

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

О.Т. Титенко
І.О. Сушко

ЦИФРОВА СХЕМОТЕХНІКА ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ

*Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра за освітніми
програмами «Інтелектуальні технології радіоелектронної техніки»,
«Інформаційна та комунікаційна радіоінженерія» та «Радіотехнічні
комп'ютеризовані системи»
спеціальності 172 Електронні комунікації та радіотехніка*

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2023

Рецензент *Шпилька О.О.*, к.т.н., доцент кафедри РТС

Відповідальний

редактор *Мовчанюк А.В.*, к.т.н., доцент, в.о. завідувач кафедри ПРЕ

Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського

(протокол № 5 від 23.02.2023 р.)

за поданням Вченої ради радіотехнічного факультету

(протокол № 01/2023 від 30.01.2023 р.)

Електронне мережне навчальне видання

Сушко Ірина Олександрівна, к.т.н., доцент

Титенко Олександр Трохимович, ст. викладач

ЦИФРОВА СХЕМОТЕХНІКА ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ

Цифрова схемотехніка. Лабораторні роботи [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка» / І.О. Сушко, О.Т. Титенко; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 8,02 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 31 с.

Методичний посібник містить завдання та програми виконання робіт, короткі теоретичні відомості до кожної лабораторної роботи, перелік теоретичного матеріалу, який має бути засвоєним для успішного виконання робіт, наводиться безпосередньо при описі кожної лабораторної роботи. В посібнику наводяться базові відомості з того чи іншого питання, та необхідні довідкові дані, що має сприяти цілеспрямованому вивченню та поглибленому засвоєнню необхідного матеріалу. Метою ЛР є закріплення і розширення знань з цифрової схемотехніки, отриманих під час лекцій.

..

© І. О. Сушко, 2023

О.Т. Титенко

© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023

ЗМІСТ

Вступ	4
Мета та основні завдання лабораторних робіт	5
Правила техніки безпеки при виконанні лабораторних робіт	6
Лабораторна робота 1	8
Лабораторна робота 2	11
Лабораторна робота 3	14
Лабораторна робота 4	20
Список літератури	23
Додаток 1	23
Додаток 2	24
Додаток 3	26
Додаток 4	29

ВСТУП

Навчальний посібник «Цифрова схемотехніка. Лабораторний практикум» до виконання лабораторних робіт по проектуванню цифрових пристроїв для спеціальності 172 172 Електронні комунікації та радіотехніка, за освітніми програмами «Інтелектуальні технології раїдоелектронної техніки», «Інформаційна та комунікаційна радіоінженерія», «Радіотехнічні комп'ютеризовані системи».

В даному посібнику наведено:

- програми виконання робіт;
- короткі теоретичні відомості до кожної лабораторної роботи;
- перелік теоретичного матеріалу, який має бути засвоєним для успішного виконання робіт, наводиться безпосередньо при описі кожної лабораторної роботи, наводяться базові відомості з того чи іншого питання, що має сприяти цілеспрямованому вивченню та поглибленому засвоєнню необхідного матеріалу;
- необхідні довідкові дані.

Лабораторні роботи проводяться в пакеті прикладних програм – NI Multisim та Micro-Cap.

МЕТА ТА ОСНОВНІ ЗАВДАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

Мета лабораторних робіт — набуття студентами навичок з практичної реалізації цифрових схем, зокрема проектуванні комбінаційних пристроїв, подільників частоти, генераторів тактових імпульсів, синтезаторів частоти.

Кожна з лабораторних робіт включає етапи:

- мета, постановка задачі;
- необхідні розрахунки;
- схема в середовищі NI Multisim;
- ілюстрування графічними даними отримані результати.
- висновки.

Для успішного виконання лабораторних робіт необхідне засвоєння студентом відповідного теоретичного матеріалу. Обсяг необхідного теоретичного матеріалу вказується при описі кожної лабораторної роботи. Узагальнений перелік рекомендованої літератури наведено у відповідному розділі в кінці навчального посібника.

ПРАВИЛА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ПРИ ВИКОНАННІ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

Загальні положення

1. До роботи в комп'ютерному класі допускаються особи, ознайомлені з даною інструкцією з техніки безпеки та правил поведінки.
2. Робота студентів у комп'ютерному класі дозволяється лише у присутності викладача (інженера, лаборанта).
3. Під час занять сторонні особи можуть знаходитися в класі лише з дозволу викладача.
4. Під час перерв між парами проводиться обов'язкове провітрювання комп'ютерного кабінету з обов'язковим виходом студентів з нього.

Перед початком роботи необхідно:

1. Переконатися у відсутності видимих пошкоджень на робочому місці.
2. Включити комп'ютери та налагодити роботу.

При роботі в комп'ютерному класі забороняється:

1. Знаходитися в класі у верхньому одязі.
2. Класти одяг і сумки на столи.
3. Знаходитися в класі з напоями та їжею.
4. Розташовуватися збоку або ззаду від включеного монітора.
5. Приєднувати або від'єднувати кабелі, чіпати роз'єми, дроти і розетки.
6. Пересувати комп'ютери і монітори.
7. Відкривати системний блок.
8. Включати і виключати комп'ютери самостійно.
9. Намагатися самостійно усувати несправності в роботі апаратури.
10. Перекривати вентиляційні отвори на системному блоці та моніторі.
11. Ударяти по клавіатурі, натискувати безцільно на клавіші.
12. Приносити і запускати комп'ютерні ігри.

Знаходячись в комп'ютерному класі студенти зобов'язані:

1. Дотримуватись тиші і порядку.
2. Виконувати вимоги викладача та інженера/лаборанта.
3. Дотримуватись режиму роботи.

4. Після закінчення роботи завершити всі активні програми і коректно вимкнути комп'ютер.
5. Залишити робоче місце чистим.

Необхідно дотримуватись правил:

1. Відстань від екрану до очей – 70-80 см.
2. Вертикально пряма спина.
3. Плечі опущені і розслаблені.
4. Ноги на підлозі і не схрещені.
5. Лікті, зап'ястя і кисті рук на одному рівні.

Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях:

1. При появі програмних помилок або збоїв устаткування студент повинен негайно звернутися до викладача (інженера/лаборанта).
2. При появі запаху гару, незвичайного звуку негайно припинити роботу і повідомити викладача (інженера/лаборанта).

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1

Дослідження цифрових комбінаційних схем

Мета роботи

Закріплення навиків з мінімізації ЛФ, використовуючи основні закони алгебри логіки або метод карт Карно. Набуття досвіду розробки електричних принципових схем комбінаційної логіки; їх збирання та налагодження.

Короткі теоретичні відомості

Двійкові шифратори виконують операцію, зворотну по відношенню до операції дешифратора: вони перетворюють код " l з N " в двійковий. Якщо на один з входів шифратора подати сигнал, то на його виході формується двійковий код номера вхідної лінії, на яку поданий сигнал. Тому сигнал можна одночасно подавати тільки на один із N входів двійковий шифратор. Повний двійковий шифратор має 2^n входів і n виходів.

Якщо на вхід двійкового шифратора одночасно можуть бути подані декілька сигналів, то необхідно обробити сигнал з найбільшим пріоритетом, тобто на виході шифратора необхідно сформувати двійковий номер вхідної лінії, на яку поданий сигнал з найбільшим пріоритетом. Таку функцію виконує **пріоритетний шифратор**, він формує на виході двійковий номер старшого з входів, на які подані сигнали.

Мажоритарний елемент (в даному разі «2 з 3-х») передає на вихід величину, відповідну більшості з вхідних, і може мати тільки непарне число входів [1].

Постановка задачі

Синтезувати та реалізувати задані комбінаційні схеми на запропонованих мікросхемах. Підтвердити працездатність реалізованих комбінаційних схем. В таблиці 1.1. наведено 8 варіантів завдань (варіант завдання відповідає номеру бригади).

Таблиця 1.1. Варіанти завдання до виконання лабораторної роботи 1.

Вар	Завдання
1	1 Реалізувати схему пріоритетного шифратора 4 в 2 з використанням базових ЛЕ
	2 Реалізувати схему напівсуматора з використанням МС виключне АБО
2	1 Реалізувати схему дешифратора 2 в 4 з використання базових ЛЕ
	2 Реалізувати схему напівсуматора з використанням базових ЛЕ
3	1 Реалізувати схему мультиплексора 4 в 1 з використання базових ЛЕ
	2 Реалізувати схему виключне АБО з використання базових ЛЕ
4	1 Реалізувати схему демультимплексора 1 в 4 з використання базових ЛЕ
	2 Реалізувати схему виключне АБО-НЕ з використання базових ЛЕ
5	1 Реалізувати схему однорозрядного цифрового компаратора з використанням базових ЛЕ
	2 Реалізувати схему повного однорозрядного суматора з використанням МС виключне АБО
6	1 Реалізувати схеми однорозрядного цифрового компаратора з використанням МС виключне АБО
	2 Реалізувати схему повного однорозрядного суматора з використанням базових ЛЕ
7	1 Реалізувати схему перетворювача 3-х розрядного двійкового коду в код Грея
	2 Реалізувати схему мажоритарного елемента «2 з 3-х»
8	1 Реалізувати схему перетворювача 3-х розрядного коду Грея в двійковий код
	2 Реалізувати схему шифратора 8 в 3

Домашнє завдання

1. Побудувати таблицю істинності реалізації даної ЛФ.
2. Здійснити запис та мінімізацію ЛФ, використовуючи метод карт Карно та основні закони алгебри логіки, за варіантом завдання, що приведено в табл.1.1.
3. Побудувати функціональну схему цифрового пристрою (ЦП), що реалізовує дану ЛФ.

Порядок виконання завдання

1. Перевірити правильність функціонування схеми в пакеті комп'ютерного моделювання Мікро-Сар.

2. Побудувати електричну принципову схему ЦП.
3. Зібрати макет та здійснити його налагодження (згідно довідкових даних на мікросхеми в Додатку 1).
4. Змінюючи значення вхідних сигналів та спостерігаючи відповідні зміни вихідних сигналів, переконатися в правильності роботи реалізованої на макеті схеми.
5. Зробити висновки по завершенні лабораторної роботи та оформити звіт.

Примітка

Приклад оформлення лабораторної роботи наведений в Додатку 2.

Звіт з виконання лабораторної роботи має містити титульний лист з назвою лабораторної роботи та прізвищами виконавців, пункти виконання домашнього завдання з кінцевим результатом роботи – електричною принциповою схемою ЦП, висновки по роботі.

Контрольні питання

1. Аксиоми алгебри логіки. Застосування.
2. Теорема де Моргана. Її застосування.
3. Карти Карно для спрощення логічних виразів.
4. Базові та універсальні логічні елементи. Принцип роботи.
5. Принцип роботи комбінаційних ЦП.

Примітка

При моделюванні схем звертайте увагу на швидкодію використаних МС.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2

Дослідження цифрових послідовних схем (автомати з пам'яттю)

Мета роботи

Оволодіння навичками розробки електричних принципових схем цифрових автоматів з пам'яттю з використанням елементної бази середнього ступеня інтеграції.

Короткі теоретичні відомості

Лічильники здійснюють рахунок і збереження коду числа підрахованих сигналів. Під сигналами маються на увазі імпульси або перепади напруги. Найпростішим лічильником є лічильний тригер, що здійснює рахунок і збереження не більш двох сигналів. З'єднуючи кілька тригерів певним чином, можна одержати лічильник з необхідним модулем лічби (коефіцієнтом ділення). Він показує у скільки разів частота сигналу на виході лічильника буде нижчою за частоту сигналу на його вході $f_{ex}/f_{вих}$.

Якщо пронумерувати послідовність вхідних сигналів від 0 до $K_{dil} - 1$, то кожному i -му номеру можна поставити у відповідність його двійковий еквівалент, виражений через стан лічильника, у який він перейде після приходу i -го вхідного сигналу. Визначаючи стан усіх тригерів лічильника за значеннями логічної змінної на їхніх прямих виходах, можна виразити число і підрахованих сигналів у вигляді m -розрядного двійкового коду [1,2].

Існують різні схеми лічильників, що відрізняються призначенням, типом тригерів, організацією зв'язку між ними, порядком зміни станів і інших особливостей.

В залежності від порядку зміни станів можуть бути лічильники з природним і довільним порядком рахунку. У перших – значення коду кожного наступного стану відрізняється на 1 від попереднього, у других – можуть відрізнятися більше, ніж на 1.

У свою чергу лічильники з природним порядком рахунку поділяються на прості і реверсивні, прості – на підсумовуючі і віднімаючі. Реверсивні можуть працювати як у режимі додавання, так і в режимі віднімання.

За коефіцієнтом ділення лічильники поділяються на двійкові $K_{dil} = 2^m$ і недвійкові $K_{dil} \neq 2^m$.

За способом переключення тригерів під час роботи лічильники підрозділяються на синхронні й асинхронні. У синхронних лічильниках всі тригери переключаються одночасно в момент приходу тактового імпульсу, в асинхронних – після зміни стану на керуючому вході тригера.

Подільник частоти являє собою варіант лічильника, який формує на виході імпульси, з періодом в n разів більшим за період вхідної тактової частоти та тривалістю, що дорівнює періоду вхідної тактової частоти, де n – коефіцієнт поділу.

Постановка задачі

1. Синтезувати та реалізувати схему заданого цифрового автомата на універсальному лічильнику 74LS169. Підтвердити працездатність реалізованих схем засобами САПР Micro-Cap. В таблиці 2.1. наведено 8 варіантів завдань (варіант завдання відповідає номеру бригади).

Таблиця 2.1. Варіанти завдань на виконання лабораторної роботи №2 (завдання 1).

№ варіанту	Завдання
1	Лічильник, що рахує від 2 до 6 з поверненням в початковий стан
2	Лічильник, що рахує від 7 до 3 з поверненням в початковий стан
3	Лічильник, що рахує від 3 до 7 з поверненням в початковий стан
4	Лічильник, що рахує від 6 до 1 з поверненням в початковий стан
5	Лічильник, що рахує від 1 до 5 з поверненням в початковий стан
6	Лічильник, що рахує від 1 до 6 з поверненням в початковий стан
7	Лічильник, що рахує від 6 до 2 з поверненням в початковий стан
8	Лічильник, що рахує від 5 до 1 з поверненням в початковий стан

2. Синтезувати та реалізувати схему заданого подільника частоти на двох каскадно (послідовно) з'єднаних універсальних лічильниках 74LS169. Підтвердити працездатність реалізованих схем засобами САПР Micro-Cap. В таблиці 2.2. наведено 8 варіантів завдань (варіант завдання за списком групи).

Таблиця 2.2. Варіанти завдань на виконання лабораторної роботи №2
(завдання 2).

№ вар.	Коефіцієнт поділу частоти	№ вар.	Коефіцієнт поділу частоти
1	$21=15_{16}$	9	$29=1D_{16}$
2	$22=16_{16}$	10	$30=1E_{16}$
3	$23=17_{16}$	11	$31=1F_{16}$
4	$24=18_{16}$	12	$32=20_{16}$
5	$25=19_{16}$	13	$33=21_{16}$
6	$26=1A_{16}$	14	$34=22_{16}$
7	$27=1B_{16}$	15	$35=23_{16}$
8	$28=1C_{16}$	16	$36=24_{16}$

3*. Синтезувати та реалізувати схему збільшення часу індикації показів лічильника з пункту 1 в кількість разів, що дорівнює коефіцієнту поділу частоти з таблиці 2.2 з використанням універсальних регістра 74HCT194 лічильників 74LS169.

Приклад оформлення звіту представлено в додатку 3.

За пункт 3* нараховується додаткових 2 бали.

Контрольні питання

1. Тригери. Принцип роботи, таблиці переключень.
2. Побудова лічильників на основі тригерів.
3. Синхронні та асинхронні лічильники. Особливості структури.

Переваги та недоліки.

4. Синтез схем цифрових подільників частоти.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3

Генератори тактових імпульсів. Мультивібратори та одновібратори

Мета роботи

Оволодіння навичками розрахунку і моделювання генератори тактових імпульсів на основі одновібраторів.

Короткі теоретичні відомості [2-4]

Генератори прямокутних імпульсів або мультивібратори – це пристрої, призначені для генерації прямокутних імпульсів заданої частоти.

Основним показником якості роботи генераторів імпульсів є стабільність генерації коливань, яка оцінюється коефіцієнтом відносної нестабільності частоти:

$$K_f = \frac{|f - f_0|}{f_0} \quad (3.1)$$

де f, f_0 – поточне і початкове значення частоти, відповідно.

Мультивібратори на основі тригерів

На рис.3.1 представлено електричну схему мультивібратору на RS-тригері та проілюстровано його роботу за допомогою часових діаграм вхідних сигналів керування R,S та прямого та інверсного вихідного сигналу Q, \bar{Q} .

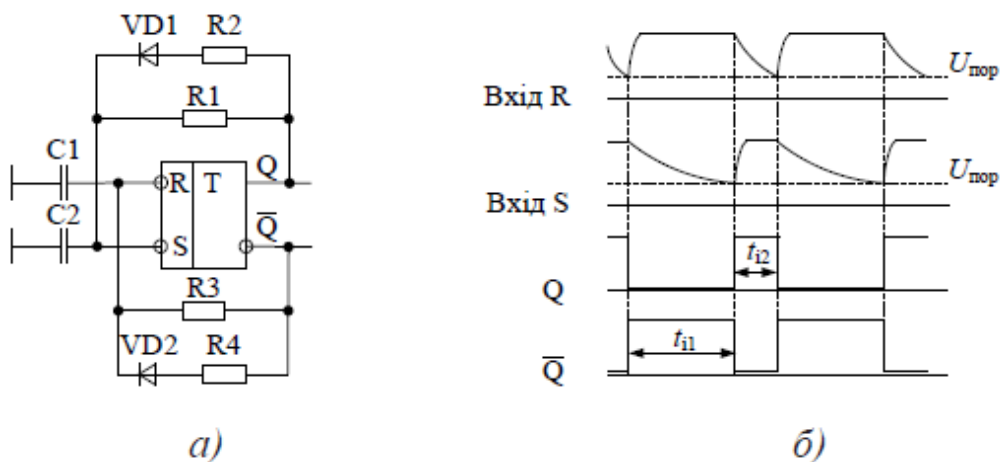


Рисунок 3.1. Мультивібратор на RS-тригері (а) та часові діаграми його роботи (б).

Період слідування вихідного сигналу дорівнює $T_{вих} = t_{i1} + t_{i2}$, а тривалість імпульсів t_{i1} , t_{i2} становить

$$t_{i1} = R_3 C_2 \ln \frac{U_{ж}}{U_{ж} - U_{ж}/2} = R_3 C_2 \ln 2 = 0,693 R_3 C_2 \quad (3.2a)$$

$$t_{i2} = R_1 C_1 \ln \frac{U_{ж}}{U_{ж} - U_{ж}/2} = R_1 C_1 \ln 2 = 0,693 R_1 C_1 \quad (3.2б)$$

$U_{ж}$ – напруга живлення, R_1, C_1, R_3, C_2 – елементи схеми рис.3.1,а.

Мультивібратори на основі інтегральних одинівібраторів

Використовуючи мікросхему 74LS123, що містить два одинівібратора, можна побудувати мультивібратор, схема якого і часові діаграми наведені на рис.3.2.

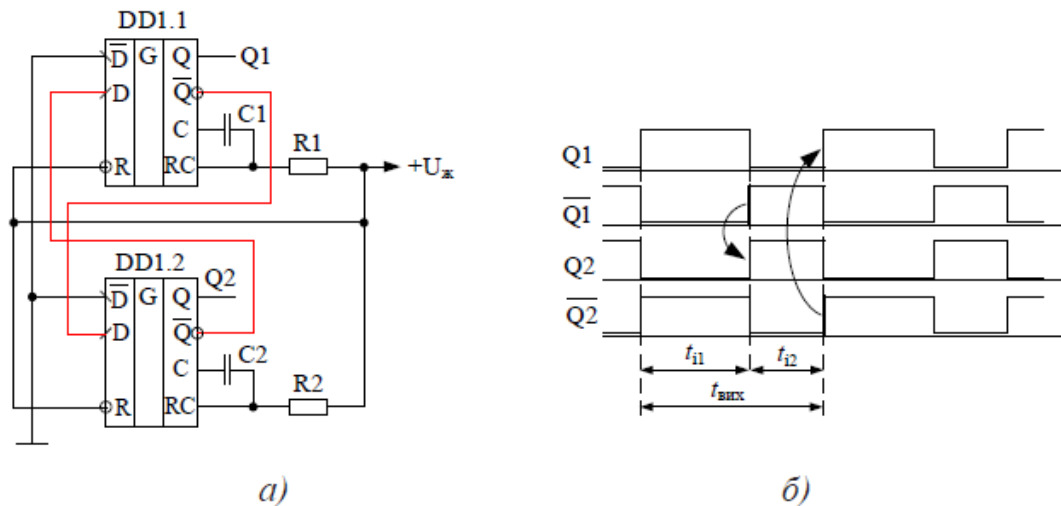


Рисунок.3.2. Схема мультивібратора на основі двох одинівібраторів (а), часові діаграми його роботи (б).

Принцип побудови такого генератора дуже простий. Вихідний сигнал верхнього одинівібратора запускає формування імпульсу другим одинівібратором і навпаки (рис.3.2). Схема мультивібратора на мікросхемі інтегрального одинівібратора 74LS123 (а) та часові діаграми його роботи (б).

Мультивібратори на основі інтегрального таймера NE555

Функціональна схема інтегрального таймера NE555 наведена на рис.3.3.

Основні технічні характеристики мікросхеми NE555:

- напруга живлення 4,5...18 В;
- максимальний вихідний струм 200 мА;
- споживаний струм до 206 мА.

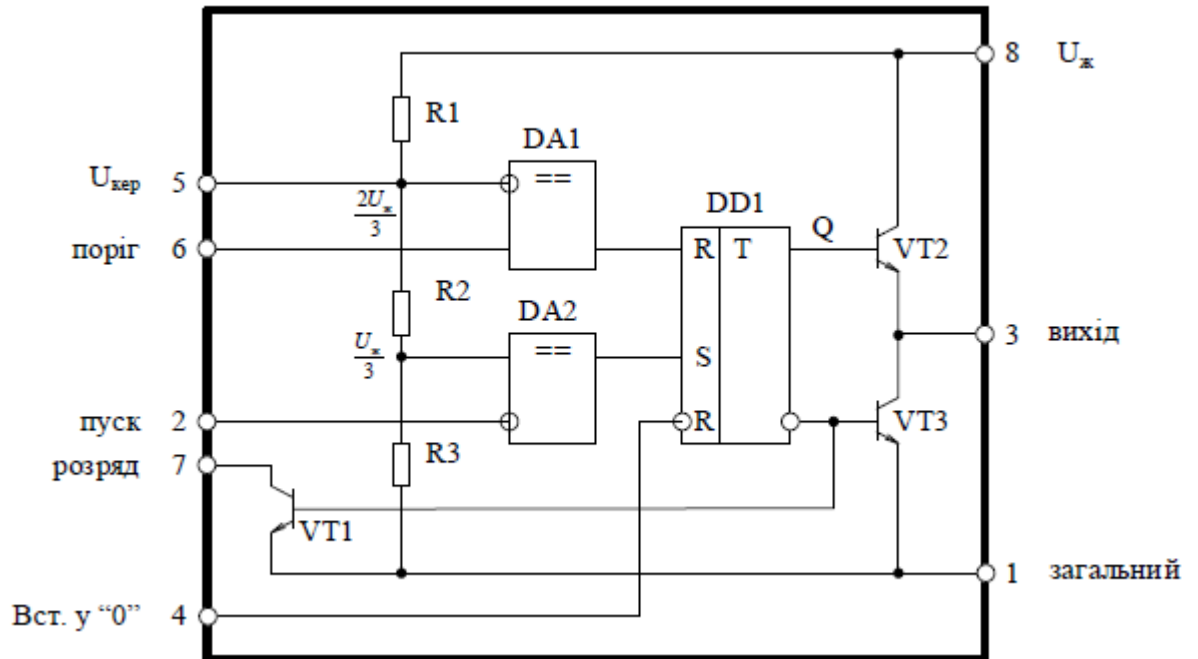


Рисунок. 3.3. Функціональна схема інтегрального таймера NE555.

На рис. 3.4 показана схема одновібратора, побудованого з використанням таймера NE555.

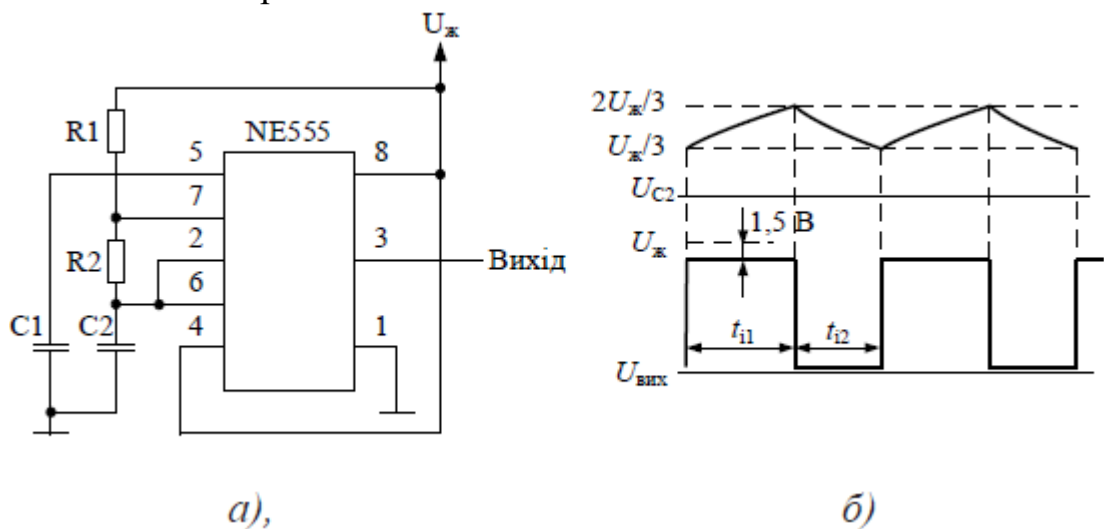


Рисунок 3.4. Принципова схема мультивібратора на основі таймера NE555 (а) та часові діаграми його роботи (б).

Тривалість імпульсу t_{i1} і t_{i2} можна розрахувати за наступними формулами:

$$t_{i1} = (R_1 + R_2)C_2 \ln 2 = 0.693(R_1 + R_2)C_2 \quad (3.3a)$$

$$t_{i2} = R_2 C_2 \ln 2 = 0.693 R_2 C_2 \quad (3.3b)$$

Таким чином, період слідування імпульсів на виході генератора буде дорівнювати:

$$T_{\text{вих}} = t_{i1} + t_{i2} = 0.693(R_1 + 2R_2)C_2 \quad (3.4)$$

а частота слідування імпульсів:

$$f_{\text{вих}} = \frac{1}{t_{i1} + t_{i2}} = \frac{1,44}{(R_1 + 2R_2)C_2} \quad (3.5)$$

Треба звернути увагу на те, що частота вихідного сигналу такого генератора від напруги живлення не залежить.

Скважність послідовності імпульсів на виході (рис. XX) визначимо щодо тривалості позитивного вихідного імпульсу:

$$Q = \frac{t_{i1} + t_{i2}}{t_{i1}} = \frac{R_1 + 2R_2}{R_1 + R_2} \quad (3.6)$$

Таким чином, у схемі рис. 3.4,а неможливо отримати значення $Q = 2$, оскільки таке значення можна отримати тільки при $R1 = 0$, але тоді схема стає непрацездатною.

Скважність – одна з класифікаційних ознак імпульсних систем, безрозмірний коефіцієнт, який характеризує періодичний імпульсний процес і чисельно дорівнює відношенню періоду повторення імпульсу до його ефективної тривалості. Величина, яка обернена до скважності та часто використовується в англійській літературі, називається **коефіцієнтом заповнення** (англ. Duty cycle).

Таким чином, для імпульсного сигналу

$$S = \frac{T}{\tau} = \frac{1}{D} \quad (3.7)$$

де S – скважність, D – коефіцієнт заповнення, T – період імпульсів, τ – тривалість імпульсу.

Постановка задачі

Провести необхідні розрахунки для забезпечення частоти слідування імпульсів та їх скважності та синтезувати схему в середовищі Multisim за варіантом завдання з таблиці 3.1.

Таблиця 3.1. Варіанти завдань до виконання лабораторної роботи 3.

№ варіанту	Схема	Частота слідування імпульсів	Скважність імпульсів
1	Одновібратор на RS-тригері	50мкс	
2	Одновібратор на логічних елементах	200мкс	
3	Одновібратор на мікросхемі 74LS123 (або відповідний аналог)	10мкс	
4	Мультивібратор на RS-тригері	40кГц	2,5
5	Мультивібратор на логічних елементах	10кГц	2
6	Мультивібратор на мікросхемах одновібраторів 74LS123 (або відповідний аналог)	50кГц	5
7	Мультивібратор на таймері NE555	100кГц	2

Примітка

Частота слідування імпульсів може відповідати приблизно значенню за варіантом, в залежності від методики розрахунку та можливості підібрати елементи (R, C) з номінального ряду.

Зміст звіту з лабораторної роботи

1. Варіант завдання.
2. Функціональна схема з необхідними формулами та розрахунками.
3. Скрін схеми з Multisim з вказаними номіналами елементів.
4. Осцилограма вихідних імпульсів.
5. Висновки.

Контрольні питання

1. Принцип роботи одновібратора та мультивібратора.
2. Якими параметрами (елементами) в схемі одновібратора регулюється тривалість вихідного імпульсу.
3. Принцип роботи схеми та різні структури схем одно- та мультивібраторів.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4

Синтезатор частоти з цілісним коефіцієнтом множення

Мета роботи

Оволодіння навичками розрахунку і моделювання фазового детектора і петлі фазової автопідстроювання частоти синтезатора частоти.

Короткі теоретичні відомості [2-4]

Основними елементами системи фазового автопідстроювання частоти (ФАПЧ) є фазовий детектор (ФД), на один з входів якого подається керуючий сигнал, і генератор, керований напругою (ГКН), вхід якого підключено до виходу ФД, а вихід – до іншого входу ФД (рис. 4.1, а). У більшості випадків у складі системи ФАПЧ використовується також фільтр нижніх частот (ФНЧ), що вмикається між виходом ФД і входом ГКН і визначає більшість її частотних властивостей. Зокрема від типу фільтру залежить режим системи – статичний або астатичний, з похибкою або без похибки за фазою. Істотною особливістю системи ФАПЧ, що відрізняє її від більшості інших систем автоматичного регулювання, є те, що вихідною величиною ГКН є частота, а вхідною величиною ФД – різниця фаз керівного сигналу і сигналу зворотного зв'язку, що надходить з виходу ГКН.

В узагальненому вигляді передавальна функція пристрою за схемою на рис. 4.1, а, визначається як:

$$K_{\text{ФАПЧ}}(p) = \frac{\Delta\omega_{\text{вих}}(p)}{\Delta\omega_{\text{вх}}(p)} = \frac{1}{1 + p\tau_0/K_{\text{ФНЧ}}(p)} \quad (4.1)$$

де $\tau_0 = 1/K_{\text{ФД}}K_{\text{ФНЧ}}K_{\text{ГКН}}$ – постійна часу системи ФАПЧ, $K_{\text{ФД}}$ і $K_{\text{ГКН}}$ – коефіцієнти передачі ФД і ГКН.

Причому, $K_{\text{ФД}}$ має розмірність В/рад, а $K_{\text{ГКН}}$ – (рад/с)/В, якщо вхідною і вхідною величинами ФД і ГКН, відповідно, є напруга.

Напруга на виході фазового детектора описується виразом:

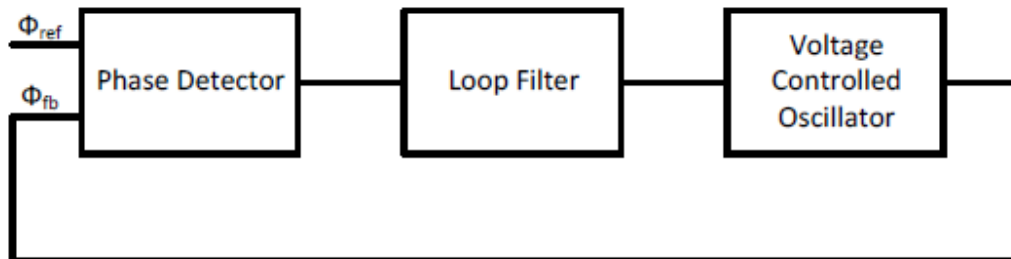
$$U_{\text{ФД}} = K_{\text{ФД}} \sin(\Phi_i - \Phi_o) \quad (4.2)$$

де Φ_i – фаза вхідного сигналу, Φ_o – фаза вихідного сигналу.

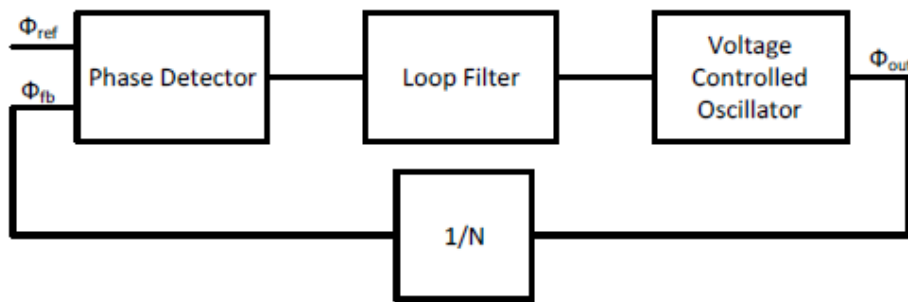
ФНЧ побудовано за схемою пасивного RC-фільтру першого порядку. величина ємності конденсатора розраховується за формулою $C = 1/(2\pi f_n R)$, де

f_n – частота полюсу ФНЧ, що чисельно дорівнює частоті зрізу для фільтру першого порядку.

Частота ГКН визначається співвідношенням $f_o(t) = f_c + K_o U_c(t)$, а фаза – $\phi_o = 2\pi \int f_o(t) dt$, де K_o – коефіцієнт перетворення ГКН, $U_c(t)$ – напруга на вході ГКН, f_c – частота на виході ГКН за відсутності керуючої напруги, f_o – вихідна частота ГКН.



а)



б)

Рисунок 4.1. – Система аналогової ФАПЧ (а) і синтезатор частоти на основі ФАПЧ (б)

Постановка задачі

Побудувати в середовищі NI Multisim схему синтезатора частоти з цілісним коефіцієнтом множення за варіантом згідно табл.4.1.

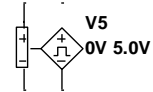
Таблиця 4.1. Варіанти завдання до виконання лабораторної роботи 4.

№ варіанту	вхідна опорна частота	вихідна частота синтезатора
1	1кГц	16кГц
2	1.75кГц	56кГц
3	1.2кГц	76.8кГц
4	0.8кГц	102.4кГц
5	3кГц	48кГц
6	2кГц	32кГц
7	6кГц	38.4кГц
8	0.9кГц	115.2кГц

Порядок виконання роботи

Побудову в середовищі NI Multisim схеми синтезатора частоти з цілісним коефіцієнтом множення будемо проводити в наступному порядку.

1. Вибрати та змодельовати в середовищі NI Multisim фазовий детектор.
2. Розрахувати та змодельовати в середовищі NI Multisim петлевий фільтр фазового детектора для заданої вхідної опорної частоти.
3. В якості генератора керованим напругою ГКН використовуйте компонент NI Multisim Voltage_Controlled_Square_Wave.



4. Змодельовати в середовищі NI Multisim синтезатор з заданою вихідною частотою.

Приклади схем даної лабораторної наведено в додатку 4.

Примітка

1. Вихідна частота синтезатора може приблизно відповідати значенню за варіантом.

Зміст звіту з лабораторної роботи

1. Варіант завдання.
2. Функціональна схема з необхідними формулами та розрахунками.
3. Скрін схеми з Multisim з вказаними номіналами елементів.
4. Осцилограма вихідних імпульсів.
5. Висновки.

Контрольні питання

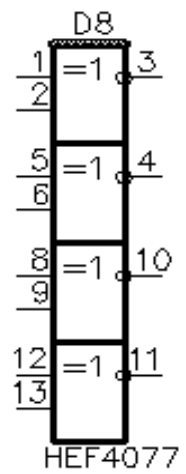
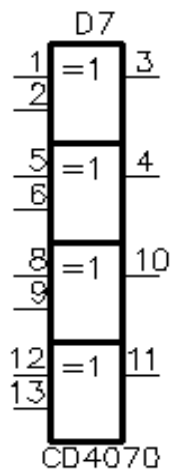
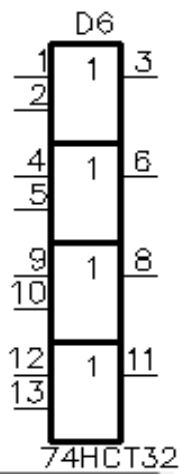
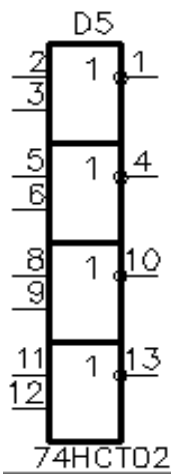
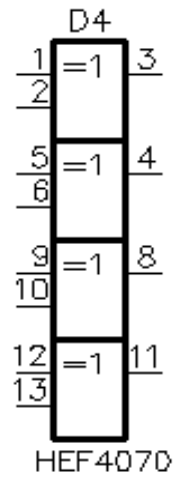
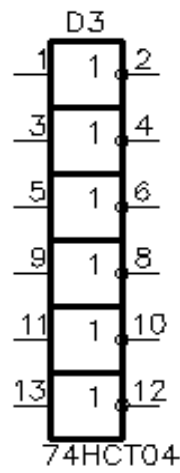
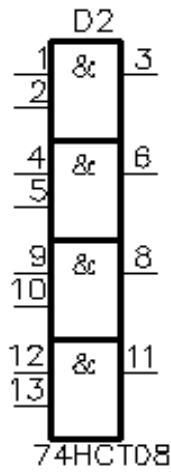
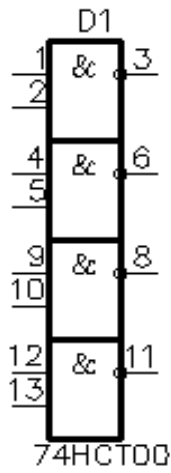
1. Принцип роботи системи ФАПЧ.
2. Схема синтезатора частоти, структура та принцип роботи.
3. Принцип роботи ГКН.
4. Функція петлевого ффільтру ФАПЧ.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. David Money Harris, Sarah L. Harris. Digital Design and Computer Architecture. 2013 Elsevier, Inc. ISBN 978-0-12-394424-5. – 1662 с.
2. Макаренко В.В. Програмні засоби проектування. Навчальний посібник. – Київ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 244с.
3. Рябенський В.М., Жуйков В.Я., Ямненко Ю.С., Заграничний А.В. Схемотехніка: Пристрої цифрової електроніки. Том 2 : Електронний підручник. – Київ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2016. – 358 с.
4. Цифрова та імпульсна схемотехніка. Моделювання та аналіз: навч. посібник / В. В. Макаренко, В. М. Співак. – К.: Кафедра, 2017. – 314 с.

ДОДАТОК 1

ДОВІДКОВІ ДАНІ НА МІКРОСХЕМИ



ДОДАТОК 2

ПРИКЛАД ОФОРМЛЕННЯ ЗВІТУ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ 1

Реалізувати схему пріоритетного шифратора 8 в 3

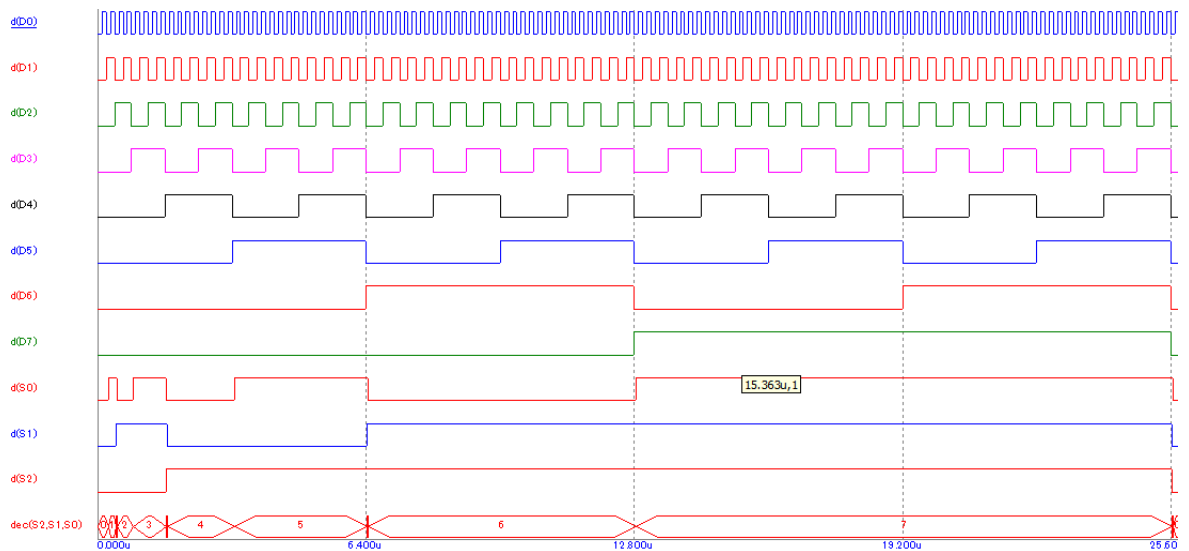
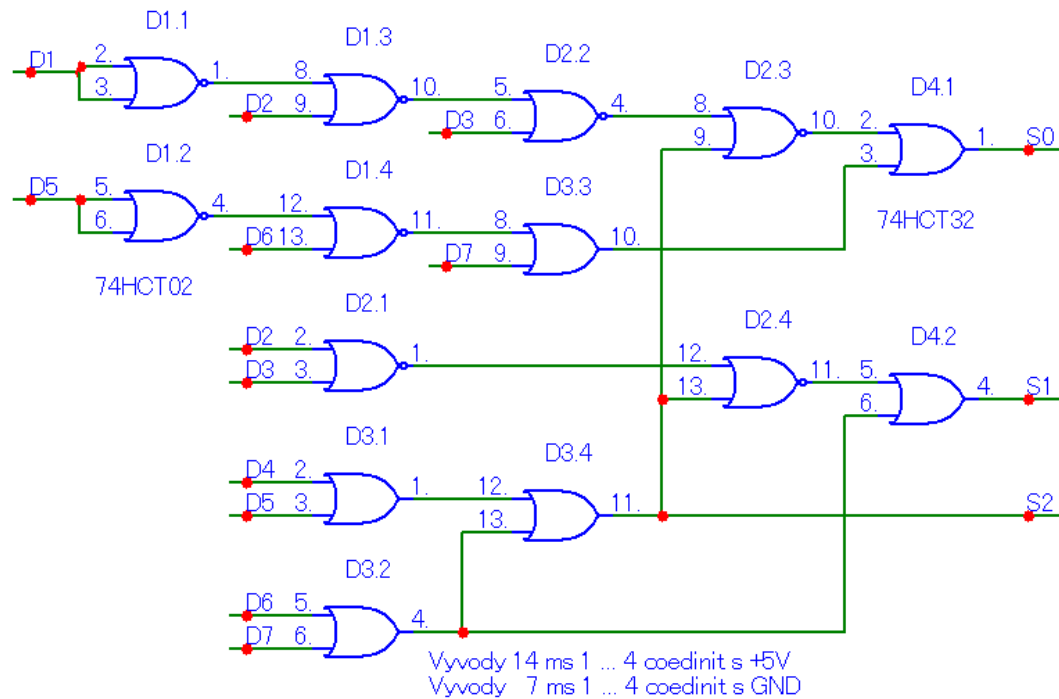
$$S0 = D7 + D6 + \overline{D5} + D7 + D6 + D5 + D4 + \overline{D3} + \overline{D2} \cdot D1 = D7 + D6 + \overline{D5} + S2 + D3 + D2 + D1$$

$$S1 = D7 + D6 + \overline{D7} + D6 + D5 + D4 \cdot (D3 + D2) = D7 + D6 + S2 + \overline{D3} + D2$$

$$S2 = D7 + D6 + D5 + D4$$

nD6*nD7*D5

Skhema prіoritetnogo shifratora 8 v 3

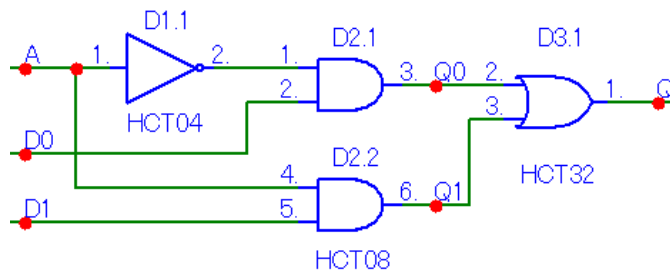


Реалізувати схему мультиплексора 2 в 1

	ex	0	1
	A	0	1
	D ₀	0	0
	D ₁	1	0
	Q	D ₀	D ₁

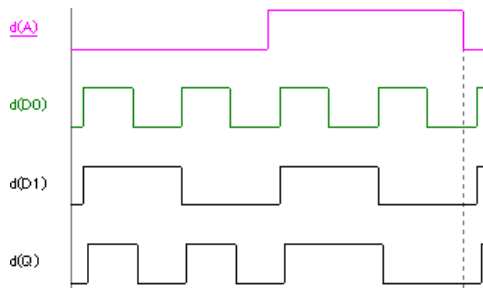
$$y = D_0 \cdot \bar{A} + D_1 \cdot A = D_0 \cdot \bar{A} + D_1 \cdot A$$

Skhema multipleksora 2 v 1



Vyvody 14 ms 1, 2 i 3 coedinit s +5V

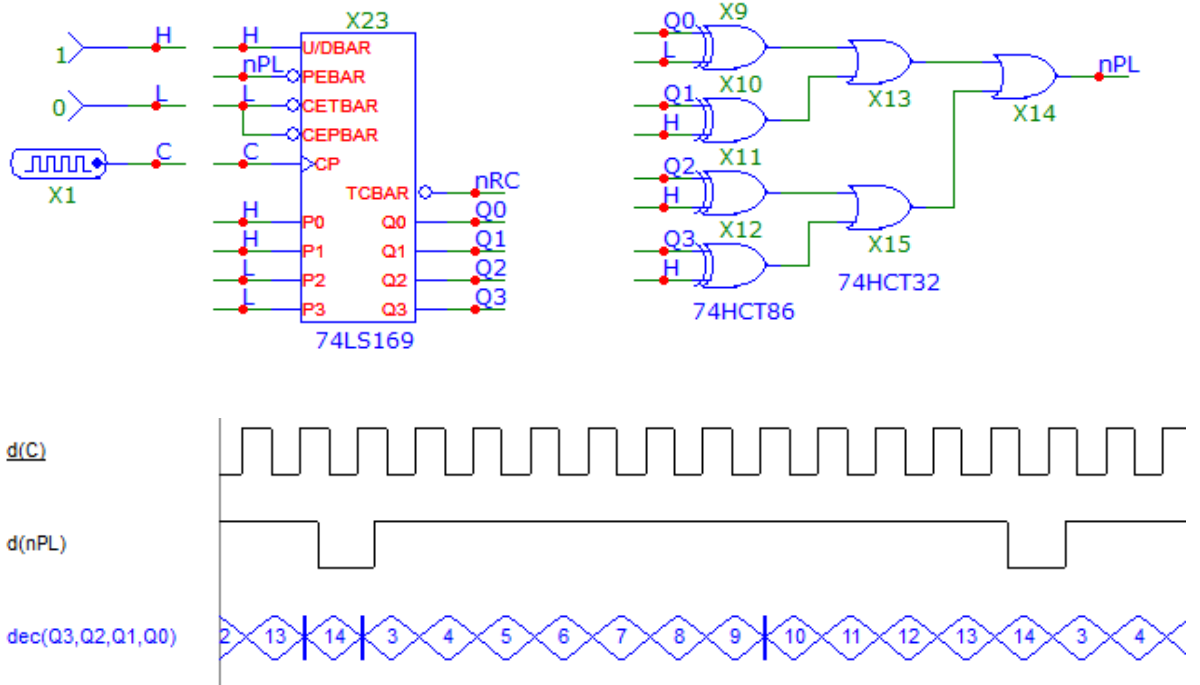
Vyvody 7 ms 1, 2 i 3 coedinit s GND



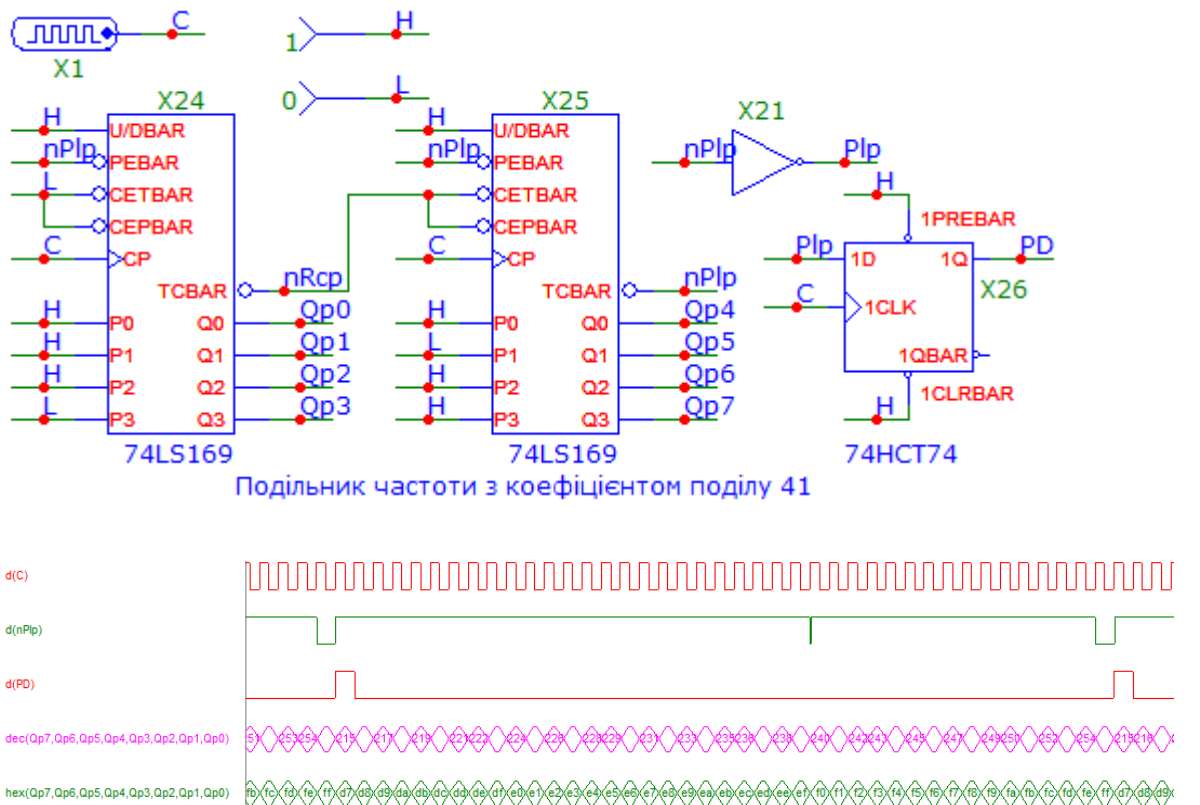
ДОДАТОК 3

ПРИКЛАД ОФОРМЛЕННЯ ЗВІТУ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ 2

1. Синтезувати та реалізувати схему лічильника за модулем 12 від 3 до 14



2. Синтезувати та реалізувати схему подільника частоти з коефіцієнтом поділу 41.



3*. Синтезувати та реалізувати схему збільшення часу індикації показів лічильника з пункту 4.1 в кількість разів, що дорівнює коефіцієнту поділу частоти з таблиці 4.2.

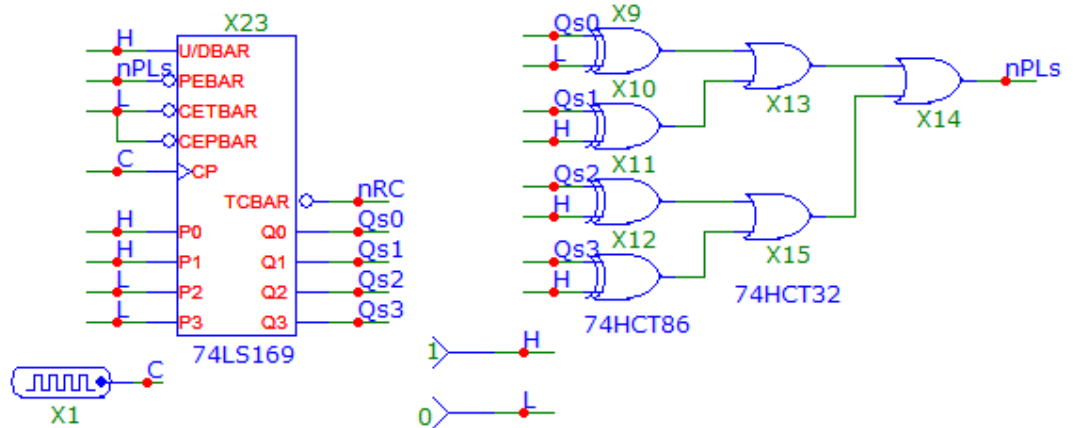
Розрахунок коефіцієнта подільника частоти:

Задано: коефіцієнт поділу частоти – 20

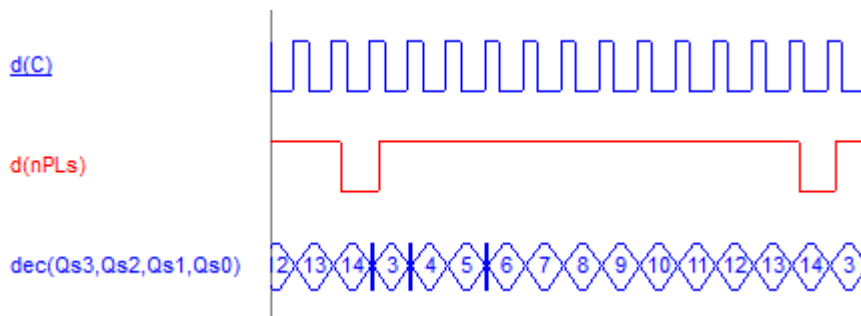
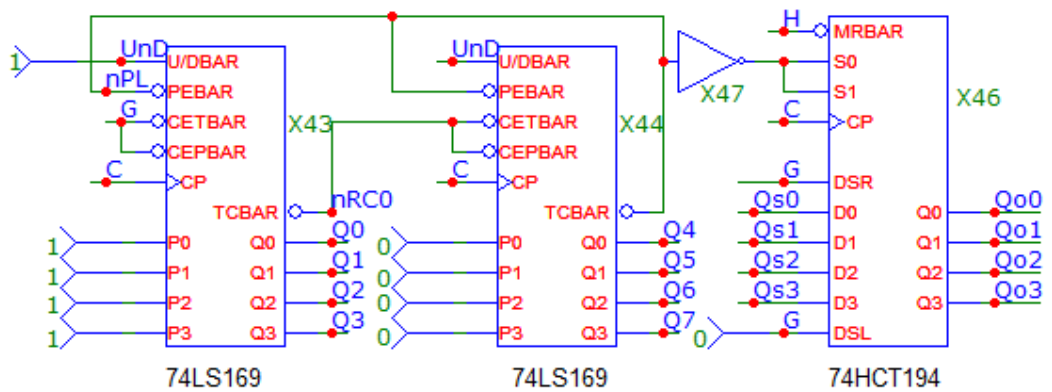
лічильник з 3 до 14 (12 станів)

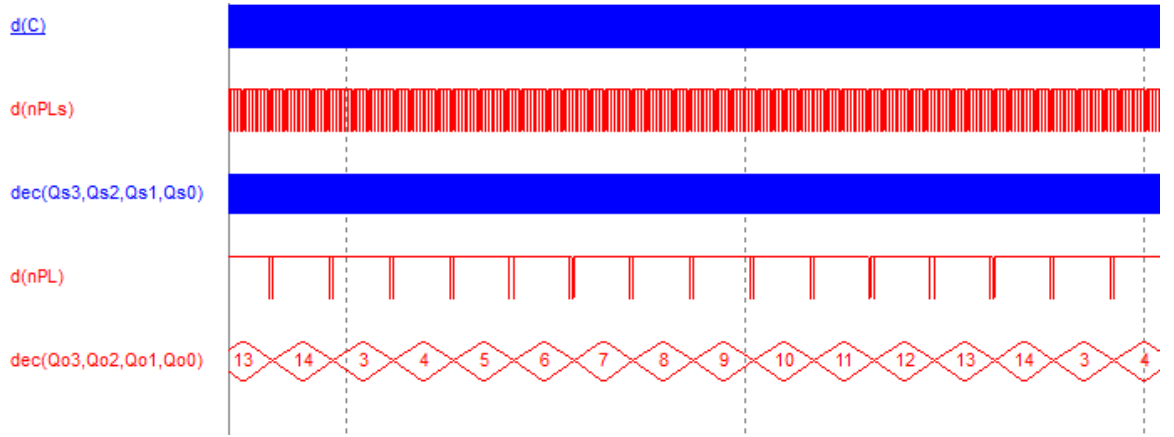
$12 \times 20 = 110$ і до 240 додаємо 1, щоб число, яке зчитується з лічильника на тригерах, змінювалось з кожним циклом касдно включених лічильників.

Таким чином коефіцієнт подільника частоти дорівнює 241



Каскадно вк л ч ені лічильники 74LS169 Регістр зберігання 74HCT194

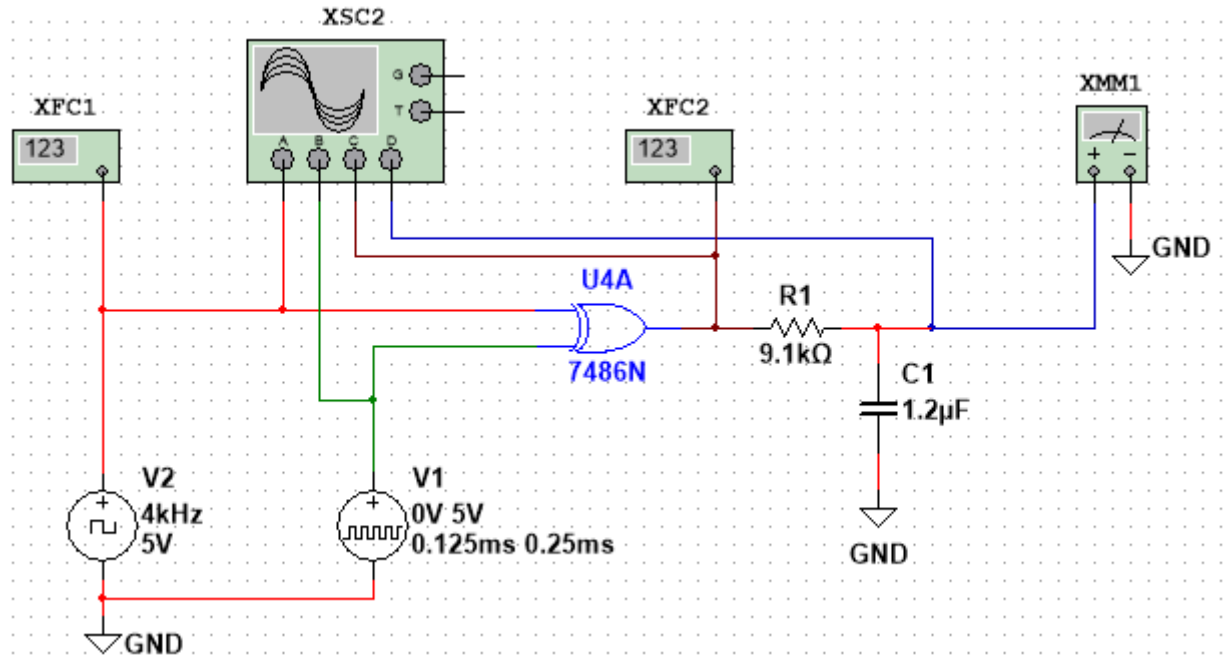




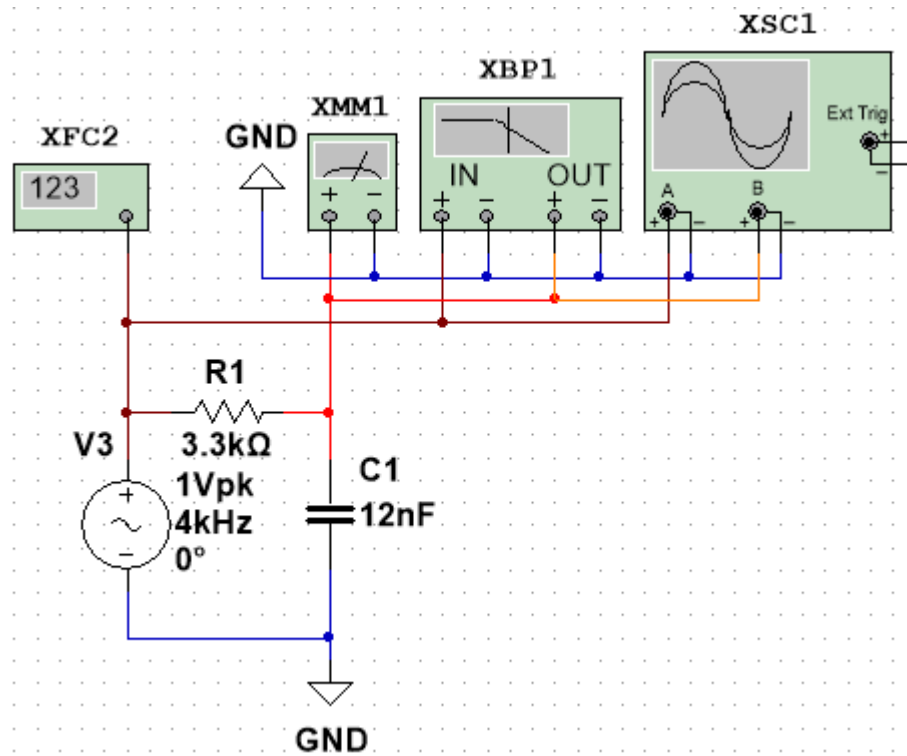
ДОДАТОК 4

ПРИКЛАДИ СХЕМ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ 4

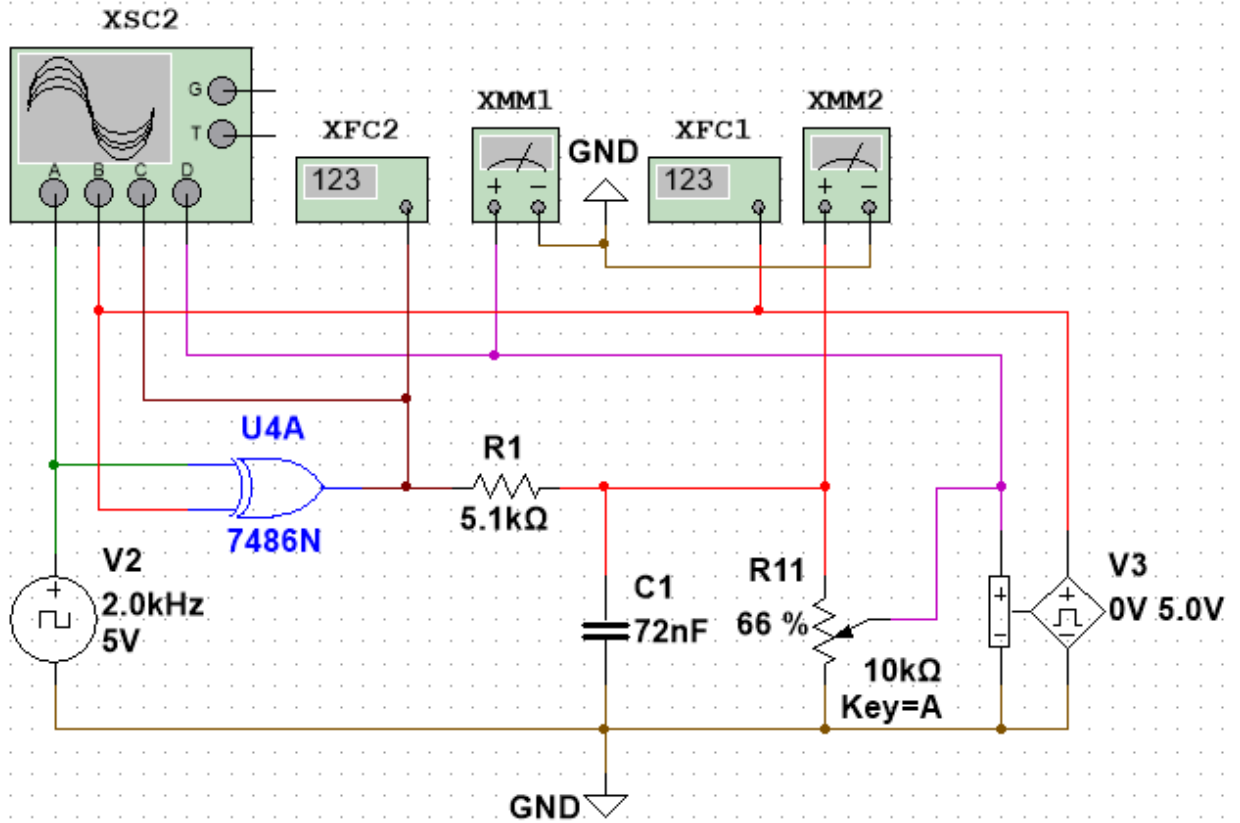
1. Фазовий детектор з петлевым фільтром.



2. Перевірка роботи петлевого фільтра.



3. Аналоговый ФАПЧ



4. Синтезатор частоты

