бездротовий модем характеризується високою оперативністю установки та налаштування, малим енергоспоживанням та надає всі необхідні параметри для надійної роботи з широкосмуговим бездротовим обладнанням, забезпечуючи пакетну передачу даних із високою пропускну здатністю до кінцевих користувачів.

Технічні характеристики системи MMDS:

– робоча відстань у межах досяжності сигналу — становить близько **35 км**;

– один концентратор здатний підтримувати двосторонній зв'язок із **8 тис.** абонентами;

– пропускну спроможність досягає 10 Мбіт/с;

– можлива передача як даних, а й голоси;

– робочий діапазон: 2,5–2,7 ГГц;

– система дозволяє створювати бездротовий абонентський доступ; комутацію голосу, даних та змішаний трафік (голос/дані); віртуальні виділені лінії (T1/E1 або Nх64 Кбіт/с); IP/Ethernet; смугу пропускання на вимогу;

– можлива невелика переконфігурація та збільшення мережі;

– висока якість і швидкість зв'язку, які можна порівняти з волоконно-оптичними системами.

Система Axity™ може запропонувати користувачам широкий набір сучасних високопродуктивних послуг зв'язку:

– послуги комутованого голосового зв'язку дозволяють підтримувати голосовий трафік серед IP;

– Послуги пакетної передачі даних. Система Axity™ може передавати великі обсяги пакетного трафіку з високою швидкістю. Вбудовані технології TDMA у поєднанні з динамічним перерозподілом радіоресурсів дозволяють передавати більше пакетів у доступному діапазоні частот. Кожен абонент користується смугою пропускання лише тоді, коли вона необхідна. При цьому пікові швидкості передачі пакетів можуть досягати 1,8 Мбіт/с —

на висхідних каналах і до 10 Мбіт/с — на низхідних. Типові послуги: Інтернет, Інтранет, з'єднання LAN-to-LAN, VPN, VLAN;

– Високопродуктивний інтерфейс радіозв'язку, що характеризується потужним механізмом динамічного перерозподілу смуги пропускання, заснованим на поєднанні методів опитування (polling), суперництва (contention) та вкладення (piggy backing). У системі використовується ефективна попереджувальна корекція помилок у каналі, а також код Ріда-Соломона.

Незважаючи на те, що система Axity™ представляє безліч різноманітних можливостей, вона досить проста в налаштуванні і дозволяє без особливих труднощів вносити зміни в конфігурацію мережі за рахунок зручних засобів управління системою, заснованих на протоколі SNMP. З точки зору оператора, ми стверджуємо, що режим передачі «вузол — безліч вузлів» є нескладним та економічним при розгортанні мережі. Модульна конструкція системи MMDS забезпечує її значне нарощування, що дозволить нам швидко здійснити запуск системи, продовжуючи її розширення та збільшуючи сервіс клієнтів.

Система Axity™ особлива тим, що з її допомогою можна легко та ефективно вирішити проблему «останньої милі».

Недоліки MMDS:

- 1) високий рівень промислових перешкод;
- 2) багатопроменевий прийом, що призводить під час передачі сигналів аналогового ТБ до втрати чіткості ТБ зображення;
- 3) використання в більшості випадків амплітудної модуляції як найменш завадостійкого виду модуляції;
- 4) досить тонка дозволена смуга радіочастот (200 МГц) і як наслідок — мінімальна інформаційна ємність системи;
- 5) високі рівні потужності передавачів (одиниці-десятки Вт).

8.4. Принципи побудови та особливості мереж LMDS

Розвиток міліметрової техніки, зазначені недоліки MMDS, **збільшення каналів телемовлення** та зростаючі потреби в послугах МТРС привели в другій половині 80-х років у США до створення служби місцевої багатоточкової розсилки LMDS (Local Multipoint Distribution Service), що базується на частотах 27,5. 29,5 ГГц.

Головна перевага LMDS полягала в тому, що вперше використовувалися хвилі НВЧ-діапазону, які, на відміну від УВЧ та ДВЧ діапазонів, раніше вважалися непридатними для телевізійного мовлення.

На практиці виявилось, що перешкоди і перешкоди, що виникають на лінії прийому сигналу між передавачем і приймачем, проблем не створюють, оскільки сигнали, що передаються, на таких частотах має тенденцію відбиватися від перешкод практично без втрат для якості. Понад те,

виявилось, що можливий прийом багаторазово відбитого сигналу на індивідуальну приймальну антену.

Сервіс LMDS був створений насамперед з метою заміни кабельної інфраструктури на «останній милі» бездротовими з'єднаннями та одночасного збільшення пропускної спроможності порівняно з можливостями, які мали оператори провідних мереж. Загалом витрати на розгортання та експлуатацію систем LMDS виявляються нижчими від вартості кабельних рішень, а швидкість передачі даних при роботі в частотних діапазонах, що ліцензуються, 10, 26, 28 і 38 ГГц може доходити до 45 Мбіт/с. Використання високих робочих частот накладає суттєві обмеження на дальність зв'язку; Типовий радіус мережі LMDS знаходиться в межах 3–8 км. У той самий час у кожному діапазоні доступна смуга частот виявляється ширше, ніж у діапазонах 2,4 чи 5 ГГц.

Збільшенню швидкості передачі сприяє і те, що зв'язок встановлюється між нерухомими пристроями. Приймач, з яким «спілкується» клієнтське обладнання, має фіксоване місце розташування і завжди залишається в межах єдиної стільниці. Як правило, антени для систем LMDS встановлюються на дахах будівель для досягнення прямої видимості між приймальним та передавальним пристроями. До вразливих місць цієї технології відноситься висока чутливість до стану атмосфери: наприклад, опади у вигляді дощу сильно спотворюють міліметровий сигнал.

У системах LMDS застосовуються приймачі та передавачі низької потужності, що використовують принцип частотної модуляції з рознесенням між каналами 20 МГц. Один і той же канал може задіятися багаторазово при переході від стільника до соті. Архітектура LMDS забезпечує високу ефективність використання спектра. Подібно до багатьох технологій мобільного зв'язку, заснованих на ортогонально поляризованих частотно-модульованих сигналах, LMDS використовує частотне перемежування в діагонально розташованих стільниках, а також просторовий поділ сигналів. Влітку 2000 р. з'явилася модифікація сервісу LMDS, що передбачає двонаправлену передачу даних, що відкрило шлях до використання цих систем для інтерактивних програм. Під висхідний трафік було відведено частоти 29,1–29,35 ГГц.

Обладнання для LMDS пропонують відомі фірми США: Cellular Vision and Telecommunications, Loeb partners, Lucent Technologies, GTE. Слід зазначити, що діапазон мовлення 28 ГГц дозволено лише в Америці, проте європейські фірми пропонують своє обладнання для LMDS, наприклад фірма Philips.

На сьогоднішній день LMDS — це технологія, яка на додаток до ТБ мовлення дозволяє організовувати широкопasmовий бездротовий доступ, який може бути використаний операторами зв'язку як транспортне

середовище для різних сервісів, у тому числі для організації транспортних каналів у мережах GSM, CDMA або 3G, надання послуг телефонії, факсимільного зв'язку, інтернет-доступу, підключення точок доступу Wi-Fi. Технологія дозволяє розділити загальне середовище доступу між великою кількістю сервісів, що надаються одним провайдером. У платформі LMDS застосовується архітектура PMP (Point-to-Multipoint — «точка-багатоточка»), більш ефективна у розгортанні та експлуатації, ніж архітектура PTP (Point-to-Point — «точка-точка»).

LMDS є гнучкою платформою, яка підтримує такі технології каналного рівня, як TDM, ATM, IP на різних мережевих інтерфейсах. Замість створення окремих мереж доступу для різних програм, можна використовувати єдину платформу LMDS для всіх програм, скорочуючи, таким чином, вартість створення та експлуатації мережі доступу.

Одна з проблем, що стримують поширення систем LMDS, пов'язана з відсутністю стандартів. На відміну від своїх конкурентів зі світу кабельного телебачення або DSL-доступу, провайдери фіксованих широкосмугових послуг бездротового зв'язку поки не зробили вибір на користь єдиного стандарту. Одні підтримують комбінований підхід на основі векторного ортогонального частотного мультиплексування та технології передачі даних по мережах кабельного телевізійного мовлення KTM (VOFDM/DOCSIS), інші дотримуються усталених схем модуляції, наприклад квадратурної амплітудної (QAM), а дехто віддає перевагу патентованим розробкам. Така різноголосиця не тільки викликає замішання в розумах споживачів, але й перешкоджає початку широкомасштабного випуску пристроїв LMDS.

На щастя, вирішення проблеми стандартизації замаячило на обрії. У 1999 р. у стінах IEEE з'явилася робоча група **802.16**, покликана навести лад у цьому хаотизованому секторі телекомунікаційного ринку та зібрати виробників обладнання під прапори єдиної специфікації.

Можливості мережі LMDS. На відміну від систем PTP, які зазвичай використовуються для надання певних сервісів, у природі LMDS закладена здатність підтримувати різні програми та послуги. Оператор може отримувати додатковий прибуток від мережі, розгорнутої на базі технології LMDS, який забезпечується такими факторами:

– Поліпшення показника «Time to market». Розгортання мережі LMDS може бути виконане з невеликими витратами часу та ресурсів, легкою процедурою сертифікації, без складного планування. Використовуючи платформу LMDS, оператор готовий надавати додаткові сервіси скрізь, де є базова інсталяція. Наприклад, оператор мобільного зв'язку, який використовує цю технологію для забезпечення транспорту для базових станцій, зможе без організації додаткової транспортної інфраструктури в зоні дії базової станції LMDS додати кілька хот-спотів Wi-Fi або почати надавати

широкосмуговий доступ своїм корпоративним клієнтам. Це вигідно відрізняє цю технологію від систем РТР, у яких у разі додавання нових точок клієнтського доступу потрібна зміна конфігурування базової станції;

- конвергенція «One platform, many uses». У мережах GSM, CDMA та 3G-технологія LMDS може використовуватися для організації транспорту для базових станцій мережі. Експлуатація різних сервісів на одній платформі означає консолідацію різних технологій доступу, а отже, зниження витрат на підтримку, експлуатацію та розгортання мереж;

- підключення точок доступу Wi-Fi. Окрім надання інших сервісів, платформа LMDS здатна забезпечувати передачу трафіку хот-спотів;

- можливість надання базових телефонних сервісів. Оператори класичної телефонії можуть отримувати прибуток від використання LMDS з допомогою надання базових голосових сервісів;

- розширення зони широкосмугового доступу. Розташовані в ключових місцях базові станції LMDS розширюють зону охоплення оптики в радіусі до 8 км в будь-який бік від оптоволоконної траси, захоплюючи значно більше потенційних споживачів послуг широкосмугового доступу.

Структура мережі, заснованої на обладнанні LMDS, дійсно нагадує топологію мережі, що використовується для зв'язку з рухомими об'єктами. Радіус покриття в системі LMDS (розміри одного стільника) становить 3 милі, тобто приблизно 4,8 км. Для обслуговування території більшого розміру необхідно організувати кілька сотень. Принципи частотного планування схожі з правилами, прийнятими для стільникових мереж.

Система LMDS має пропускну здатність вчетверо більше, ніж MMDS. Крім того, в системі LMDS забезпечуються двосторонні канали для телефонного зв'язку, обміну даними та отримання (у тому числі — на замовлення) відеоінформації. Для роботи LMDS визначено діапазон 28 ГГц. Приймальна антена, розташована в приміщенні абонента, має розміри 6,5 x 6,5 дюймів (16,51 x 16,51 см).

Система LMDS, подібно до класичної мережі, складається з наступних основних елементів:

- БС (базова станція), що забезпечує обмін інформацією в межах одного стільника;

- комутаційне обладнання, призначене для доступу до серверів LMDS та взаємодії з іншими мережами електрозв'язку;

- комплекс термінального обладнання, який забезпечує доступ користувачів до послуг електрозв'язку;

- система технічної експлуатації для підтримки працездатності обладнання.

На рис. 8.26 показана спрощена структура системи LMDS, що відображає в основному принципи зв'язку між БС та термінальним обладнанням

користувача. Ця модель заснована на матеріалах статті фахівців Alcatel, опублікованій у журналі Electrical Communication — 3rd Quarter 1994.

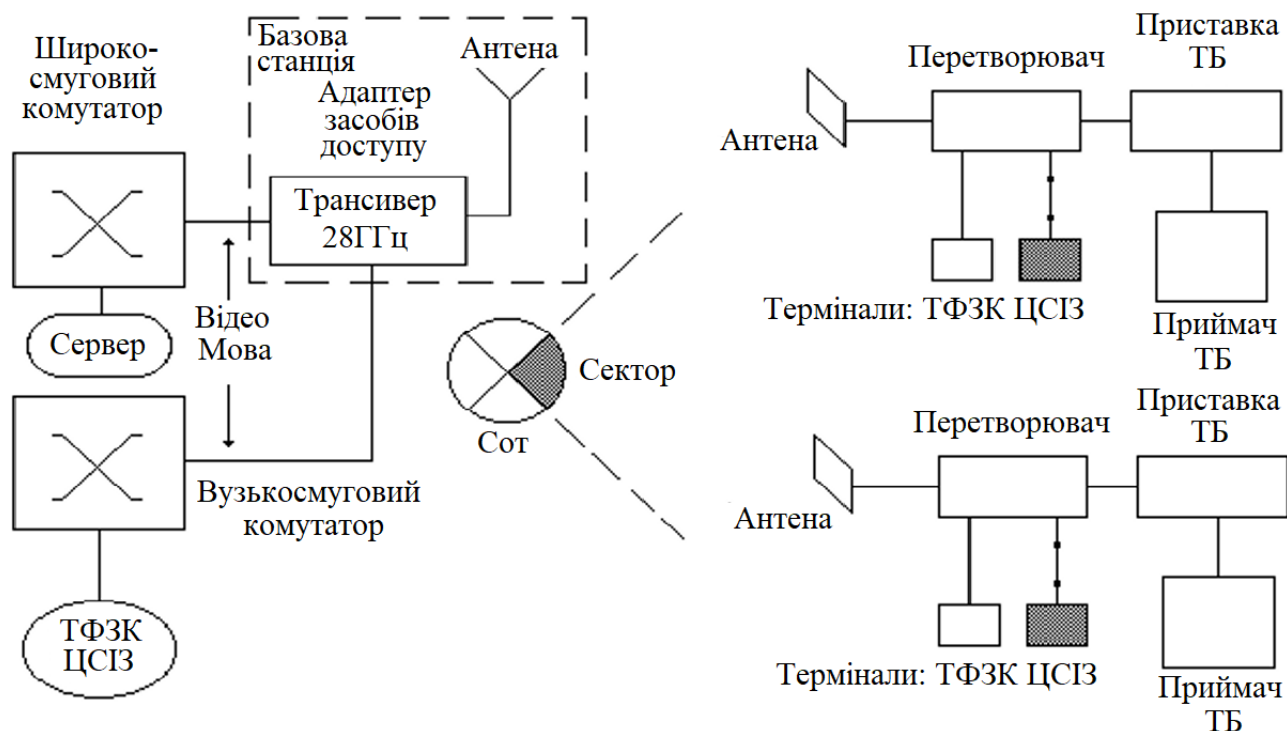


Рисунок 8.26 — Структура телекомунікаційної системи LMDS

Трансвер забезпечує прийом і передачу передає сигналів у межах стільника, який ділиться на сектори. Кожен сектор «обслуговує» певну групу абонентів. З антени сигнал надходить на перетворювач, де відбувається поділ інформації на два потоки, які умовно можна назвати вузькосмуговим та широкосмуговим.

Вузькосмугові сигнали відносяться до трафіку, що обслуговується ТМЗК та цифроавої системи інтегрального обслуговування (ЦСІО). Широко-смугова інформація представлена, в моделі, що розглядається, телевізійними сигналами. Ці сигнали можуть прийматись на побутовий телевізор, але для цього вони пропускаються через спеціальну приставку.

На рис. 8.26 показані з'єднання трансівера, розташованого на БС, з двома видами серверів через вузькосмуговий та широкосмуговий комутатори. У системі LMDS такі з'єднання можуть реалізовуватися різними способами, що залежить від ряду факторів:

- розмірів і географічних особливостей території, що обслуговується;
- чисельності потенційних абонентів та характеру їх розподілу в межах території, що обслуговується;
- технічні та економічні характеристики обладнання, що використовується для побудови системи LMDS.

У найзагальнішому вигляді структура фрагмента системи LMDS на ділянці між БС та серверами наведена на рис. 8.27. Ця модель є універ-

сальною з погляду створеної системи. Залишаючи один пункт розподілу інформації (комутаційне обладнання) та одну БС, можна отримати структуру LMDS мінімальної конфігурації. Вибір оптимальної структури системи LMDS складає етап її проектування.

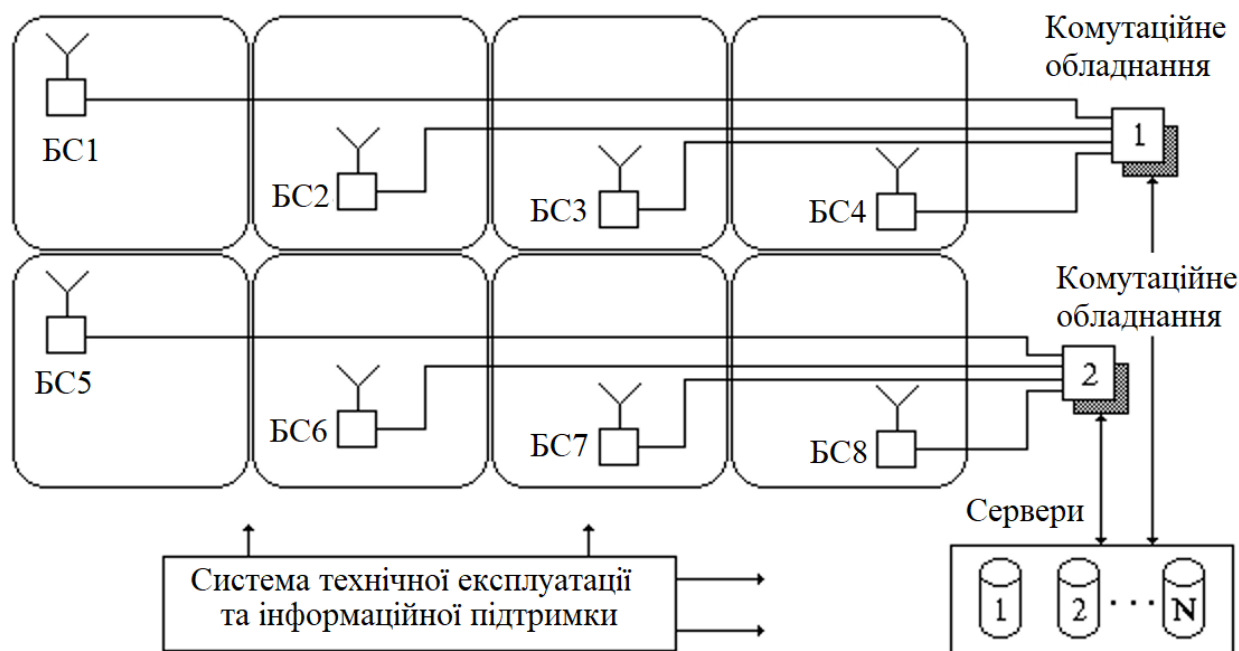


Рисунок 8.27 — Структура системи LMDS дільниці базова станція — сервери

Затемнена частина в комутаційному устаткуванні «1» і «2» означає широкопasmовий комутатор, що доповнює традиційне для телефонних станцій ТМЗК цифрове поле комутації. У моделі показано N серверів, які можуть бути розподілені довільним чином на території, що обслуговується мережею LMDS. Система технічної експлуатації та інформаційної підтримки забезпечує задані показники роботи як засобів електрозв'язку, і спеціалізованого програмного забезпечення серверів LMDS.

Система LMDS дозволяє запровадити низку додаткових функціональних можливостей, які дуже складно реалізувати у наявних засобах абонентського доступу. Можна назвати два характерні приклади — канал ТВЧ та система охоронної сигналізації, яку неможливо блокувати, перебуваючи поза контрольованим приміщенням.

Технологія LMDS може використовуватися як побудови мережі абонентського доступу, так створення великих фрагментів телекомунікаційної системи. На рис. 8.28 показані три основні варіанти сполучення системи LMDS з ТМЗК що дозволяють ввести ряд коментарів до цього твердження.

Перший варіант має на увазі включення мережі LMDS на правах УПАТС. Це означає, що комутаційне обладнання LMDS включається до ТМЗК як виносний модуль. Необхідно, щоб це з'єднання здійснювалося через цифрову комутаційну станцію місцевої телефонної мережі. Якщо

мережа LMDS підтримуватиме послуги ЦСІО, необхідно також, щоб цифрові комутаційні станції виконували всі вимоги системи інтегрального обслуговування. Очевидно, що таке рішення буде ефективним для невеликих міст із відносно малою кількістю абонентів.

Другий варіант полягає в тому, що комутаційне обладнання LMDS виконує функції ПАТС. Таке включення означає, що номери абонентів мережі LMDS входять до загального плану нумерації цієї місцевої телефонної мережі.

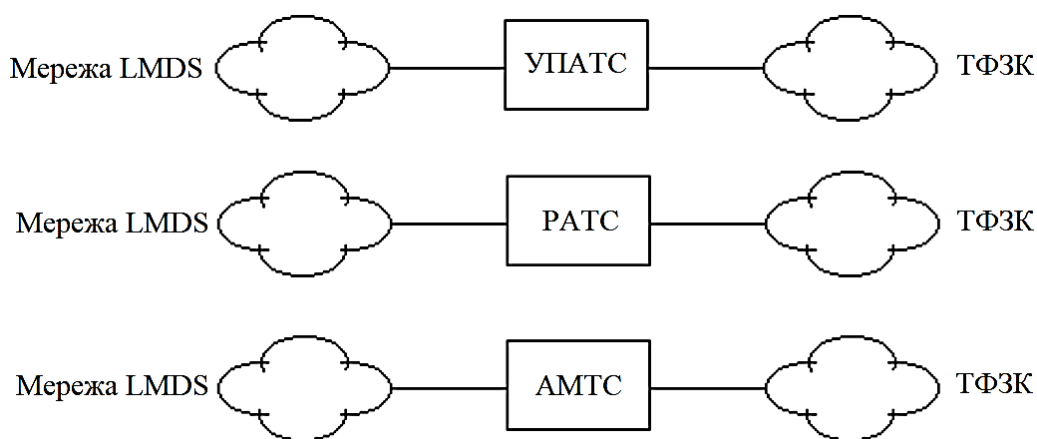


Рисунок 8.28 — Принципи сполучення системи LMDS з ТМЗК

Третій варіант орієнтований включення мережі LMDS у АМТС. Це означає, що фактично створюється «накладена» місцева мережа, яка обслуговує велику територію. Можливо, що таке рішення може знайти практичне застосування у великих містах.

Вибір оптимального сценарію для побудови телекомунікаційної системи, що базується на технології LMDS, має бути виконаний окремо для кожної конкретної місцевої мережі. При цьому можуть використовуватися різні, обумовлені ліцензією, рішення щодо структури мережі LMDS, переліку послуг, що вводяться, і принципів взаємодії з ТМЗК.

Безперечно, що технологія LMDS може вважатися перспективним напрямом в операторській діяльності. Практична реалізація послуг LMDS пов'язана з вирішенням низки серйозних технічних, економічних та організаційних проблем. Для їх вирішення доцільно провести комплекс робіт.

8.5. Принципи побудови та особливості мереж MVDS

Останнім часом все більше уваги приділяється системам бездротової передачі на частотах вище 20 ГГц. У цій галузі стандартно використовуються діапазони 25–32 ГГц та 40.5–42.5 ГГц.

Нижній діапазон був спочатку освоєний у США та Канаді, де системи високочастотної передачі використовувалися замість крученої пари при побудові телекомунікаційних мереж. Відповідно до призначення системи отримали назву LMDS (Local Multipoint Distribution Service). Зараз техно-

логія LMDS почала використовуватись і в Європі, для побудови телекомунікаційних, зокрема телевізійних мереж.

Верхній діапазон спочатку був виділений у Європі для аналогового ТВ-мовлення. У зв'язку з цим системи, що працюють на частотах 40,5–42,5 ГГц, отримали назву MVDS (Multipoint Video Distribution Systems).

Найбільш привабливою якістю систем MVDS є колосальна ширина діапазону, що надається — 2 ГГц. Це вдвічі перевищує діапазон наземного мовлення і в 10 разів — частотну смугу систем MMDS.

Однак поширення сигналів в області 40 ГГц має особливості, які багато в чому визначають специфіку побудови систем MVDS. Згасання міліметрових хвиль в атмосфері значно вище, ніж метрових та дециметрових, і сильно залежить від кліматичних впливів.

Ще однією особливістю хвиль цього діапазону є прямолінійність їхнього поширення. Вони не здатні огинати навіть невеликі перешкоди, а навпаки — відбиваються від них практично без спотворень. Практика показала, що у частоті 40 ГГц задовільно приймаються сигнали, які пройшли 4-кратне відбиток. Ця властивість може використовуватися під час проектування високочастотних систем роздачі сигналу.

Малий радіус поширення міліметрових хвиль визначив застосування техніки MVDS у мережах з малопотужними передавачами, побудованих за стільниковим принципом. Широка смуга в поєднанні зі стільниковою структурою робить цю техніку дуже придатною для організації інтерактивних мультимедійних мереж, що включають телебачення, телефонію, відеоконференції, високошвидкісний доступ до Інтернету та передачу даних.

Апаратура MVDS може використовуватися як самостійно, так і у складі гібридних кабельних мереж для організації останньої милі.

У системах MVDS можуть застосовуватися як аналоговий, і цифровий способи передачі, і навіть різні системи модуляції. Однак для побудови мультимедійних мереж актуальна розробка суто цифрових систем, сумісних зі стандартами DVB-C або DVB-S. Це дозволяє використовувати апаратуру MVDS у гібридних телевізійних мережах замість коаксіального кабелю для роздачі сигналу абонентам. Крім того, це дає можливість скористатися стандартними цифровими приймачами.

Порівняння двох типів систем виявляє переважні сфери їхнього використання.

У «кабельному» типі систем застосовуються QAM модуляція та ширина каналів 8 МГц, а в «спутниковому» — QPSK модуляція та ширина каналу 36–40 МГц.

За приблизною оцінкою, системи першого типу дозволяють пересилати вчетверо більший обсяг інформації, однак радіус їх дії, при однаковому

посиленні передавальної та приймальної апаратури, менший приблизно в ті ж 4 рази.

Різницю можна проілюструвати порівнянням дії двох систем MVDS італійської фірми Technosystem. При тестуванні обох систем використовувалися однакові антени, передавачі однакової потужності та обидві працюють у смузі 1.2 ГГц.

У таких умовах «супутниковий» варіант MVDS дозволяв передавати до 30 ТБ каналів та забезпечував прийом сигналу на 25-сантиметрову рупорну антену в радіусі 10 км, а «кабельний» — до 100 каналів, але на відстань до 4.5 км за умови прийому на 60-сантиметрову антену.

Очевидно, що другий варіант більше підходить для інтерактивних систем з передачею великих обсягів індивідуальної інформації та послуг типу «майже відео на запит» (near video on demand), реалізація яких вимагає дуже широкого спектру. Він також зручний для організації останньої милі кабельних мереж. У цьому випадку немає необхідності проводити демодуляцію та демультимплексування сигналу. Ширина частотного діапазону MVDS дозволяє разом конвертувати весь спектр сигналу, що надходить з кабелю, область міліметрових хвиль. На приймальній стороні спектр переноситься назад у смугу 50–860 МГц і подається до стандартного кабельного цифрового приймача.

Супутниковий варіант MVDS також має переваги. Він найбільше підходить для роздачі супутникового сигналу. Крім того, і це найголовніше, він дозволяє формувати осередки більшого радіусу, що призводить до економії дорогих передавачів. Цей варіант найбільше підходить для місцевості з малою щільністю забудови.

Мультимедійна мережа MVDS будується на основі головної станції. При формуванні інформаційних потоків можуть використовуватися найрізноманітніші джерела — Інтернет, ефірні, кабельні та супутникові телевізійні канали, місцеві джерела інформації. Аналогові сигнали перетворюються на цифровий вигляд MPEG-2 кодерах. Формування сервісної інформації, каналне кодування та модуляція здійснюються відповідно до одного з двох стандартів — DVB-C або DVB-S.

8.5.1 Структура системи MVDS

На рис. 8.29 зображена типова структурна схема передавальної та приймальної частин системи MVDS. Після формування цифрових пакетів канали модулюються і об'єднуються для подачі до широкосмугових передавачів. Можливе використання індивідуальних передавачів. У передавачі спектр сигналу переноситься в область 40 ГГц (це відбувається за один або два етапи), посилюється та передається до антени. Базові станції можуть бути обладнані набором секторних антен. Це дозволяє посилити

потужність сигналу, що передається, а також збільшити кількість абонентів за рахунок повторного використання частоти і зміни поляризації.

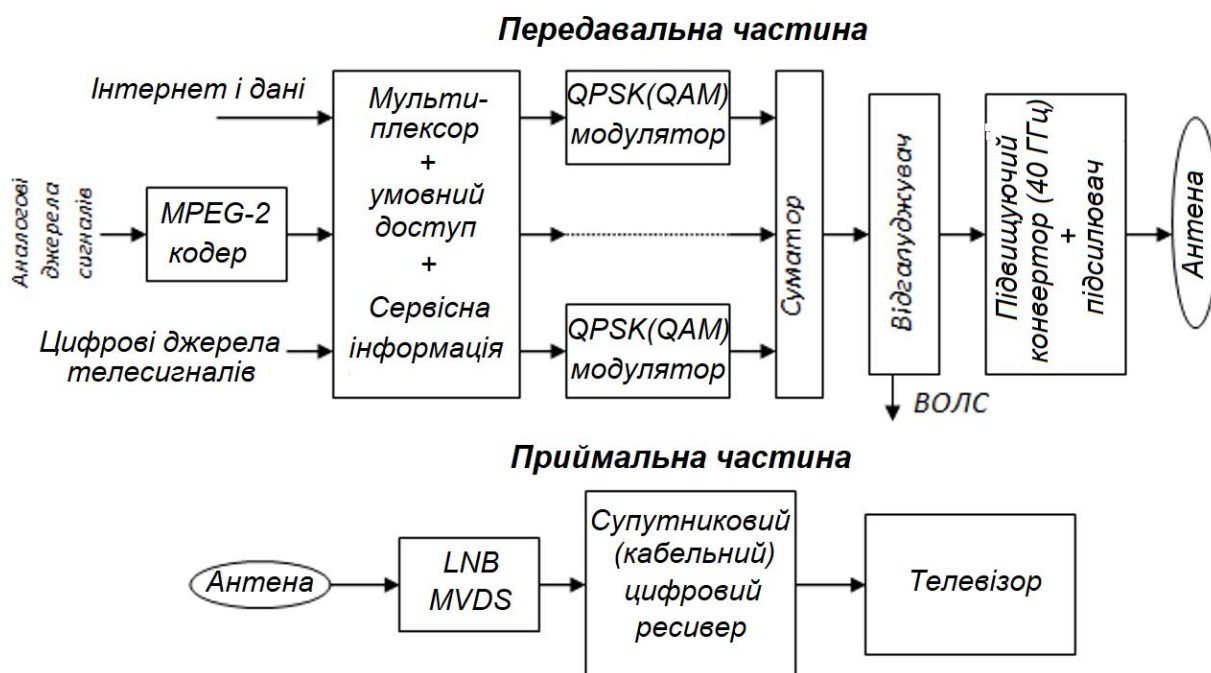


Рисунок 8.29 — Структура системи MVDS. Передавальна та приймальна частини

Потужність твердотільних підсилювачів, що застосовуються в передавачі MVDS, дуже невелика. У каналних передавачах вона вимірюється десятками мВт, а групових, призначених передачі сотні каналів, — одиницями Вт.

Роздача сигналу до стільникових передавачів може проводитися по оптоволокну, малопотужним релейним лініям або за допомогою самої MVDS.

В абонента встановлюється антена, що монтується на стіні будівлі, малошумливий конвертер і стандартний ресивер. Для прийому можуть використовуватися антени різної конструкції — рупорні, мікросмужкові або параболічні.

Сигнали міліметрового діапазону практично не схильні до імпульсних перешкод і шумів інгресії, які можуть створювати великі проблеми при прийомі сигналів ефірного діапазону. Основне джерело можливих перешкод це відбиті сигнали власного передавача. Щоб максимально застрахуватися від небажаного прийому відбитих сигналів використовують прийомні антени з діаграмою спрямованості шириною до десятків секунд. Для хвиль міліметрового спектру таку тонку діаграму спрямованості можуть забезпечити антени дуже маленьких розмірів.

Перенесення частоти з міліметрової області до дециметрової проводиться в один або два етапи. При цьому можливі проблеми через високу абсолютну нестабільність високочастотного гетеродина конвертера і сильного догляду сигналу, що передається. Їх рішенням може бути стабілізація

частоти гетеродина пілот-сигналом, що вводиться на стороні, що передає, в загальний потік. Цей принцип використовується, наприклад, у системах Technosystem, сумісних із стандартом DVB-S.

Конвертація сигналу на стороні, що передає, проводиться в два етапи. Спочатку частота переноситься в область 2.3–3.3 ГГц. На цьому етапі використовується фазова автопідстроювання частоти гетеродина конвертера і введення пілот-сигналу, що синхронізується по фазі тим самим високо-стабільним джерелом. На другому етапі частота переноситься в ділянку 40 ГГц. На приймальній стороні конвертація сигналу відбувається у зворотній послідовності — спочатку частота переноситься в область **2.3-3.3** ГГц, після чого надходить у другий конвертер з фазовою автопідстроюванням, де в якості опорного використовується пілот-сигнал, введений на стороні, що передає (рис. 8.30).

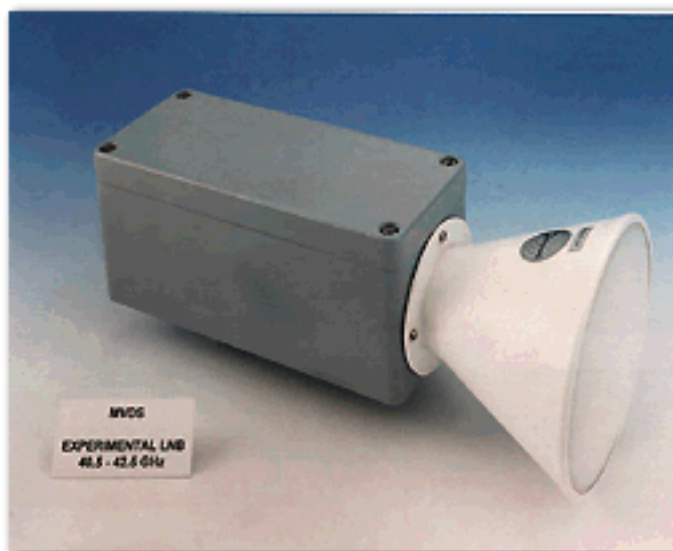


Рисунок 8.30 — Експериментальний LNB MVDS

За відсутності зворотного каналу витрати на абонентське обладнання відносно невеликі. Вартість зовнішнього блоку не перевищує \$100. До нього додається вартість стандартного кабельного чи супутникового цифрового ресивера.

Вартість абонентського обладнання зі зворотним каналом значно вища, оскільки воно включає дорогий трансивер — інтегрований зовнішній приймально-передавальний блок. Стандарт на організацію зворотного каналу в системах MVDS ще не прийнято, і інформації про випробування двонаправлених систем дуже мало. Зважаючи на все, з роботою таких систем поки що є проблеми технічного характеру. Можливо, вони пов'язані зі складністю синхронізації зворотних потоків, які від різних абонентів.

Однак все обладнання для двосторонніх систем вже існує, і його масова експлуатація, мабуть, є питанням майбутнього.

Підсумовуючи сказане, можна перерахувати переваги та недоліки нових систем.

Головною перевагою є вже згадуваний широкий діапазон частот, що дозволяє передавати величезні потоки інформації. Саме він у поєднанні з невеликим радіусом поширення робить системи MVDS найбільш підходящими для організації інтерактивних мультимедійних мереж. Ефективність використання частотних ресурсів може бути додатково підвищена за рахунок застосування секторних передаючих антен.

Іншою позитивною особливістю MVDS є можливість використання пасивних та активних ретрансляторів, що дозволяють гнучко формувати зону впевненого прийому за умов міської забудови.

У порівнянні з кабельним рішенням мережі на базі MVDS мають і низку організаційно-економічних переваг. Їх відрізняють простота, швидкість та відносна дешевизна початкового розгортання. Надалі вони легко нарощуються і, за потреби, згортаються без серйозних матеріальних втрат. У порівнянні з кабельними мережами більший відсоток матеріальних витрат припадає на абонентське обладнання, що особливо справедливо для систем із зворотним каналом. А ці витрати провадяться лише за наявності договору з абонентом про платну оренду.

І, нарешті, слід зазначити екологічну нешкідливість систем MVDS. Вони оперують із високочастотними, малопотужними сигналами, не небезпечними для людського організму. Крім того, їх будівництво ніяк не позначається на навколишньому ландшафті та спорудах.

До недоліків систем MVDS можна віднести сильну залежність дальності їхньої дії від погодних умов, насамперед від вологості. У зв'язку з цим визначення радіусу охоплення однієї стільники вимагає проведення тривалих експериментів у кожній конкретній географічній області. Потрібно також визначити конфігурацію відбитих сигналів в умовах конкретної забудови, причому з урахуванням того, що постійна зміна радіусу дії призводить до постійних змін цієї конфігурації.

Ще одним недоліком є дорожнеча абонентського обладнання зі зворотним каналом. А якщо додатково взяти до уваги чималу вартість послуг, то стає зрозуміло, що перед початком розгортання інтерактивної системи MVDS слід визначити розміри можливої абонентської плати і потім провести серйозне соціологічне опитування населення щодо затребуваності інтерактивних можливостей майбутньої мережі.

8.6 Система мікрохвильова інтегрована телерадіо-інформаційна мультисервісного радіодоступу UMDS

8.6.1 Використовані в системі UMDS радіотехнології

Робота системи UMDS базується на наступних радіотехнологіях:

- багатоканального наземного телерадіомовлення у діапазоні радіочастот 11,70–12,50 ГГц;
- мультисервісного радіодоступу в діапазоні радіочастот 12,75–13,25 ГГц та 10,15–10,65 ГГц;
- широкосмугового радіодоступу за стандартом IEEE 802.11 та в діапазонах радіочастот 5,15–5,35 ГГц; 5,47–5,67 ГГц і 5,725 ГГц — 5,850 ГГц.

Система UMDS (рис. 8.31) складається з центральної станції (ЦС) та абонентських станцій (АС) і є системою бездротового доступу до інформаційних та комунікаційних послуг, що доставляються їй зовнішніми мережами.



Рисунок 8.31 — Обладнання системи UMDS

Послуги, що надаються системою UMDS:

- доведення до абонентів програм цифрового телевізійного мовлення (Digital Video Broadcasting — DVB) у стандартах SD та HD;
- надання абонентам послуг, що базуються на інтерактивному доступі до інформаційних ресурсів системи, а саме:
 - відео на замовлення (Video on Demand — VoD — можливість вибору та отримання відеоматеріалів, що зберігаються на ЦС системи);
 - доступ до мережі Інтернет та надання Інтернет-послуг (Internet Service — IS);
 - IP-телефонія (IP — Phone — IPP) та відеозв'язок (Videolink — VL) як між абонентами системи так і із зовнішньою мережею;

▪ організація віртуальних приватних (корпоративних) мереж (Virtual Private Network — VPN).

Відмінними рисами системи UMDS є:

– можливість безпосереднього надання доступу до додатків, включаючи телерадіомовлення та передачу даних в одній системі;

– великий 20-ти канальний інформаційний ресурс (до 800 Мбіт/с — 160 ТВ програм у стандарті SD) при передачі програм телевізійного мовлення при забезпеченні значних (до 2700 км²) розмірів зон обслуговування та екологічної безпеки (потужність випромінювання на один канал не перевищує 60 мВт);

– використання однієї всеспрямованої передавальної антени у прямому каналі цифрового ТВ мовлення дозволяє використовувати один СВЧ передавач, що значно знижує вартість системи;

– можливість використання малопотужних (потужність випромінювання на один канал не перевищує 20 мВт) ретрансляторів цифрового ТВ мовлення для покриття затінених зон обслуговування;

– використання від 1 до 12 секторних антен у прямому та зворотному каналах доступу до служб передачі даних та Інтернет дозволяє раціонально використовувати сценарій побудови мережі;

– інформаційний ресурс в одному секторі у прямому та зворотному каналах доступу до служб передачі даних та Інтернет становить до 160 Мбіт/с та до 80 Мбіт/с відповідно;

– використання методу повторення частот і чергування поляризацій у різних секторах дозволяє використовувати всього 4 частоти у прямому та зворотному каналах доступу до служб передачі даних та Інтернет, що дозволяє заощадити частотний ресурс;

– правовий захист інтелектуальної власності та конкурентоспроможність за рахунок застосування нових рішень, захищених патентами України та міжнародними патентами на винаходи.

8.6.2 Основні технічні характеристики системи UMDS

Основні технічні характеристики наведено у табл. 8.1.

Таблиця 8.1

Основні технічні характеристики UMDS

Технічні характеристики	Показники
1	2
Підсистема телевізійного мовлення	
Діапазон робочих частот прямого каналу — ПК(від ЦС до АС)	11,7...12,5 ГГц
Рознесення центральних частот прямих каналів	40 МГц
Потужність сигналу на виході передавальної антени ЦС	60 мВт на канал
Максимальна кількість прямих каналів	20

Закінчення табл. 8.1

1	2
Максимальна кількість переданих телевізійних програм в одному каналі (стандарт SD, MPEG 2)	8
Максимальна кількість переданих телевізійних програм в одному каналі (стандарт HD, MPEG 4)	5
Поляризація сигналу	Лінійна (горизонтальна та вертикальна)
Коефіцієнт підсилення передавальної антени, не менше	16 дБ
Коефіцієнт підсилення приймального конвертера, не менше	45 дБ
Нерівномірність посилення приймального інвертора АС, не більше	2 дБ
Коефіцієнт шуму приймального інвертора АС, не більше	2 дБ
Підсистема доступу до служб Інтернет	
Діапазон робочих частот прямого каналу — ПК (від ЦНС до АС)	11,75...13,25 ГГц
Діапазон робочих частот зворотного каналу — ОК (від АС до ЦС)	5,15...5,85 ГГц
Рознесення центральних частот прямих каналів	40 МГц
Рознесення центральних частот зворотних каналів	40 МГц
Максимальна кількість секторів антенної системи	12
Пропускна здатність прямого каналу для інформаційної частини в одному секторі	160 Мбіт/с
Пропускна здатність зворотного каналу для інформаційної частини в одному секторі	80 Мбіт/с
Поляризація сигналу у прямому каналі	Лінійна (горизонтальна та вертикальна)
Коефіцієнт підсилення передавальної антени прямого каналу одного сектора не менше	22 дБ
Потужність сигналу на виході передавальної антени прямого каналу	150 мВт
Підсистема доступу до служб Інтернет	
Коефіцієнт підсилення приймальної антени зворотного каналу ЦС одного сектора не менше	21 дБ
Потужність сигналу на виході передавальної антени зворотного каналу АС	250 мВт
Максимальна пропускна здатність системи по прямому каналу	1920 Мбіт/с
Максимальна пропускна здатність системи по зворотному каналу	960 Мбіт/с
Максимальна кількість абонентських станцій в одному секторі	60
Середня година напрацювання до відмови АС, не менше	10 000 годин
Середня година відновлення працездатності АС після відмови не перевищує	24 годин
Середня година відновлення працездатності ЦС після відмови не перевищує	1 година
Середній термін служби складових частин АС та ЦС, не менше	не менше 6 років

8.6.3 Структурна схема центральної станції UMDS

Структурна схема центральної станції UMDS показана на рис. 8.32. Відповідно до структурної схеми, центральна станція UMDS складається з двох основних підсистем:

- 1) підсистема телевізійного мовлення;
- 2) підсистема доступу до служб Інтернет.

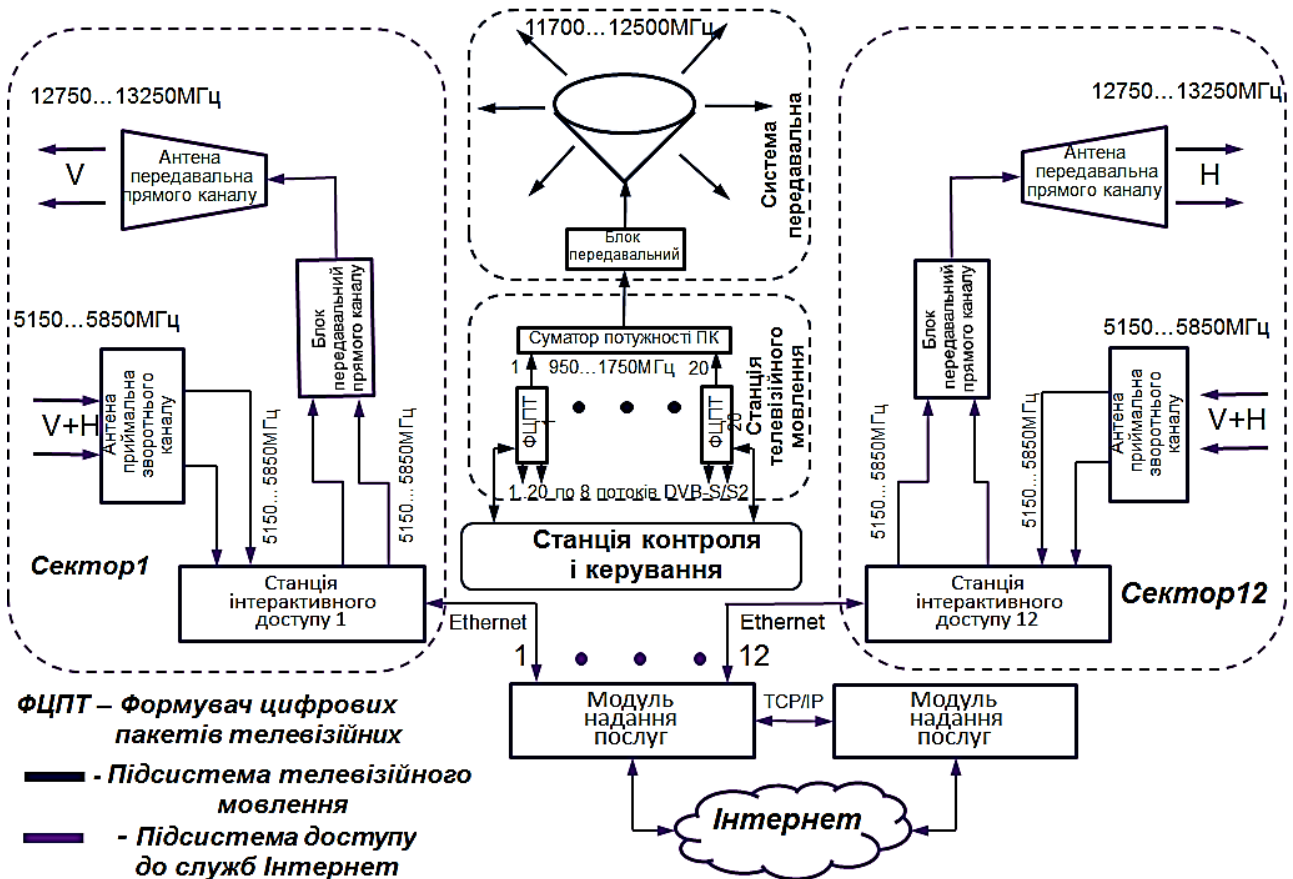


Рисунок 8.32 — Структурна схема центральної станції UMDS

8.6.4 Підсистема телевізійного мовлення системи UMDS

Підсистема телевізійного мовлення дозволяє:

- транслювати в зону покриття до 160 телепрограм у SD якості та стандарті стиснення MPEG-2;
- транслювати в зону покриття більше 100 ТБ програм у HD якості та стандарті стиснення MPEG-4;
- зменшити потужність випромінювання передавача більш ніж у 1000 разів у порівнянні з ефірним мовленням у стандарті DVB-T/T2;
- забезпечити радіус зони покриття до 60 км в умовах прямої видимості;
- виробляти гнучке нарощування підсистеми від мінімальної конфігурації до максимальної;
- працювати з різними вхідними сигналами (SD, HD, ASI, IP тощо)

8.6.4.1 Частотний план підсистеми ТВ мовлення системи UMDS

Частотний план прямого каналу підсистеми ТВ мовлення системи UMDS зображено на рис. 8.33.



Рисунок 8.33 — Частотний план підсистеми ТВ мовлення системи UMDS

Варіант технічної реалізації АС ЦС та її діаграми спрямованості для системи UMDS відповідно показані на рис. 8.34 та рис. 8.35.

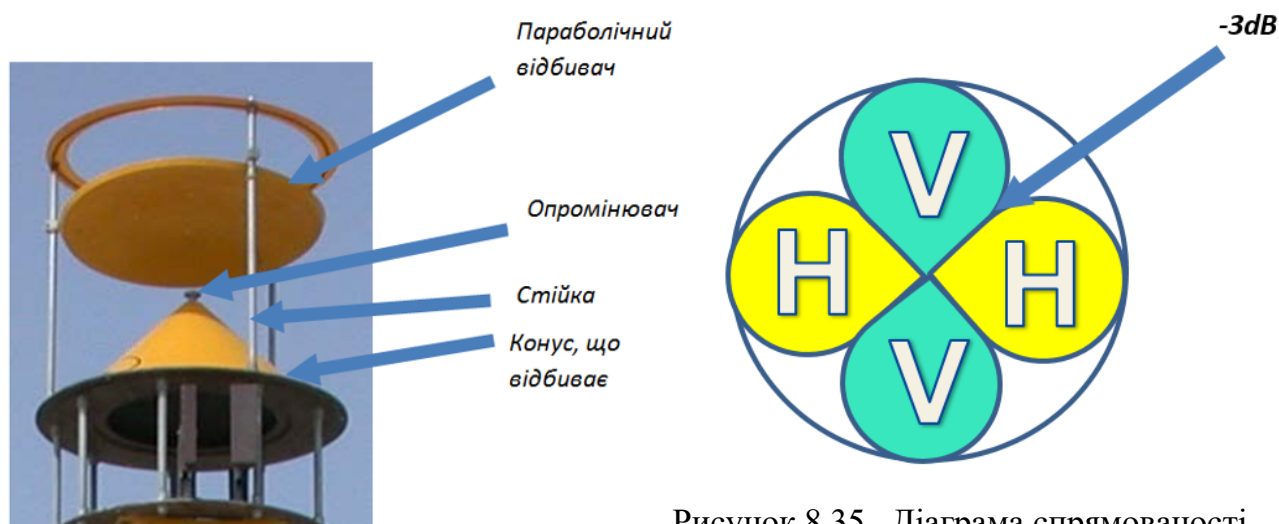


Рисунок 8.34 — Антена АС з круговою діаграмою спрямованості

Рисунок 8.35— Діаграма спрямованості антени ЦС (по азимуту)

8.6.4.2 Варіант побудови центральної та абонентської станції підсистеми телевізійного мовлення у стандарті DVB-S / S2

Варіант побудови центральної та абонентської станції підсистеми телевізійного мовлення у стандарті DVB-S/S2 зображено на рис. 8.36.

Блок передавальний

Блок передавальний є UpConverter і має наступні основні характеристики (рис. 8.37):

- діапазон вхідних частот — 950...1750 МГц;
- діапазон вихідних частот — 11700...12500 МГц;

- коефіцієнт підсилення — 53...55 дБ;
- сумарна потужність вихідного сигналу при передачі 20 каналів не менше 600 МВт;
- частота гетеродину — 10750МГц.

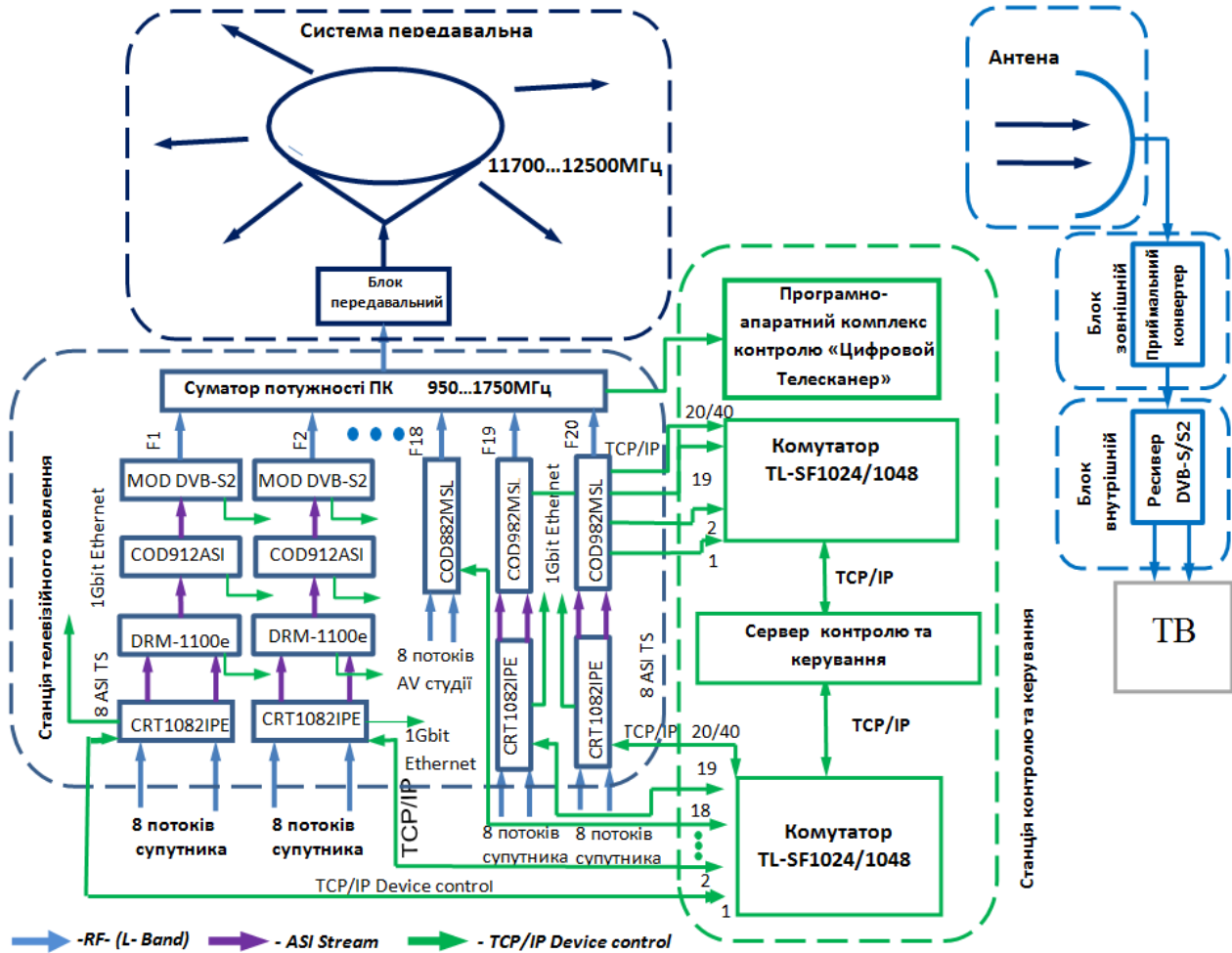


Рисунок 8.36 — Структура станції підсистеми телевізійного мовлення у стандарті DVB-S/S2



Рисунок 8.37 — Фото блоку передавального

Суматор потужності прямого каналу (СМПК)

СМПК є 12-канальним суматором потужності широкосмугових радіочастотних сигналів (рис. 8.38). Потужність шкірного з 12 входів регулюється окремим ВЧ атенюатором. Сумарна потужність також регулюється на виході пристрою. Загальна кількість сигналів може бути збільшена, якщо на вхід каскадного пристрою подати попередньо підсумований сигнал з іншого СМПК або подібного пристрою і має наступні основні характеристики:

- робочий діапазон частот 950–2150 МГц;
- у пристрою передбачена можливість подачі по сигнальному фідеру напруги живлення передавального пристрою (ВУС) 24 В;
- діапазон регулювання потужності — 20 дБ.



Рисунок 8.38 — Зовнішній вигляд суматора потужності

Програмно-апаратний комплекс контролю «Цифровий телесканер»

Програмно-апаратний комплекс контролю «Цифровий телесканер» призначений для автоматизованого контролю за наявністю та якістю відео та аудіо сигналів у каналах цифрового ефірного, кабельного або супутникового телебачення. Комплекс може встановлюватись на регіональній станції телебачення або у будь-якій точці впевненого прийому сигналу. Може працювати (після відповідної настройки) з будь-яким цифровим абонентським тюнером ефірного, кабельного або супутникового телебачення і будь-який використовується системою умовного доступу. Число контрольованих каналів — до 240.

У базовий комплект (рис. 8.39) поставки входять:

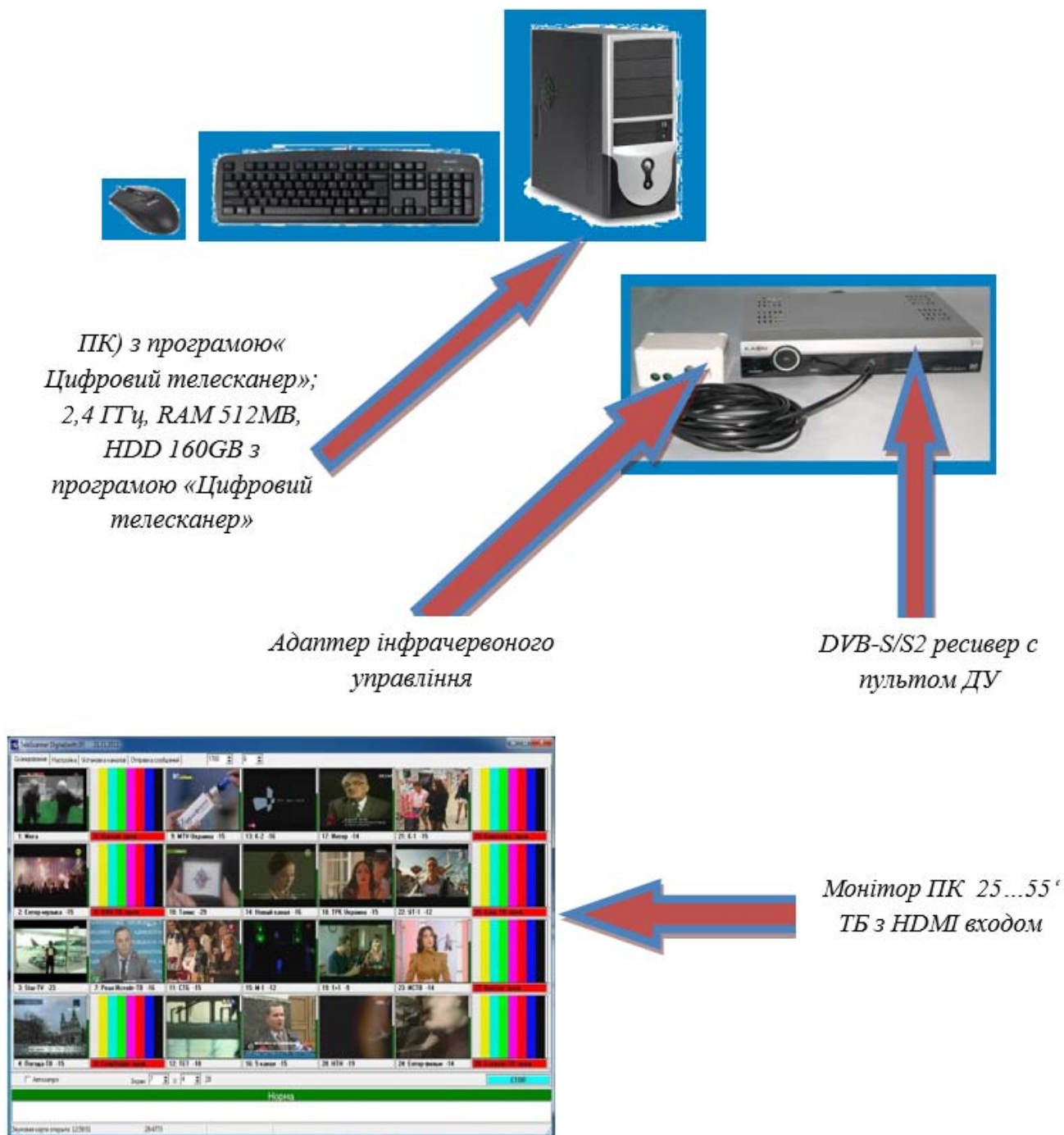


Рисунок 8.39 — Комплект постачання програмно-апаратного комплексу контролю «Цифровий телесканер»

Устаткування абонентської станції

Устаткування абонентської станції (рис. 8.40) включає:

- антену дзеркальну параболічну офсетну або вісесиметричну опорно-повертальним пристроєм (рис. 8.40, а, в);
- приймальний конвертор (рис. 8.40, б);
- ресивер DVB-S (рис. 8.40, е);
- САМ-модуль (рис. 8.40, д);
- приймач телевізійний (рис. 8.40, г).



а)



б)



в)



г)



д)



е)

Рисунок 8.40 — Основне обладнання абонентської станції

8.6.5 Підсистема доступу до служб Інтернет UMDS

Підсистема доступу до служб Інтернет дозволяє:

- забезпечити максимальну пропускну здатність прямого каналу підсистеми ~ 1920 Мбіт/с;
- забезпечити максимальну пропускну здатність зворотного каналу підсистеми ~ 960Мбіт/с;
- забезпечити максимальну пропускну здатність прямого каналу одного сектора підсистеми ~ 160 Мбіт/с;
- забезпечити максимальну пропускну здатність зворотного каналу одного сектора підсистеми ~ 80 Мбіт/с;
- забезпечити обслуговування у межах одного сектора підсистеми до 60 абонентських станцій (точок доступу);
- забезпечити радіус зони покриття до 25 км в умовах прямої видимості;
- виробляти гнучке нарощування підсистеми від мінімальної конфігурації до максимальної.

8.6.5.1 Прямий та зворотний канали ЦС підсистеми доступу до служб Інтернет

Частотний план прямого каналу ЦС підсистеми доступу до служб Інтернет зображено на рис. 8.41, а її АС та діаграми спрямованості — на рис. 8.42 та рис. 8.43.

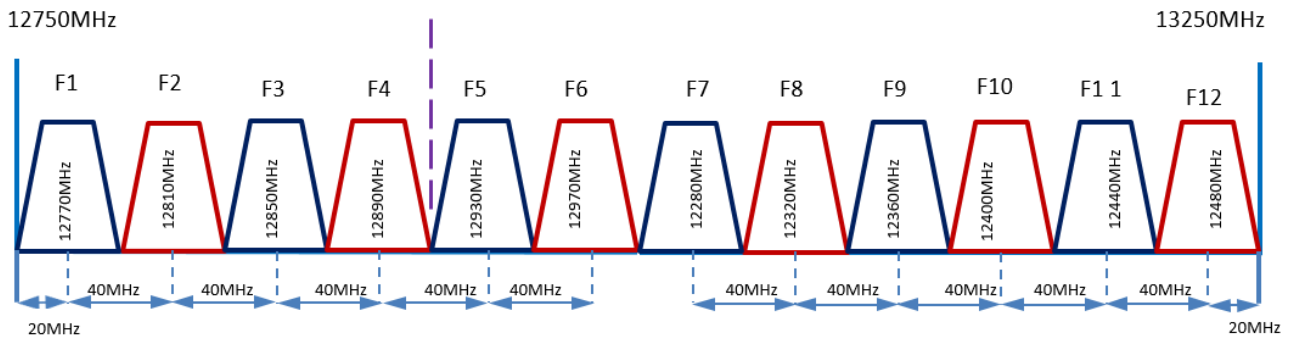


Рисунок 8.41 — Частотний план прямого каналу ЦС підсистеми доступу до служб Інтернет



Рисунок 8.42 — Розташування передавальних антен ЦС підсистеми доступу до служб Інтернет

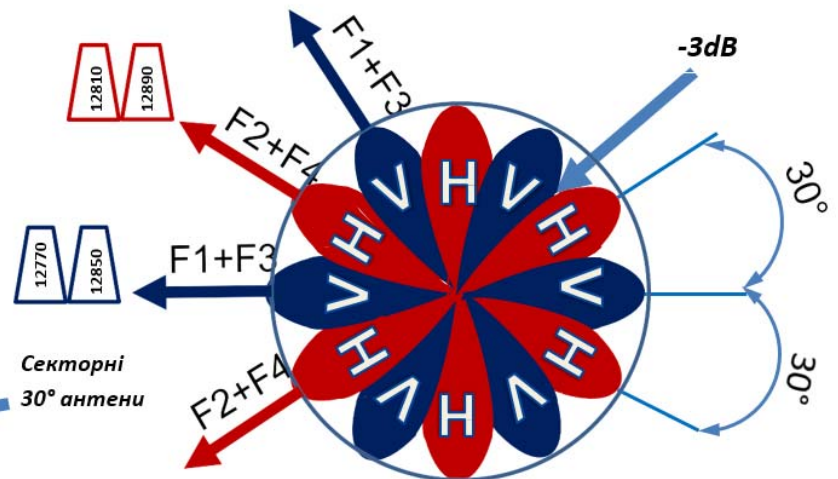


Рисунок 8.43 — Діаграма спрямованості передавальних антен ЦС підсистеми доступу до служб Інтернет (по азимуту)

Зворотній канал ЦС підсистеми доступу до служб Інтернет

При побудові прямого та зворотного каналів ЦС підсистеми доступу до служб Інтернету використано метод чергування частот і поляризацій через сектор (рис. 8.44, рис. 8.45). У сусідніх секторах поляризація випромінюваних і прийнятих хвиль чергуються: вертикальна (V) — горизонтальна (H) вертикальна (V) тощо. При цьому в кожному секторі використовують 2 полоси, центральні частоти яких відрізняються на 80 МГц. Даний метод дозволяє використовувати при побудові систем всього 4 частоти у прямому та зворотному каналі. Крім того, внаслідок використання чергування поляризацій, істотно (на 25...30 дБ) знижується вплив завади зі сторони сусіднього каналу.

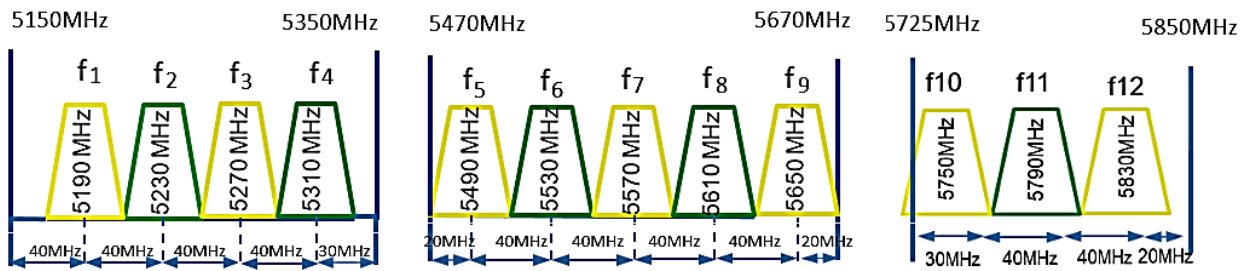


Рисунок 8.44 — Частотний план зворотного каналу ЦС підсистеми доступу до служб Інтернет

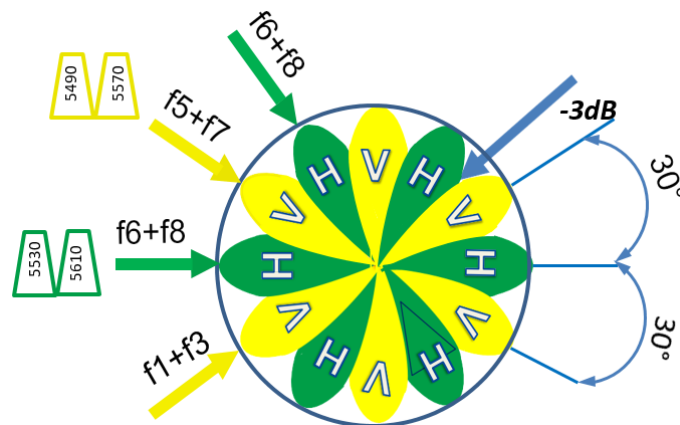
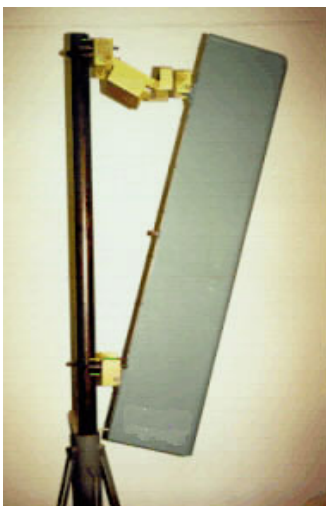


Рисунок 8.45 — Діаграма спрямованості приймальних антен ЦС підсистеми доступу до служб Інтернету (за азимутом)

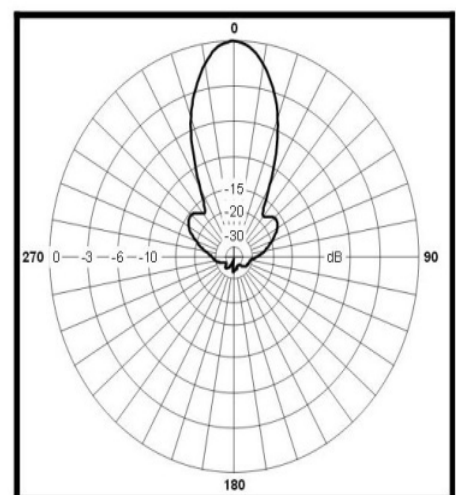
Антенa приймальна зворотного каналу (рис. 8.46) призначена для прийому сигналів від АС. Робочий діапазон частот 5150...5850 МГц. Габаритні розміри не більше 700x150 — 200x50 мм. Вес не більше 2 кг. Коефіцієнт підсилення не менше 22дБ; Ширина діаграми спрямованості по азимуту — $30 \pm 2^\circ$, по куту місця $7 \pm 1^\circ$. Рівень першого бічного пелюстка не більше мінус 15 дБ.



Антенa приймальна зворотного каналу
Поляризація вертикальна



Антенa приймальна зворотного каналу
Поляризація горизонтальна



Діаграма спрямованості антен в горизонтальній площині (по азимуту)

Рисунок 8.46 — Антени приймальні зворотного каналу



Рисунок 8.47 — Модемне обладнання

Модемне обладнання (рис. 8.47) призначене для маршрутизації, комутації та перетворення інформаційних сигналів служб доступу до Інтернету в радіосигнали прямого каналу та радіосигналів зворотного каналу в інформаційні сигнали та забезпечує наступні функції:

- передача радіосигналів прямому каналу до передаючого блоку;
- прийом радіосигналів від прийомної антени зворотного каналу;
- модуляцію у прямому каналі та демодуляцію в зворотному каналі;
- маршрутизацію та комутацію пакетів даних служб доступу до Інтернету;
- забезпечення живлення блоку медіаконвертера;
- передачу та прийом пакетів даних служб доступу до Інтернету в модуль надання послуг оптичним каналом.

8.6.6 Абонентська станція і її складові частини

Абонентська станція (АС) системи UMDS призначена для прийому сигналів цифрового ТВ мовлення та служб доступу до Інтернету.

Технічні характеристики АС:

АС функціонує за умови прямої видимості до антен ЦС із загасанням по трасі, яке відповідає таким параметрам:

- максимальне відстань від ЦС при передачі сигналів цифрового ТВ мовлення — до 60 км;
- максимальне відстань від ЦС при передачі сигналів служб доступу до мереж Інтернет — до 25 км;
- максимальне відстань від ЦС — 0,1 км;
- діапазон частот прийому сигналів цифрового телебачення від ЦС — 11700...12500 МГц;

- діапазон частот прийому сигналів служб доступу до мереж Інтернет від ЦС — 12750...13250 МГц;
- Діапазон частот передачі сигналів служб доступу до мереж Інтернету на ЦС — 5150...5850 МГц.

8.6.6.1 Варіант побудови Абонентської станції для одночасного прийому сигналів підсистем цифрового ТВ мовлення та доступу до служб Інтернет

Варіант побудови Абонентської станції для одночасного прийому сигналів підсистем цифрового ТВ мовлення та доступу до служб Інтернету зображено на рис. 8.48.

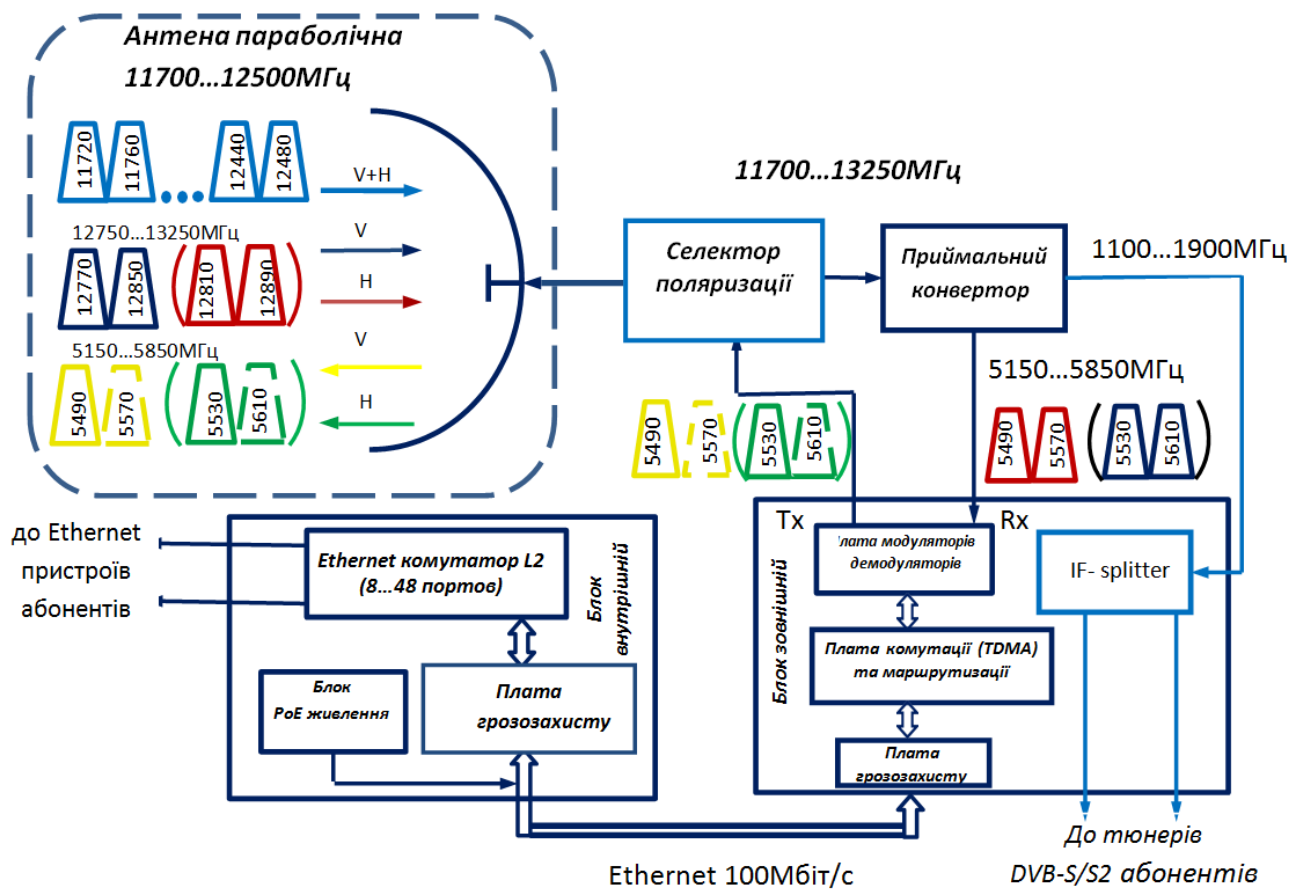


Рисунок 8.48 — Структурна схема абонентської станції для одночасного прийому сигналів ТВ мовлення та доступу до служб Інтернет

8.6.6.2 Устаткування Абонентської станції

Антенa приймально-передавальна забезпечує:

- прийом від центральної станції радіосигналів прямих каналів як підсистеми цифрового ТВ мовлення так і підсистеми доступу до служб Інтернету в діапазоні 11700...13250 МГц та передачу радіосигналів зворотних інформаційних каналів у діапазоні 5150...5850 МГц.

Антенa забезпечує наступні основні характеристики:

- коефіцієнт підсилення в діапазоні частот 11700...13250 МГц не менше 31 дБ;
- коефіцієнт підсилення в діапазоні частот 5150...5850 МГц не менше 24 дБ;
- ширина діаграми спрямованості за рівнем мінус 3 дБ для прямого каналу не більше, 3°;
- ширина діаграми спрямованості за рівнем мінус 3 дБ для зворотного каналу не більша, 6°.

Інтегрований з опромінювачем дводіапазонний селектор поляризації призначений для поділу радіосигналів прямих каналів (в т.ч. каналів цифрового телевізійного мовлення) у діапазоні 11700–13250 МГц та радіосигналів зворотних інформаційних каналів у діапазоні 5150–5850 МГц.

Селектор забезпечує наступні основні характеристики:

- КСВН зворотного каналу не більше 1,6;
- КСВН прямого каналу не більше 1,3;

Розмір розв'язки між прямим і зворотним каналом не менше 30дБ.

Приймальний конвертер (рис. 8.49-8.51) системи UMDS забезпечує:

– перетворення сигналів підсистеми цифрового ТБ мовлення прийнятих від ЦС у частотному діапазоні 11700...12500 МГц у частотний діапазон 1100...1900 МГц з подальшим посиленням і передачі їх на вхід блоку IF-splitter зовнішнього блоку АС;

– перетворення сигналів прямого каналу підсистеми доступу до служб Інтернет прийнятих від ЦС у частотному діапазоні 12750...13250 МГц у частотний діапазон 5150...5850 МГц з подальшим посиленням і передачі їх на вхід блоку модуляторів-демодуляторів зовнішнього блоку АС.

Конструктивно:

- вхід — круглий хвилевід (діапазон частот 11700...13250 МГц);
- ТБ вихід — F роз'єм (діапазон частот 1100...1900 МГц);
- вихід сигналів прямого каналу — SMA роз'єм (діапазон частот 5150...5850 МГц).

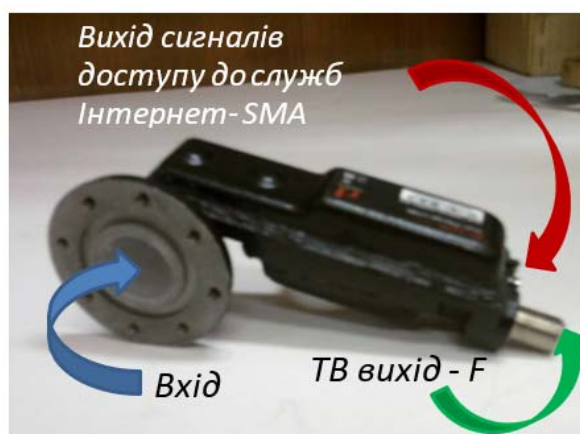


Рисунок 8.49 — Приймальний конвертер системи UMDS



Рисунок 8.50 — Розташування приймального конвертера відносно дводіапазонного селектора поляризації



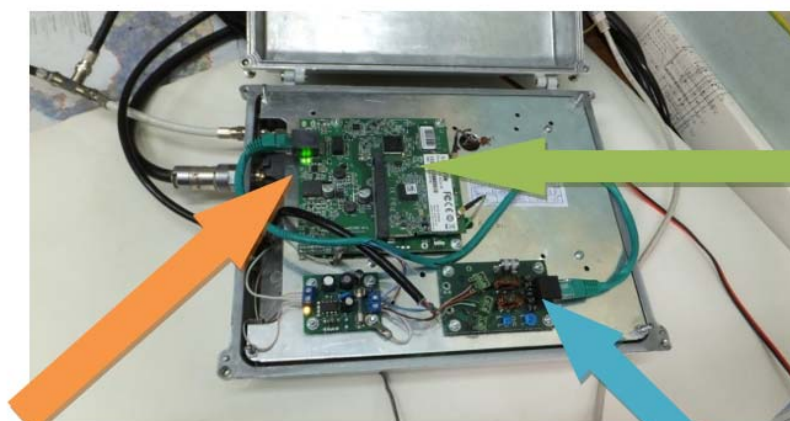
Рисунок 8.51 — Приймально-передавальна антена АС в зборі

Блок зовнішній (рис. 9.22) АС включає:

- розгалужувач проміжної частоти;
- блок модуляторів-демодуляторів;
- блок комутації та маршрутизації;
- плата грозозахисту Ethernet порту.

Блок зовнішній забезпечує:

- розгалуження сигналів DVB-S/S2 у приймальних пристроях абонентів;
- демодуляцію та модуляцію прямих та зворотних інформаційних сигналів (діапазон частот 5150...5850МГц. Вид модуляції/демодуляції — QPSK, 16-QAM, 64QAM)
- грозозахист Ethernet порту.



Плата комутації та маршрутизації

Плата модуляторів/демодуляторів

Плата грозозахисту

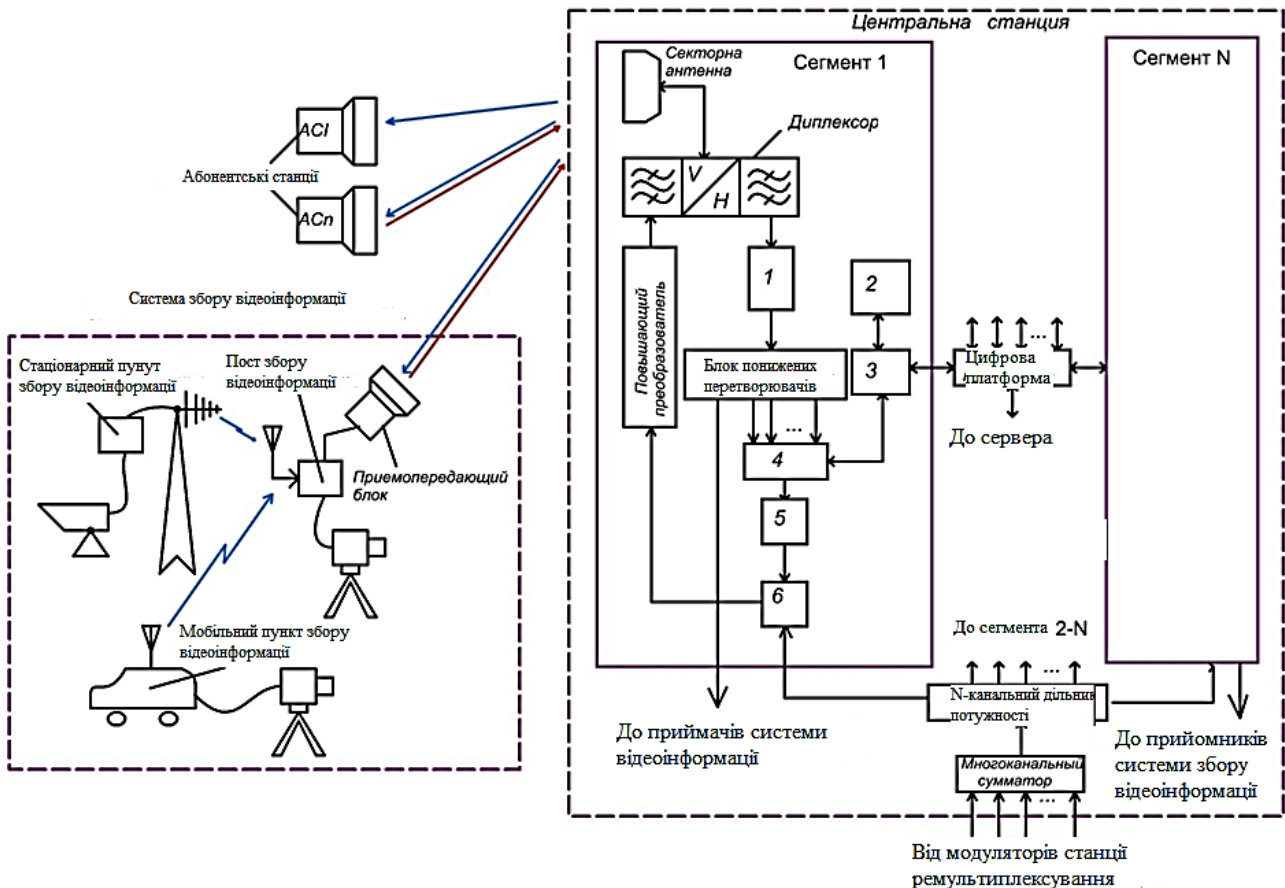
Рисунок 8.52 — Фотографія блоку зовнішнього

8.6.7 Перевага пропорованих рішень побудови підсистеми доступу до Інтернету ЦС

- легкість у розгортанні;
- гнучкість побудови зон покриття;
- можливість багатоетапного впровадження, нескладного масштабування;
- раціональне використання радіочастотного ресурсу;
- прямий і зворотний канали працюють на різних частотах. Швидкість передачі даних у прямому каналі не залежить від завантаженості зворотного каналу, і навпаки;
- для виключення колізій на приймальні частини Центральної станції (ЦС) організовано часовий поділ зворотного каналу (TDMA) між абонентськими станціями (АС). АС передають пакети по черзі, за командами від ЦС. Періодичність та тривалість роботи кожної АС задається динамічно;
- інтегрованість з підсистемою телемовлення (DVB-S/S2).

8.6.8 Підсистема збору відео- та аудіоінформації

Структурна схема підсистеми збору відео- та аудіоінформації показана на рис. 8.53.



Рисинок 8.53 — Підсистема збору відео- та аудіо-інформації

8.6.9 Нормативно-законодавча база застосування системи мікрохвильової інтегрованої телерадіо інформаційної мультисервісного радіодоступу UMDS

На мікрохвильову інтегровану систему телерадіоінформаційного мультисервісного радіодоступу UMDS розроблені технічні умови ТУУ 26.3-19123337-018: 2013, які зареєстровані 16 квітня 2013 року в Держспоживстандарті України.

Рішенням Національної комісії з державного регулювання зв'язку та інформатизації від 23.07.2013 №462 центральна та абонентська станції системи мікрохвильової інтегрованої телерадіоінформаційного мультисервісного радіодоступу типу UMDS включені до Реєстру радіоелектронних засобів, які можуть бути застосовані на території України в полосах радіочастот загального користування.

8.6.10 Перспективи мікрохвильової інтегрованої телерадіо інформаційної системи мультисервісного радіодоступу UMDS

Реалізація концепцій «Відкритий світ» та «Інтелектуального міста» на базі створення мікрохвильових систем мультисервісного радіодоступу нового покоління, в яких погоджено взаємодіють три основні інформаційно-комунікаційні мережі:

- цифрового телевізійного мовлення, включаючи телебачення високої та надвисокої чіткості, IP-телебачення;
- доступу до послуг Інтернет та передачі даних;
- збору відеоінформації (відеоспостереження);

Реалізація цього напрямку сприятиме розвитку національної інформаційно-телекомунікаційної інфраструктури на базі технології МІТРС (Постанова Кабінету Міністрів України від 12.03.2012 року № 294).

Запитання для самоперевірки

1. Що таке мікрохвильова телерадіоінформаційна мережа? Для яких цілей вона призначена?
2. Поясніть структуру побудови та склад обладнання типової МТРС.
3. Поясніть, які переваги забезпечують МТРС у порівнянні з мережами кабельного та ефірного ТБ.
4. У чому полягають основні недоліки використання МТРС?
5. Що таке MMDS і для чого ця система призначена? У якому діапазоні частот і скільки ТВ каналів можна передавати абоненту з використанням цієї системи?
6. Поясніть склад, призначення принцип роботи передавальної сторони системи MMDS.

7. Поясніть склад, призначення принципу роботи приймальної сторони системи MMDS.

8. Поясніть переваги та недоліки застосування одноканальних ТВ передавачів у системі MMDS.

9. Поясніть переваги та недоліки використання групових ТВ передавачів у системі MMDS.

10. Поясніть, у чому полягають якісні відмінності системи LMDS від системи MMDS.

11. Зобразіть топології побудови МТПС, що використовують технологію LMDS.

12. Поясніть, у чому полягають переваги та недоліки застосування системи MVDS порівняно з MMDS та LMDS.

13. У чому полягають особливості побудови передавального та приймального конвекторів системи MVDS ?

14. Поясніть склад, призначення принцип роботи передавальної сторони системи UMDS.

15. Поясніть склад, призначення принципу роботи приймальної сторони системи UMDS.

16. Дайте порівняльну характеристику таких властивостей МТПС як ємність (пропускна здатність), дальність дії, простота технічної реалізації на прикладі MMDS, LMDS, MVDS.

Література до розділу 8

1. Михайлов В.Ф. та ін. Мікрохвильові технології в телекомунікаційних системах. С-Пб: Вид-во СПбГУАП, 2003, 337 іл.

2. <http://kunegin.com/ref2/mmds/mmds2.htm>

3. <http://www.connect.ru/article.asp?id=6542>

4. <http://kunegin.narod.ru/ref2/mmds/mvds1.htm>

5. Наритник Т.М., Бабак В.П., Ільченко М.Є., Кравчук С.А. Мікрохвильові технології у телекомунікаційних системах. — К.: Техніка, 2000. — 304 с., іл.

6. Наритник Т.М., Войтенко О.Г., Галич В.М., Ільченко М.Ю. Мікрохвильова інтегрована телерадіоінформаційна система МІТРС. Патент України на винахід 30000, Бюл. № 6, 15.11.2000, з пріоритетом від 23.12.99 р.

7. M.Ye. Ilchenko, T.N. Narytnik, A.I. Fisun, and O.I. Belous MITRIS — Microwave Telecommunication Systems Telecommunications and Radio Engineering, 67(16):1429-1447 (2008)1429 ISSN 0040-2508 © 2008 Begell House, Inc. THEORETICAL PRINCIPLES OF TELECOMMUNICATIONS.

8. Ільченко М.Ю., Наритник Т.М., Кравчук С.О., Непомящий Б.О. Ширококутові мікрохвильові розподільні системи і їх застосування

в наземних мережах Інтернет-доступу. Наукові вісті НТУУ «КПІ», 2002. — № 6. — С. 15–26.

9. Наритник Т.М., Ксьонзенко П.Я., Химич П.В. Особливості побудови міських мереж передачі даних на базі технології МІТРС. Наукові вісті НТУУ «КПІ», 2011. — № 6. — С. 16–29.

10. Наритник Т. М., Гофайзен О. В., Баляр В.Б. Аналіз технічних та експлуатаційних характеристик сучасних мікрохвильових систем розподілу сигналів цифрового мовлення. Цифрові технології. — Вип. 15. — 2014. — С. 87–98.

Навчальне видання

Лошаков Валерій Андрійович,
Наритник Теодор Миколайович,
Сабурова Світлана Олександрівна,
Авдєєнко Гліб Леонідович,
Семерей Сергій Іванович.

СИСТЕМИ І ТЕХНОЛОГІЇ ЦИФРОВОГО ТЕЛЕБАЧЕННЯ

Навчальний посібник

Підписано до друку 23.12.2022 р.
Формат 60x84/8. Ум. друк. арк. 16,5.
Наклад 200 прим. Зам. № ...

Видавець і виготовлювач ТОВ «Талком».
м. Київ, вул. Львівська, 23,
тел./факс (044) 424-40-69, 424-56-26.
E-mail: ukraina.vdk@email.ua.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 4538 від 07.05.2013.