

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

з курсу
**«Конструювання та технологія виробництва систем
телекомунікацій»**

для студентів спеціальності
172 «Телекомунікації та радіотехніка»
усіх форм навчання

Затверджено
редакційно-видавничою
радою університету,
протокол №3 від 26.10.2022 р.

Харків
НТУ «ХПІ»
2022

УДК 681.32

Конструювання і технологія виробництва систем телекомунікацій: Конспект лекцій для студентів спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка» усіх форм навчання/ Євсіна Н.О., Дудник А.В. - Харків: НТУ «ХПІ», 2022. – 36 с.

Укладачі: ЄВСІНА Наталя Олександрівна
ДУДНИК Олексій Валентинович

Рецензент Д. А. Гапон, д.т.н., зав.каф. автоматизації та кібербезпеки енергосистем

Кафедра автоматики та управління в технічних системах

1 ОРГАНІЗАЦІЯ КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ РОБІТ

Конструювання РЕА (проектування конструкцій) являє собою процес створення нової радіоелектронної апаратури або її модернізації, у ході якого розробляють текстову і графічну конструкторську документацію (КД), що визначає склад і побудову виробу і вміщує всю необхідну інформацію для його виготовлення, контролю, приймання, експлуатації, технічного обслуговування і ремонту.

Під конструкцією розуміють сукупність елементів, деталей і складальних одиниць, що знаходяться у визначеній електричному (відповідно до принципової схеми), просторово-механічному, електромагнітному і тепловому зв'язках, що забезпечує виконання заданих функцій з необхідною ефективністю і надійністю протягом заданого часу в заданих умовах експлуатації і технічного обслуговування, а також можливість її реалізації в заданих умовах експлуатації.

З приведеного визначення випливає, що проектування конструкції - поняття більш широке, чим схемотехнічне проектування.

Постійне ускладнення РЕА, викликане розширенням її функціональних можливостей, поліпшенням показників призначення, удосконалюванням елементної бази, розвитком технології виготовлення, жадає від інженера глибоких знань в області конструювання і технології виробництва РЕА.

При цьому слід зазначити тісний взаємозв'язок і взаємовплив схемотехніки, конструювання і технології виготовлення при конструюванні РЕА, тому що для мікроелектронної апаратури ці аспекти стають практично нероздільними.

Конструювання зв'язане з проектуванням виробів і проектуванням технології їхнього виробництва.

Основними задачами проектування виробів є аналіз вихідних вимог, вибір технічних рішень, оптимізація характеристик майбутньої продукції і випуск необхідних креслень і документації. Конструкторське проектування має на меті створення виробу, що задовольняло б як вихідним технічним вимогам, так і наявним виробничим умовам.

Проектування технології зв'язане з вибором технологічного устаткування і процесів, оптимальним розміщенням устаткування і розподілом технологічних процесів у залежності від характеристик виробництва.

Підготовка виробництва є найбільш трудомісткою функцією і містить

- забезпечення виробництва інструментом, оснащенням, допоміжним

устаткуванням;

- розробку технологічного процесу виготовлення виробів;
- розрахунок економічних і нормативних показників виробництва;
- матеріальне забезпечення технологічних процесів і керування запасами.

Підготовка виробництва повинна забезпечити оптимізацію витрат по випуску спроектованої продукції.

Планування виробництва дозволяє визначити:

- обсяг виробництва, номенклатуру продукції, терміни виготовлення;
- розподіл завдань по виробничих підрозділах;
- оптимальне використання технологічного устаткування.

Предмет виробництва, що підлягає виготовленню на підприємстві називають виробом. ДСТ 2.101-68 встановлює види виробів при виконанні конструкторської документації для всіх галузей промисловості.

1. Д е т а л ь - виріб виготовлений з однорідного по найменуванню і марці матеріалу без застосування складальних операцій, наприклад: гайка, друкована плата, шайба і т.д.

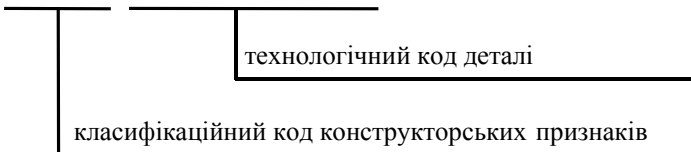
2. С к л а д а л ь н а о д и н и ц я - виріб, складові частини якого підлягають з'єднанню між собою на підприємстві-виготовлювачі складальними операціями, наприклад: мікромодуль, вимірювальний перетворювач, монітор і т.п.

3. К о м п л е к с - два і більш виробу не з'єднані на підприємстві-виготовлювачі складальними операціями, але призначені для виконання взаємозалежних експлуатаційних функцій, наприклад, автоматична телефонна станція, інформаційно-обчислювальний комплекс.

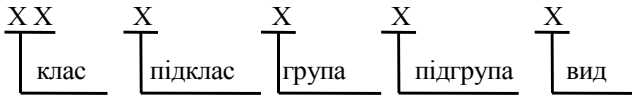
4. К о м п л е к т - два і більш виробу, що мають загальне експлуатаційне призначення допоміжного характеру, наприклад: комплект запасних частин, комплект вимірювальної апаратури.

У конструкторській класифікації всі деталі класифікуються по конструкторських і технологічних ознаках. Це дозволяє використовувати єдину класифікаційну систему позначень креслень, деталей і складальних одиниць з наступною структурою кодування:

XXXXXX XXXXXX.XXXXXXXXXX

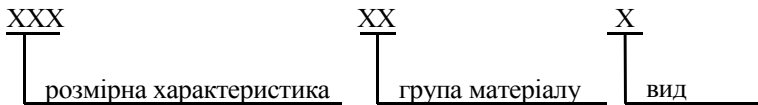


Структура коду конструкторських ознак



Технологічний код складається з двох частин: постійної і перемінної.

Постійна частина складається із шести знаків, що враховують наступні технологічні ознаки:



Приведено сім видів деталей : 1 - литі; 2- виготовлені куванням і гарячим штампуванням; 3 - виготовлені холодним штампуванням; 4 - оброблені різанням; 5 - оброблені термічно; 6 - з покриттям; 7 - виготовляються переробкою полімерних матеріалів.

Перемінна частина - код класифікаційних ознак стосовно до виду деталі по технологічному процесу - складається з 8 знаків.

Як ознаки технологічного процесу прийняті:

- вид вихідної заготовки (XX);
- точність розмірів зовнішніх поверхонь (X);
- точність розмірів внутрішніх поверхонь (X);
- клас шорсткості зовнішніх поверхонь (X);
- характеристика елементів зубчатих зачеплень (X);
- характеристика термічної обробки (X);
- характеристика маси (X).

Для успішного виконання реальних і навчальних конструкторсько-технологічних робіт необхідно використовувати матеріали стандартів (ДСТ, ОСТ) і довідників. Стандарти встановлюють вимоги до термінів і визначень у визначеній області. Використання їх обов'язкове в документації, навчальних посібниках, технічній і довідковій літературі.

2 НОРМАТИВНО-ТЕХНІЧНА ДОКУМЕНТАЦІЯ (НТД)

2.1 Категорії і види нормативно-технічних документів

Стандартизація - це встановлення і закріплення в законодавчому порядку норм на параметри продукції, нормативно-технічну документацію, виробничі процеси і т.п. з метою забезпечити показники якості продукції, що випускається, на рівні кращих світових зразків і переважаючих їх.

Для посилення ролі стандартизації в технічному прогресі, підвищення якості продукції і економічності її виробництва з 1965 р. у колишньому СРСР була введена Державна система стандартів (ГСС), що визначає організаційні, методичні і практичні основи стандартизації у всіх ланках народного господарства.

НТД, що діє на території СНД, у залежності від рівня її затвердження і сфери дії підрозділяється на категорії:

- стандарти міжнародні;
- стандарти державні (ДСТ), затверджені Комітетом Стандартизації і метрології і обов'язкові до застосування по всій країні;
- стандарти галузеві (ОСТи) діючі по галузях промисловості, торгівлі, с/г, затверджені по виду продукції головними міністерствами або відомствами галузі;
- стандарти підприємств (СТП), затверджені керівництвом підприємств, які носять в основному організаційно-розпорядницький характер;
- технічні умови (ТУ), розроблені підприємством виготовлювачем на продукцію, що не підпадає під дію перерахованих вище стандартів.

Стандарти вводяться на певний строк і в плановому порядку переглядаються. Щорічно видаються переліки діючих на поточний рік державних, галузевих і республіканських стандартів, наприклад: "Державні стандарти. Показчик".

У залежності від обсягу стандартизації стандарти поділяються на види:

- організаційно-методичні;
- загально технічні (терміни і визначення, загальні вимоги, методи);
- стандарти на продукцію (параметри і розміри, типи, марки, приймання, методи контролю, маркірування, збереження, експлуатації і ремонту і т.д.).

Системою стандартизації, крім обов'язкових стандартів, передбачена також категорія керівних технічних матеріалів (РТМ), що розробляються тоді, коли неможливе або недоцільне встановлення стандарту.

2.2 Позначення стандартів

Позначення стандартів ЄСКД, ЄСТД і ЄСТПП будується на класифікаційному принципі і має вид:



Розглянемо його на прикладі стандартів ЄСКД. Стандарти ЄСКД (Єдина система конструкторської документації) встановлюють основні правила розробки, оформлення і обертання конструкторської документації.

Класу стандартів ЄСКД привласнена цифра два (1 - ГСС, 3 - ЄСТД, 14 - ЄСТПП).

Усі стандарти цього класу підрозділяються на 10 класифікаційних груп від 0 до 9, з яких конструктор РЕА використовує наступні:

- 0 - загальні положення;
- 1 - основні положення;
- 3 - загальні правила виконання креслень;
- 5 - правила обертання КД;
- 6 - правила виконання експлуатаційної і ремонтної документації;
- 7 - правила виконання схем.

Кожен стандарт у класифікаційній групі нумерується двозначним числом. Рік видання записується двозначним числом після тире.

Так, наприклад, ДСТ 2.108-68 визначає, що стандарт відноситься до другого класу ЄСКД (цифра 2, після якої стоїть крапка); стандарт першої класифікаційної групи (цифра 1 після крапки); порядковий номер стандарту в групі - 08; рік реєстрації стандарту - 1968 (число 68 після тире).

2.3 Стадії розробки

Конструювання - це процес відображення в кресленнях і схемах майбутнього виробу. Для створення РЕА необхідний визначений комплект конструкторсько-технологічної документації. Послідовність етапів розробки РЕА і стадії випуску конструкторської і технологічної документації визначається Державними стандартами.

Відповідно до ЄСКД (ДСТ 2.103-68. ЄСКД. Стадії розробки.) встановлені наступні стадії розробки:

- технічне завдання;
- технічна пропозиція;
- ескізний проект;
- технічний проект;
- робочий проект.

Процес розробки РЕА (як і будь-якого технічного виробу) складається з двох етапів: науково-дослідної роботи (НДР) і дослідно-конструкторської (ДКР).

Науково-дослідна робота є першою стадією розробки, на якій виявляється принципова можливість створення виробу. Вона включає розробку технічного завдання (ТЗ) і технічної пропозиції (на реалізацію ТЗ).

У процесі виконання НДР цілком проробляються теоретична й експериментальна частини розробки. Якщо НДР завершується негативним результатом, то це свідчить про те, що або дана розробка безперспективна, або її постановка передчасна, оскільки вона не може бути повною мірою забезпечена сучасним рівнем розвитку техніки. При позитивному результаті, НДР закінчується ТЗ на ДКР.

Дослідно-конструкторська розробка є другою стадією розробки. Вона містить у собі стадії розробки ескізного, технічного і робочого проектів.

Грунтуючись на результатах НДР, ДКР має на меті оптимальне інженерне її втілення. У процесі виконання ДКР виробляються всі конструкторські і технологічні розрахунки, а також необхідні експериментальні дослідження. ДКР закінчується розробкою повного комплексу технічної документації на виріб і пред'явленням замовнику дослідного зразка пристрою, виконаного по цій документації.

Технічне завдання є вихідним документом, що встановлює основне призначення, тактико-технічні і техніко-економічні характеристики пред'явлені до розроблюваного виробу.

Відповідно до ДСТ 15.001-88. [Система розробки і постановки продукції на виробництво] ТЗ включає наступні розділи:

1. Найменування та область застосування.
2. Підстава для розробки і її джерела.
3. Мета і призначення розробки.
4. Технічні вимоги.
5. Економічні показники.
6. Етапи розробки.
7. Порядок контролю і приймання.

У розділі “Найменування та область застосування” вказують найменування виробу і приводять коротку характеристику області його використання.

У розділі “Підстава для розробки і її джерела” указують найменування документа, на підставі якого ведеться розробка, і організації, яка затвердила цей документ.

Номенклатура технічних вимог досить велика і регламентується документами:

- РД 50-149-79. Методичні вказівки по оцінці технічного рівня і якості продукції.

- РД 50-64-84. Методичні вказівки по розробці державних стандартів, що встановлюють номенклатуру показників якості груп однорідної продукції.

Технічні вимоги містять у собі наступні основні показники:

1. Склад і вимоги до конструкції:

- найменування, кількість та призначення складових частин виробу;
- масогабаритні характеристики;
- спосіб установки і закріплення на об'єкті;
- вимоги за рівнем мініатюризації.

2. Вимоги до показників призначення РЕА.

Ця група вимог встановлює основні технічні характеристики виробу, що визначають його цільову спрямованість:

- радіотехнічні характеристики функціонального призначення (режим роботи, параметри сигналів, вихідні параметри, індикація та ін.). При складанні ТЗ на конструкторську розробку виробу, ці характеристики даються як ознайомлювальні;

- експлуатаційні показники технічної ефективності, що визначають основні конструкторські рішення (потужність випромінювання, споживана потужність, діапазон прийнятих частот, швидкодія та ін.);

- класифікаційна характеристика об'єкта установки, що виробляється по класах, групам і підгрупам використання.

3. Вимоги по стійкості РЕА до механічних і кліматичних впливів.

4. Вимоги до надійності.

5. Вимоги ергономіки й естетики.

6. Вимоги до технологічності та уніфікації.
7. Патентно-правові вимоги.
8. Вимоги безпеки РЕА.

Після розробки і затвердження ТЗ, виконуються проектні і робочі стадії конструкторських розробок. До проектних стадій відносяться технічна пропозиція, ескізний проект і технічний проект. До робочих стадій відносять робочий проект.

Технічна пропозиція (ДСТ 2.118-73) дозволяє уточнити окремі положення ТЗ. При виконанні ПТ проводять патентний пошук, оформляють заявки на винаходи і вибирають оптимальний варіант рішення. По можливості для вирішення задач оптимізації проводять експериментальні дослідження макетів або досліджують відповідні математичні моделі. На цій стадії можна застосувати ЕОМ із графічною периферією в діалоговому режимі.

Ескізний проект (ДСТ 2.119-73) розробляють для прийняття принципів (конструктивних, схемних і системних) рішень, що дозволяють оцінити пристрій і роботу виробу в цілому. По ескізній документації виготовляють і випробують макет. На цій стадії використовують ЕОМ з відповідним математичним забезпеченням для вирішення задач компонування варіантів конструкцій зі стандартних і типових елементів.

Технічний проект (ДСТ 2.120-73) дозволяє прийняти остаточне технічне рішення на основі розробки загальних видів, креслень деталей і схем виробу, оцінки відповідності вимогам ТЗ і т.п. На цій стадії ЕОМ використовують для креслення стандартних і типових елементів і розробки текстових документів.

На стадії створення робочої документації виконують наступні роботи:

- розробляють конструкторські документи, що забезпечують виготовлення та випробування дослідного зразка;
- виготовляють і випробують дослідний зразок;
- коректують конструкторську документацію за результатами приймальних випробувань дослідного зразка;
- виготовляють і випробують установочну серію;
- коректують КД за результатами виготовлення та випробування установочної серії;
- виготовляють і випробують головну (контрольну) серію. На основі відкоригованої документації здійснюють серійне виробництво.

При проведенні всіх цих робіт широко використовують САПР.

2.4 Види і комплектність конструкторських документів

Види і комплектність конструкторських документів для кожної стадії розробки встановлює ДСТ 2.102-68. ЄСКД. Види і комплектність конструкторської документації.

Усю КД підрозділяють на графічну (схеми і креслення) і текстову.

Схеми являють собою документи, на яких у виді умовних графічних зображень або позначень показані складові частини виробу і зв'язки між ними.

Відповідно до ДСТ 2.701-84. [Схеми. Види і типи. Загальні вимоги до виконання.] схеми розрізняють **по видах**:

- електрична (Е);
- гідравлічна (Г);
- пневматична (П);
- кінематична (К)

і типам:

- структурна (1);
- функціональна (2);
- принципова (3);
- з'єднань (4);
- підключень (5);
- загальна (6);
- розміщення (7).

Електричні схеми включають наступні види КД:

- схему структурну (Е1), що визначає основні функціональні частини виробу, їх призначення і взаємозв'язки. Їх розробляють на стадіях проектування, що передують розробці схем інших типів і використовують для загального ознайомлення з виробом;

- схему функціональну (Е2), що роз'ясняє основні процеси, що протікають в окремих функціональних ланцюгах виробу або у виробі в цілому. Ними користаються при вивченні принципів роботи виробу, при налагодженні, контролі, ремонті;

- схему принципову (Е3), що визначає повний склад елементів і зв'язків між ними, що використовують для вивчення принципів роботи виробу, при контролі, налагодженні, ремонті. Вона служить підставою для розробки інших КД;

- схему з'єднань (Е4), що показує з'єднання складових частин виробу і визначає провідники, джгути і кабелі, якими здійснюються ці з'єднання;

- схему підключення (Е5), що показує зовнішні підключення виробу;

- схему загальну (Е6), що визначає складові частини комплексу і

з'єднання їх між собою на місці експлуатації;

- схему розміщення (Е7), що показує розташування елементів схеми на платі, конструктивні і т.п.

До креслень відносяться наступні види конструкторських документів (ДСТ 2.109-73.Основні вимоги до креслень):

- креслення загального виду (ВО) - документ визначаючий конструкцію виробу і взаємодію його основних частин;

- креслення деталі, що містить зображення деталі та інші дані необхідні для її виготовлення;

- складальне креслення (СБ), що містить зображення складальної одиниці та інші дані необхідні для її зборки і контролю;

- габаритне креслення (ГЧ), що містить спрощене зображення виробу з габаритними, установчими і приєднувальними розмірами;

- електромонтажне креслення (МЧ), що містить дані необхідні для виконання електричного монтажу виробу;

- монтажне креслення (МЧ) - спрощене зображення виробу з даними для його установки на місці застосування;

- пакувальне креслення (УЧ), що містить дані необхідні для упакування виробу;

До текстових документів відносяться:

- пояснювальна записка (ПЗ) - основний документ, у якому приводиться опис роботи виробу РЕА, його основні характеристики, умови експлуатації, збереження і контролю, креслення і схеми, необхідні розрахунки і т.п.

- технічні умови (ТУ) - вимоги до виробу, його виготовленню, прийманню і постачанню (ДСТ 2.114-70).

- патентний формуляр (ПФ) - відомості про патентну чистоту виробу і вітчизняних винаходів, використаних при його розробці (ДСТ 15.002-84);

- карта технічного рівня і якості виробу (КУ) - дані які визначають рівень якості виробу, відповідність його технічних і економічних показників досягненням науки і техніки потребам народного господарства (ДСТ 2.116-86).

- специфікація - документ який визначає склад складальної одиниці, комплексу або комплекту;

- перелік елементів - документ який визначає склад принципової схеми виробу РЕА.

Передбачається також оформлення експлуатаційної документації, відомостей ЗІП і інших матеріалів по необхідності. Загальні вимоги до текстових документів, форми і правила їх виконання містяться в ДСТ 2.105-95 (СТ СЭВ 2667-80), 2.106-68.

До обов'язкових проектних документів відносяться наступні:

1) відомості технічної пропозиції, ескізного проекту, технічного проекту (переліки відповідних документів);

2) пояснювальна записка (ПЗ);

3) креслення загального виду (ВО).

На стадії розробки робочої документації обов'язковими документами є:

1) креслення деталі;

2) складальне креслення (СБ);

3) специфікація.

3 ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ КОНСТРУЮВАННЯ

3.1 Класифікація РЕА

РЕА розрізняють по класах, групах і підгрупах використання, конструктивному виконанню, функціональному призначенню, тривалості роботи, принципу дії, надійності, способу експлуатації, типу технічного обслуговування, елементній базі і типу виробництва.

3.1.1 Класифікація РЕА по класах, групах і підгрупах

Уся радіоелектронна апаратура підрозділяється на три класи:

- наземна;

- морська;

- бортова (наземний і космічний простір).

Клас наземної РЕА складається з трьох основних груп:

- стаціонарна;

- рухлива;

- що носить.

При цьому, кожна з приведених груп включає підгрупи побутової і професійної РЕА.

Клас морської професійної РЕА містить дві групи:

- суднову (для військових об'єктів - корабельну);

- буйкову.

Клас бортової професійної РЕА включає три групи:

- літакову;

- ракетну;

- космічну.

3.1.2 Класифікація РЕА по конструктивному виконанню

Підгрупа побутової наземної (стаціонарної, рухливої і що носить) РЕА, у залежності від умов експлуатації і категорії розміщення, підрозділяється на 4 групи виконання:

- 1 - апаратура, що працює в житлових приміщеннях;
- 2 - автомобільні радіомовні приймачі, вбудовані в кузов;
- 3 - апаратура, що носить, працююча на відкритому повітрі;
- 4 - апаратура, що працює на відкритому повітрі в умовах руху.

Підгрупа професійної наземної (стаціонарної, рухливої і що носить) РЕА підрозділяється на 7 груп виконання:

- 1 - РЕА стаціонарна, працююча в опалювальних наземних і підземних спорудах;
- 2 - РЕА стаціонарна, працююча на відкритому повітрі або в не опалювальних спорудах;
- 3 - РЕА що возиться, встановлена в автомобілях, мотоциклах та іншій техніці і працююча на ходу;
- 4 - РЕА що возиться, встановлена у внутрішніх приміщеннях річкових судів і працююча на ходу;
- 5 - РЕА що возиться, працююча в рухливих залізничних об'єктах;
- 6 - РЕА що носить і портативна, призначена для тривалого перенесення людьми на відкритому повітрі або в не опалювальних приміщеннях;
- 7 - РЕА портативна, призначена для тривалого перенесення людьми на відкритому повітрі при полегшених зовнішніх впливах або в опалювальних спорудах.

Морську суднову РЕА, у залежності від умов експлуатації і категорії розміщення, підрозділяють на 2 групи:

- 1 - РЕА, розташовану у внутрішніх судових приміщеннях;
- 2 - РЕА, призначену для роботи на відкритих палубах судів.

Для літакової і вертолітної бортової РЕА групи виконання встановлюють по окремих видах впливів:

По вібраційних впливах виділяють 3 зони і 7 областей розміщення. У залежності від області розміщення встановлюють 7 груп виконання.

По ударних впливах виділяють 3 групи виконання.

По теплових впливах РЕА класифікується на 3 групи.

По впливах вологості і морського туману встановлюють 2 групи виконання.

По зниженому тиску і розгерметизації - 4 групи.

Крім того, обмовляються вимоги до виконання при впливі піску, пи-

пилу, цвілевим грибкам, сонячній радіації і т.д. і т.п.

3.1.3 Класифікація РЕА по функціональній складності

По функціональній складності розрізняють наступні рівні розукрупнення:

- радіоелектронний пристрій;
- радіоелектронний комплекс;
- радіоелектронна система.

При цьому, під радіоелектронним пристроєм розуміють закінчену складальну одиницю, виконану на несучій конструкції, що реалізує функції прийому, передачі або перетворення інформації.

Радіоелектронний комплекс являє собою сукупність функціонально зв'язаних радіоелектронних пристроїв, призначену для вирішення складних технічних задач.

Радіоелектронна система представляє сукупність функціонально взаємодіючих автономних радіоелектронних комплексів і пристроїв, що володіє властивістю перебудовування структури з метою раціонального вибору і використання засобів, які входять до її складу, при вирішенні технічних задач.

3.1.4 Класифікація РЕА по функціональному призначенню

По функціональному призначенню можна виділити наступні види РЕА, що мають істотні конструктивні особливості:

- побутова РЕА: радіомовні приймачі, тюнери, підсилювачі звукової частоти, приймачі програмного провідного віщання, електрофони, телевізійні приймачі, магнітофони і т.д. і т.п.;

- професійна РЕА: системи радіозв'язку загального і спеціалізованого користування, системи аварійного зв'язку, системи провідного зв'язку, радіорелейні системи передачі прямого бачення, тропосферні й іоносферні системи, супутникові системи передачі і т.д.

3.1.5 Класифікація РЕА по тривалості роботи

По тривалості роботи розрізняють 4 категорії: РЕА однократного, багаторазового, безупинного і загального застосування.

Апаратура однократного застосування використовується один раз за період експлуатації (наприклад, ракетна), багаторазового - кілька разів. Апаратура безупинного застосування призначена для безупинної експлуатації (наприклад, радіотрансляційний вузол). РЕА загального

застосування працює в змішаному режимі (наприклад, побутова техніка).

3.1.6 Класифікація РЕА по інших ознаках

За принципом дії РЕА підрозділяють на аналогову, цифрову і цифроаналогову. Аналогова і цифрова апаратура використовує відповідно схемотехнічні принципи аналогової і цифрової техніки, а цифроаналогова - комбінацію цих принципів.

По конструктивній складності розрізняють 4 структурних рівні розукрупнення: РЕА-0, РЕА-1, РЕА-2 і РЕА-3.

По надійності розрізняють РЕА відновлювану і невідновлювану, з резервуванням і без резервування.

По способу експлуатації РЕА підрозділяють на автоматичну, напівавтоматичну і з ручним керуванням. При цьому під експлуатаційними розуміють роботи, виконувані оператором, зв'язані з нормальним функціонуванням апаратури.

По виду технічного обслуговування (ТЕ) розрізняють РЕА з ТЕ після періодичного контролю, з ТЕ при безупинному контролі і РЕА з регламентованим ТЕ, що проводиться незалежно від стану виробу до початку обслуговування.

По елементній базі і структурі конструкції розрізняють апаратуру п'яти поколінь, з яких РЕА-1 уже не виробляється.

Тип виробництва встановлюють по ознаках широти номенклатури, регулярності, стабільності та обсягу випуску продукції. У відповідності зі стандартом [ДСТ 14.004-83. Технологічна підготовка виробництва. Терміни і визначення.] виділяють одиничне, серійне і масове виробництво.

3.2 Елементна база, покоління РЕА

Під схемотехнічною елементною базою розуміють електрорадіовироби (ЕРВ), що входять у перелік елементів електричної принципової схеми пристрою. ЕРВ включає наступні класи:

- електрорадіоелементи (ЕРЕ) - дискретні резистори, конденсатори, моткові вироби і т.п.;

- електровакuumні прилади (ЕВП) - електронно-променеві трубки, радіолампи і т.д.;

- напівпровідникові прилади (НПП) - транзистори, діоди, тиристори і т.д.;

- інтегральні мікросхеми (ІС) - конструктивно закінчені вироби мікроелектронної техніки загального застосування виготовлені в єдиному технологічному процесі;

- мікрозборки (МСБ) - конструктивно закінчені вироби мікроелектронної

техніки визначеного функціонального призначення приватного застосування;

- контрольно-вимірювальні прилади;
- комутаційні вироби.

По елементній базі і структурі конструкції розрізняють п'ять поколінь РЕА.

РЕА першого покоління (РЕА-I) - апаратура, виконана на радіолампах з навісними ЕРЕ і друкованим чи об'ємним монтажем.

РЕА другого покоління (РЕА-II) - апаратура, виконана на транзисторах з навісними малогабаритними ЕРЕ і друкованим монтажем.

РЕА третього покоління (РЕА-III) - апаратура виконана на основі корпусованих ІС першого і другого ступеня інтеграції (число ЕРЕ в еквівалентній схемі $N=10,100$), мініатюрних ЕРЕ і багатошарового друкованого монтажу.

РЕА четвертого покоління (РЕА-IV) характеризується істотним поліпшенням надійності і масогабаритних характеристик за рахунок використання ІС третього і четвертого ступеня інтеграції ($N=1000, 10000$), збільшенням їх номенклатури, введенням мікроборок. Мікросхеми ІС-4 одержали назву великих інтегральних мікросхем (ВІС).

РЕА п'ятого покоління (РЕА-V) - апаратура, виконана на основі надвеликих (НВІС) надшвидкодюючих інтегральних мікросхем ($N=100000$), гібридно-інтегральних модулів (ГІМ) і волоконно-оптичних кабелів і з'єднувачів. ГІМ - власне кажучи великоформатні (типовий розмір 175×75 мм) мікроборки.

3.3 Ієрархічний принцип побудови РЕА

Ієрархічний принцип є одним із принципів системного підходу при конструюванні РЕА. Він полягає в поділі конструкції на структурні рівні (СР), кожний з яких характеризується елементною, конструкторською і технологічною однорідністю. При цьому, вироби більш низьких СР комплектують і відповідно входять у специфікацію виробів більш високих рівнів.

Відмітною ознакою переходу до більш високого СР є операція зборки. Розукрупнення РЕА по конструктивній складності регламентується ДСТ 26.632-85. Рівні розукрупнення радіоелектронних засобів по функціонально-конструктивній складності.

Ієрархія РЕА починається з нульового СР (РЕА-0), що являє собою неподільні схемні і конструктивні елементи, що володіють властивістю конструктивної і функціональної взаємозамінності, тобто елементну базу (ЕРЕ, ЕРВ, ЕВП, ІС, ВІС і т.п.).

Перший структурний рівень (РЕА-1) являє собою радіоелектронний осередок (РО), тобто конструктивно автономні (завершені), експлуатаційно неавтономні складальні одиниці, що складаються з мінімально виправданого числа елементів нульового структурного рівня, необхідного для реалізації якихось функцій. При цьому конструктивна завершеність означає можливість механічної фіксації й електричного підключення без допомоги додаткових засобів.

Стандартизований РО, на який з метою забезпечення системної сумісності накладений ряд обмежень: єдність форми, типорозмірів, виводів і т.п., називають радіоелектронним модулем першого СР (РЕМ-1), що часто використовують як типовий елемент заміни (ТЕЗ).

Другий структурний рівень (РЕА-2) включає радіоелектронні блоки (РБ) і їх різновиди: мікроблоки, субблоки, панелі.

РБ - конструктивно автономна, експлуатаційно неавтономна складальна одиниця, що реалізує складну завершену функцію і являє собою сукупність РО, виконаних на базі несучої конструкції і містить панель. РБ використовують у якості ТЕЗ значно рідше, ніж РО.

Третій структурний рівень (РЕА-3) включає радіоелектронні пристрої, комплекси і системи, конструктивно виконані у виді радіоелектронних шаф (РШ) чи стійок.

РШ - конструктивно і експлуатаційно автономна складальна одиниця, як правило, строго спеціалізована, виконуюча складні завершені функції.

Слід зазначити, що входження нижчих СР у вищі не обов'язково повинно здійснюватися по порядку номерів рівнів.

3.4 Функціонально-вузловий і функціонально-блоковий методи конструювання РЕА

Функціонально-вузловий метод (ФУМ) полягає в тім, що розроблювальний пристрій розчленовується на функціонально закінчені вузли (ФУ), що можуть бути окремо сконструйовані, виготовлені, відрегульовані і випробувані до об'єднання їх у загальній конструкції.

ФУМ дозволяє звести до мінімуму число зовнішніх з'єднань, вести паралельне проектування виробу, організувати паралельне виробництво ФУ, реалізувати більше різноманіття конструкторських рішень, підвищити можливості механізації й автоматизації.

Головна ж перевага ФУМ полягає в тім, що з'являється можливість збирати РЕА не з великого числа окремих ЕРВ і деталей, а з відносно невеликого числа великих складальних одиниць СР-1. Ця можливість базується на тім, що РЕА, необмежена по складності і різноманіттю функцій, може бути синтезована з відносно малого числа ФУ -підсилювачів

перетворювачів, фільтрів, реєстрів і т.д. При такому способі комплектування з'являється можливість широкої уніфікації ФУ і їх централізованого виробництва з усіма перевагами, що звідси випливають.

ФУМ використовується як на першому, так і на другому СР. В останньому варіанті метод називається функціонально-блоковим (ФБМ). ФУМ у порівнянні з ФБМ має ряд переваг. Так, при відмовленні якого-небудь елемента потрібно замінити тільки той вузол, у якому він знаходиться, а не весь блок. Змінні вузли більш зручні у виготовленні і регулюванні, забезпечують кращий доступ і використання всього обсягу блоку.

ФБМ застосовують при відносно нескладних РЕА, де вираш від спрощення (здешевлення) конструкції і збільшення надійності за рахунок зменшення числа з'єднань виявляється вирішальним.

4 КОНСТРУЮВАННЯ І ВИГОТОВЛЕННЯ ДРУКОВАНИХ ПЛАТ

4.1 Основні терміни і визначення

Для друкованого монтажу застосовують друковані плати (ДП) різного конструктивного виконання і ступеня складності. ДСТ (20406-75. Плати друковані. Терміни і визначення) обмовляє ряд сталих у науково-технічній літературі і виробництві термінів і визначень наступних основних понять:

Друкована плата - матеріал основи, вирізаний по розмірі, що містить необхідні отвори і, щонайменше, один рисунок.

Друкований вузол - друкована плата з приєднаними до неї електричними і механічними елементами і (чи) іншими друкованими платами і з виконаними всіма процесами обробки: пайка, покриття і т.д.

Рисунок друкованої плати - конфігурація провідникового матеріалу на ДП.

Друкований провідник - одна провідна смужка або площадка в провідному рисунку.

Вузке місце ДП - ділянка ДП, де елементи провідного рисунка і відстань між ними здійснено тільки з мінімально припустимими значеннями.

Контактна площадка ДП - частина провідного рисунка, використовувана для з'єднання або приєднання елементів РЕА.

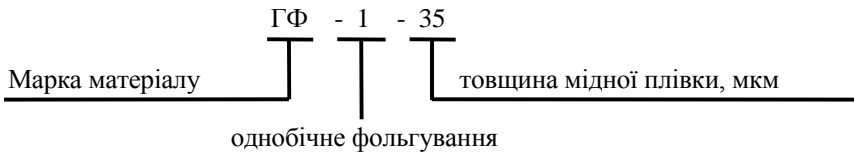
Гарантований пасок контактної площадки - мінімально припустима ширина контактної площадки отвору ДП у вузькому місці.

4.2 Конструкційні матеріали для виготовлення друкованих плат

Для виготовлення ПП використовують фольговані і не фольговані листові діелектрики. Вихідними матеріалами для їх виготовлення служать папір або склотканина, просочені синтетичними смолами, чи полімерні плівки з лавсану, фторопласту й ін. На поверхню фольгованих матеріалів металева фольга (найчастіше мідна) приклеюється з однієї чи з двох сторін листа в процесі виготовлення.

До найбільш розповсюджених шаруватих конструкційних матеріалів для виготовлення ПП можна віднести:

- ГФ, СФ - гетинакс і склотекстоліт фольговані;
 - СФПН - склотекстоліт фольгований нагрівостійкий;
 - СТФ - склотекстоліт теплостійкий фольгований;
 - ФДМ - діелектрик фольгований тонкий;
 - СТПА - склотекстоліт теплостійкий.
- Прийняті позначення матеріалів для ПП:



До не шаруватих матеріалів відносяться наступні різновиди:

- діелектрик фольгований ПКТ - листовий матеріал, виготовлений з композиції на основі наповненого полікарбонату й облицьований по обидва боки мідною фольгою $h=35$ мкм. Призначений для виготовлення полоскових ДП, що працюють у діапазоні температур від -60 до $+135$ $^{\circ}\text{C}$. Товщина листа 1, 2, 3 мм;

- діелектрик фольгований ФЛАН - листовий матеріал, виготовлений з композиції на основі наповненого арилокса, облицьований по обидва боки електролітичною фольгою $h=35$ мкм. Призначений для виготовлення полоскових ДП, що працюють у діапазоні температур від -60 до $+150$ $^{\circ}\text{C}$. Товщина листа 1, 2 мм;

- листи фторопластові неармовані й армовані марок ФФ-4 і ФФ-4Д - призначені для виготовлення ДП, що працюють при температурі від -60 до $+250$ $^{\circ}\text{C}$. Аркуші облицьовані по обидва боки мідною електролітичною хромованою і гальваностійкою фольгою $h=35, 50$ мкм;

- листи фольговані з фторопласта ФАФ-4ДСКЛ облицьовані з двох сторін мідною електролітичною фольгою. Призначені для виготовлення ДП, що працюють при температурі від -60 до $+250$ $^{\circ}\text{C}$ і не піддаються вигину. Товщина листа 1; 1,5; 2; 2,5; 3 мм;

- поліетилен фольгований плакований ПФП - аркушевий матеріал, що складається з трьох шарів: мідної електролітичної оксидованої фольги, листа стабілізованого поліетилену високої щільності, модифікованого опроміненням, і листа з анодированого алюмінієвого сплаву марки Д16АТ. Призначений для виготовлення полоскових ДП. Робочі температури від - 60 до + 80 С⁰, товщина листа 2,5; 4; 5; 6,5 мм;

- лавсан фольгований марки ЛФ-1 - композиційний матеріал, що складається з покритої епоксидно-каучуковим адгезивом лавсанової плівки, облицьованої з однієї сторони мідною електролітичною фольгою з гальваностійким покриттям. Призначений для виготовлення гнучких ДП, кабелів, шлейфів. Товщина листа 0,115; 0,13; 0,165; 0,18 мм при товщині фольги 35 і 50 мкм.

4.3 Класифікація друкованих плат

В даний час розроблено велику кількість конструктивно-технологічних різновидів ДП:

однобічні ДП (ОДП) являють собою діелектричну основу на одній стороні якої виконаний провідний рисунок, а на іншій, при зборці, розміщують ІМС і ЕРЕ. У зв'язку з обмеженою площею для трасування струмопровідного рисунка, такі плати застосовують для простих електронних пристроїв;

двосторонні плати (ДДП) мають провідний рисунок на обох сторонах матеріалу. Необхідні з'єднання між шарами виконують за допомогою металізованих отворів і контактних площадок. Такі плати дозволяють реалізувати більш складні схеми і знайшли широке застосування при використанні матеріалів на діелектричній основі. Менш поширені ДДП на металевій основі з нанесеним на нього електроізоляційним покриттям. Такі плати мають кращий тепловідвід і можуть мати більш складну просторову форму;

багатошарові плати (БДП) складаються із шарів ізоляційного матеріалу, що чергуються, і провідного рисунка. Між провідними шарами в структурі плат можуть бути міжшарові з'єднання. У залежності від наявності і характеру міжшарових з'єднань розрізняють наступні різновиди:

- БДП із відкритими контактними площадками;
- БДП із виступаючими виводами;
- БДП із міжшаровими з'єднаннями об'ємними деталями;
- БДП із пошаровим нарощуванням рисунка;
- БДП попарного пресування;
- БДП із наскрізними металізованими отворами.

гнучкі плати (ГДП) мають еластичну основу і виконуються, як правило, двосторонніми з металізованими отворами і контактними площадками для пайки навісних елементів. Товщина плат не перевищує 0,6 мм, що дозволяє згинати їх з визначеним радіусом, звертати в циліндр і т.п.;

гнучкі друковані кабелі (ГДК) або шлейфи складаються з одного чи декількох непровідних шарів, на яких розміщені друковані провідники. Гнучкі кабелі добре витримують велике число перегинів, вібрацію і застосовуються для міжз'єднань вузлів і блоків РЕА тому що, у порівнянні з круглими кабелями вони в кілька разів легше і займають менші обсяги.

4.4 Конструктивні характеристики друкованих плат

Загальні конструктивні характеристики ДП залежать від виду і конструкції РЕА, складності конкретної електричної схеми, застосовуваної елементної бази і ряду техніко-економічних факторів. До основного з них можна віднести:

Щільність провідного рисунка схеми визначається шириною провідників і відстанню між ними. Відповідно до ДСТ 23751-79 у залежності від щільності рисунка ДП поділяють на три класи:

- перший, що допускає мінімальну ширину провідників і відстань між ними 0,5 мм;
- другий, що допускає мінімальну ширину провідників і відстань між ними 0,25 мм;
- третій, що допускає мінімальну ширину провідників і відстань між ними 0,15 мм.

Трасування рисунка схеми роблять по координатній сітці з кроком 2,5; 1,25 (ДСТ 10317-77) і 0,625 мм.

Припустимі робочі напруги для провідників плат, розташованих в одній площині, залежать від мінімальних відстаней між ними, матеріалу діелектрика і характеру впливу навколишнього середовища.

Щільність струму в друкованих провідниках зовнішніх шарів плат не повинна перевищувати 20 А/мм кв., а у внутрішніх, через гірші умови тепловідводу - 15 А/мм кв.

Опір ізоляції залежить від матеріалу діелектричної основи, кліматичних умов і характеру електричних ланцюгів.

Ремонтопригодність - можливість відновлення електричних зв'язків, внесення схемних змін, заміни навісних елементів або установки нових.

4.5 Конструювання друкованих плат

У процесі конструювання друкованих плат вирішують наступні основні задачі:

- визначення розмірів плати;
- розміщення навісних елементів (компонування);
- трасування з'єднань на платі;
- розробка конструкторської документації на друковану плату.

Розміри друкованих плат визначаються результатами функціональної розбивки принципової схеми, застосовуваними навісними елементами, габаритними розмірами розроблювального виробу і техніко-економічних показників.

Максимальний розмір кожної зі сторін плати повинний бути не більш 470 мм. Співвідношення лінійних розмірів не повинне перевищувати 3:1. Основні розміри і крок координатної сітки визначається ДСТ 10317-79.

Компонуванням називають процес розміщення модулів, ЕРВ і деталей на площині й у просторі з визначенням основних геометричних форм і розмірів.

Розміщення комплектуючих елементів у модулях усіх рівнів повинне забезпечувати можливо більш повне використання конструктивного обсягу. Необхідно також забезпечити ремонтпригодність виробу. За умовами виробництва застосовують однотипні (типові) несучі конструкції і висувні плати, елементи фіксації і кріплення, електричні між'єднання. Процес компонування повинний супроводжуватися проведенням перевірочних розрахунків.

При вирішенні задач розміщення начіпних елементів необхідно керуватися наступним:

- довжина електричних зв'язків повинна бути мінімальною;
- кількість переходів друкованих провідників із шару на шар повинна бути можливо меншою;
- паразитні зв'язки між начіпними елементами не повинні несприятливо впливати на роботу виробу;
- розподіл мас начіпних елементів по поверхні повинний бути рівномірним;
- вироби з великою масою рекомендується розміщати поблизу місць закріплення плати.

Трасування з'єднань є найбільш трудомістким процесом при вирішенні задач технічного проектування. Трасування повинне забезпечити необхідні параметри виробу. При його проведенні необхідно враховувати, що обсяг монтажного простору і розміри провідних з'єднань обмежені. Рекомендується виділяти на схемі ланцюги сигналу, живлення і корпуси (землі). Для

зменшення наведень необхідно розносити можливо далі друг від друга вхідні і вихідні ланцюги.

Креслення на друковані плати повинні відповідати ДСТ 2.417-78. На кресленні показують основні проекції з друкованими провідниками й отворами. Координатну сітку наносять лініями товщиною 0,2-0,5 мм.

За ДСТ 13317-79 основний крок координатної сітки 2,5 мм, додатковий 1,25 мм чи 0,625 мм.

4.6 Методи виготовлення друкованих плат

В даний час застосовують кілька методів виготовлення ДП: **субтрактивні** (subtratio - віднімання), при яких провідний рисунок утвориться за рахунок видалення провідного шару з ділянок поверхні, що утворюють непровідний рисунок (пробільні місця); **аддитивні** (additio - додаток), при яких провідний рисунок одержують нанесенням провідного шару заданої конфігурації на непровідну основу плат; **напіваддитивні**, при яких провідний рисунок одержують нанесенням провідного шару на основу з попередньо нанесеним тонким (допоміжним) провідним покриттям, видаляється згодом із пробільних місць.

Вибір методу виготовлення ДП залежить від їхнього конструктивного виконання, необхідних конструкторських і експлуатаційних характеристик, а також результатів проведення техніко-економічного аналізу.

ОДП і ГДК виготовляють переважно на однібічному фольгованому діелектрику субтрактивним хімічним методом. На мідну фольгу діелектрика захисним шаром, стійким до наступного впливу витравлювачів, наноситься позитивний рисунок схеми. Незахищені ділянки фольги витравлюються. Після видалення захисного рисунка (маски) свердяться необхідні отвори. Плата обробляється по контуру і на неї наноситься захисне покриття, наприклад ацетоно-каніфольний флюс.

При виготовленні ЦПК як захисне покриття на витравлений мідний рисунок напресовується лавсанова плівка, а приєднувальні місця ЦПК обслуговуються.

Процес виготовлення нескладний, найменш трудомісткий, у порівнянні з іншими методами виготовлення ДП має короткий технологічний цикл, легко механізується й автоматизується, забезпечує високу дозволяючу здатність.

Основним недоліком субтрактивного хімічного методу виготовлення ДП є наявність ефекту бічного підтравлювання елементів провідного рисунка схеми, що зменшує їхній перетин і знижує адгезію фольги до діелектричної основи, особливо критичну для вузьких провідників схеми.

Цього недоліку позбавлений аддитивний метод виготовлення ОДП, заснований на виборчому осадженні хімічної міді на не фольгований діелектрик з нанесенням на поверхневий шар спеціальним каталізатором, що ініціює осадження міді в місцях що підлягають обробці.

ДДП і ГДП виготовляються переважно позитивним комбінованим методом, заснованим на застосуванні двостороннього фольгованого діелектрика. Металізацію отворів роблять електрохімічним способом, а провідний рисунок схеми одержують травленням міді з пробільних місць.

Після попередньої хіміко-гальванічної металізації поверхні фольги і монтажних отворів за допомогою позитивного шаблону, сіткографічної фарби чи фоторезисту наноситься негативний рисунок схеми. На провідний рисунок і отвори, не захищені маскою, гальванічним способом осаджуються мідь і металорезист, стійкий до витравлюючих розчинів. Знімається захисний шар (маска) і виробляється хімічне травлення з пробільних місць шаруючи попередньої металізації і фольги. Захищений металорезистом провідний рисунок залишається не витравленим.

Такий метод забезпечує задовільну адгезію елементів провідного рисунка до діелектрика і збереження електроізоляційних властивостей діелектрика, захищеного під час обробки плат в агресивних хімічних розчинах мідною фольгою.

Здатність методу, що дозволяє, трохи нижче, ніж хімічного, що порозумівається трохи великим підтравлюванням і разрациванням (збільшення перетину) елементів схеми, характер якого залежить від товщини захисного шару чи фарби фоторезисту, нанесеного перед металізацією.

При необхідності виготовлення ДДП із кінцевими друкованими контактами (КПК) технологічний процес ускладнюється, а діелектричні характеристики підстави погіршуються за рахунок того, що ряд операцій в агресивних розчинах (гальванічне нікелювання, паладування чи золочення КПК) відбувається по відкритій поверхні діелектрика.

При напіваддитивному методі виготовлення ДДП використовують нефольговані діелектрики, поверхня яких покрита шаром (50-80 мкм) полімерного матеріалу (наприклад, епоксикаучуковою композицією). Обов'язковою є підготовка (активація) поверхні під металізацію, що забезпечує гарну адгезію рисунка до діелектричної підстави.

Мале бічне підтравлювання провідного рисунка за рахунок скорочення часу травлення (товщина шаруючи попередньої металізації 5-7 мкм) і краща адгезія рисунка до діелектрика дають можливість одержати високу здатність, що дозволяє, а більш оптимальне співвідношення товщини міді в отворах і на поверхні поліпшує механічну міцність металізації.

При виготовленні ДПП на металевій підставі застосовують

полуаддитивний метод формування провідного малюнка на металевій підкладці з перфорованими отворами, що попередньо покривається полімерним матеріалом. Таке покриття може бути отримано способом вихрового напилювання, електростатичним напилюванням, напилюванням у псевдо рідкому порошку полімеру і т.п.

При аддитивному методі виготовлення ДПП використовують діелектрик із введеним у його склад каталізатором і адгезивним шаром на поверхні. Після утворення отворів на поверхні не фольгованої заготовки виконують негативний рисунок захисним шаром, що володіє підвищеною стійкістю до високо лужного складу ванни хімічного міднення. Поверхні, відкриті для нанесення міді, обробляють у складі, що труєть, на основі фторборатної чи хромової кислоти (для поліпшення адгезії провідників до підкладки). Після цього плата міститься на 8-16 годин у ванну для нанесення хімічної міді.

ДПП, виготовлені аддитивним методом, мають високу здатність, що дозволяє, практично відповідної здатності нанесеного негативного, що дозволяє, малюнка схеми.

Різновидом аддитивного методу є фотоформування провідного малюнка схеми. У результаті процесу фотоформування створюється поверхня провідного малюнка схеми, що ініціює наступне осадження на неї товстоплівкової хімічної міді. При цьому не застосовують захисних резистів. Обложена мідь має гарну адгезію до діелектрика, що дозволяє здатність залежить тільки від здатності застосовуваних фотошаблонів, що дозволяє, (можуть бути отримані провідники шириною 0,08-0,1 мм).

Слід зазначити, що спостерігається безупинне удосконалювання існуючих і розробка нових методів одержання друкованого монтажу в зв'язку з мініатюризацією апаратури, підвищенням ступеня інтеграції ИМС і щільності компонування радіоелементів на платах.

Для розглянутих методів характерні наступні типові операції: механічна обробка, нанесення рисунка, травлення, хімічне чи хіміко-гальванічне осадження міді, видалення захисної маски застосовувані в тій чи іншій послідовності при виготовленні плат обраним методом.

БДП виготовляють методами, побудованими на типових операціях застосовуваних у виробництві ОДП і ДДП. Конструктивно-технологічні особливості БДП вимагають застосування ряду специфічних операцій, таких, як пресування шарів, створення міжшарових з'єднань і ін.

4.7 Фотошаблони для виготовлення друкованих плат

Для одержання провідного рисунка на шарах ДП як способом сіткографії, так і фотохімічним способом необхідне застосування фотошаблонів що представляють собою графічне зображення рисунка в масштабі 1:1 на фотопластинках або фотоплівці.

Виробництво фотошаблонів є однієї із самих відповідальних стадій техпроцесу виготовлення ДП, що визначає якість виготовлення провідного рисунка, виконуваного переносом зображення з фотошаблону на плату.

Фотошаблони виконують у позитивному зображенні при нарощуванні провідних ділянок на платах і в негативному зображенні, коли провідні рисунки одержують шляхом травлення міді з пробільних місць або методом фотоформування.

По призначенню розрізняють два види фотошаблонів:

- контрольні, що зберігаються в архіві як еталонні;
- робочі, що є копіями контрольних, з яких переноситься рисунок на плати чи виготовляють сітчасті трафарети, коли рисунок одержують способом сіткографії.

В даний час поширені два основних способи одержання фотошаблонів:

- фотографування їх з фото оригіналів;
- креслення світловим променем на фотоплівках за допомогою координатографів із програмним керуванням.

При виготовленні фотошаблонів з фотооригіналів останні виконуються в збільшеному масштабі (10:1, 4:1, 2:1).

5 ВИРОБНИЦТВО ВУЗЛІВ І МОДУЛІВ РЕА

5.1 Монтаж вузлів і модулів РЕА

Виробництво вузлів і модулів РЕА засновано на зборці й електричному монтажі, причому останній є найбільш трудомістким.

Електромонтажні роботи містять у собі одержання монтажних з'єднань різними методами (пайка, зварювання, склеювання, накрутка, механічне контактування), а також електричний монтаж (друкований і об'ємний провідний на платах, монтаж плоскими кабелями, джгутовий монтаж).

У виробництві РЕА розроблені типові технологічні процеси пайки (для модулів усіх рівнів), зварювання (модулі першого і другого рівнів) і накрутки (модулі третього і четвертого рівнів), у результаті яких утворюються електричні контакти з низьким електричним перехідним опором і високою механічною міцністю.

Механічне контактування модулів здійснюють за допомогою

електричних з'єднувачів. У виробництві РЕА (за винятком спеціальної апаратури) вони є комплектуючими виробами. Технологія їхнього виготовлення побудована на типових операціях холодного листового штампування, переробки пластмас, механічної і хімічної обробки.

У виробках РЕА використовують два види монтажу:

- об'ємний (джгути, проводи, кабелі);
- плоский (друкований монтаж).

5.1.1 Об'ємний монтаж

При електричному монтажі об'ємними провідниками основне місце займає трасування (укладання) проводів, що є найбільш трудомістким. Джгутовий монтаж знижує трудомісткість шляхом розкладки і в'язання джгутів по спеціальних шаблонах з наступним переносом в апаратуру. Ще більший ефект дає монтаж плоскими кабелями, технологія яких добре відпрацьована.

Для об'ємного монтажу використовують гнучкі монтажні проводи і кабелі, виконані з тонких мідних лужених провідників, скручених між собою в одну жилу. Жили мають одношарову чи багатшарову ізоляцію з поліхлорвінілової, гумової, поліетиленової, лавсанової чи волокнистої оболонки. Окремі жили чи усі жили кабелю можуть бути екрановані. Провідники з волокнистою ізоляцією використовуються у виробках призначених для експлуатації в умовах нормальної вологості і при невеликих перепадах температури. У мікроелектронних пристроях використовують плоскі багатожильні кабелі, виконані у виді стрічки.

Для електромонтажу в середині приладу з монтажних проводів використовують провідники марок БПВЛ, МГШВ, МГШ і ін. Для нерухомої чи твердої прокладки - мідні багатожильні зі шланговою ізоляцією з поліхлорвінілу, поліетилену марки ПРГ, ПРД і ін. Для зовнішніх з'єднань приладу використовують кабелі марок МКШ, РПКЕ, РПШЕ й ін. Для живлення високовольних елементів апаратури (електронно-променевої трубки й ін.) застосовують провід марок ПВЛ-2, ПВЛЕ-1, ПВС-5. Ці проводи мають посилену ізоляцію і призначені для напруги до 20 кв.

Об'ємний монтаж ведеться проводом і застосовується в міжблочних і міжвузлових з'єднаннях. Виконують його відповідно до монтажною схемою. Близько розташовані проводи поєднують в один джгут. При переході з нерухомих елементів на рухливі утворюють петлі з гнучких провідників. Гнучкі ділянки джгутів обшиваються чи шкірою її заміниками.

Контактні з'єднання провідників бувають рознімними і нерознімними. Рознімні з'єднання забезпечуються притиском під чи гвинт тиском пружин. Для одержання нерознімних з'єднань застосовують зварювання, пайку, гаряче

пресування, накрутку і склеювання.

5.1.2 Друкований монтаж

Одним з найбільш сучасних методів створення електричних ланцюгів у радіоелектронній, електронно-обчислювальній і електротехнічній апаратурі є застосування друкованого монтажу, реалізованого у виді однобічних (ОПП), двосторонніх (ДПП) і багатошарових (МПП) друкованих плат, а також гнучких друкованих плат (ГПП) і гнучких друкованих кабелів (ЦПК).

Друковані плати є основою функціональних вузлів і несучих елементів конструкції. При збереженні всіх можливостей провідного монтажу, застосування друкованих плат дозволяє:

- забезпечити значне підвищення щільності з'єднань і можливість мініатюризації апаратури;
- гарантувати стабільну повторюваність параметрів виробів одночасно з можливістю підвищення електричних навантажень у ланцюгах;
- підвищити надійність і якість апаратури;
- поліпшити вібро- і механічну міцність, умови тепловіддачі і стійкість з'єднань до кліматичних факторів;
- здійснити уніфікацію і стандартизацію функціональних вузлів і блоків апаратури;
- зменшити трудомісткість виготовлення апаратури і забезпечити можливість механізації й автоматизації її виробництва.

5.2 Ефективність виробництва і якість продукції

Однією з актуальних задач у даний час є всіляке підвищення економічної ефективності виробництва і якості продукції, що випускається.

Основними показниками економічної ефективності виробництва РЕА є: обсяг виробництва; капітальні витрати; собівартість одиниці продукції і річного випуску; економія по заробітній платі; число вивільнених робітників; ріст продуктивності праці одного працівника; строк окупності додаткових капітальних витрат.

Основними показниками якості виробів РЕА є:

- конструкційні** - ступінь стандартизації, нормалізації й уніфікації, коефіцієнт складності, кількість блоків (комплектність), маса;
- надійності** - технічний ресурс, термін служби, імовірність безвідмовної роботи;
- економічні** - трудомісткість, собівартість, ціна;
- товарно-споживчі** - споживана потужність, стійкість до зовнішніх

впливів (температура, вібрація, вологість і т.п.).

Якість, як сукупність властивостей промислової продукції, закладається в процесі наукових досліджень, конструкторських і технологічних розробок, створюється в процесі виробництва, а чи виявляється реалізується лише в процесі експлуатації.

5.3 Технологічність конструкції РЕА

Конструкцію можна створити з великого числа простих деталей, виготовлених за допомогою гостріння, штампування, пресування й інших методів, чи з невеликого числа складних деталей.

Під технологічністю конструкції варто розуміти таке сполучення конструктивно-технологічних вимог, що забезпечує найбільш просте й економічне виробництво виробів при дотриманні всіх технічних і експлуатаційних умов.

Оцінку комплексних показників технологічності конструкції роблять по конструктивних і технологічних базових показниках для досвідченого зразка, настановної серії і серійного виробництва.

До конструктивних показників відносяться: коефіцієнт застосовності деталей; коефіцієнт застосовності радіоелементів; коефіцієнт застосовності складальних одиниць; коефіцієнт повторюваності деталей і вузлів; коефіцієнт повторюваності радіоелементів; коефіцієнт повторюваності мікросхем; коефіцієнт повторюваності друкованих плат; коефіцієнт повторюваності матеріалів; коефіцієнт використання мікросхем; коефіцієнт освоєння; коефіцієнт збірності виробу й ін.

До технологічних показників відносяться: коефіцієнт автоматизації і механізації підготовки радіоелементів; коефіцієнт автоматизації і механізації монтажу; коефіцієнт автоматизації і механізації операцій контролю і настроювання електричних параметрів; коефіцієнт застосування типових технологічних процесів; коефіцієнт використання матеріалів і ін.

Для кожної групи виробів визначений склад базових показників (не більш семи) з числа приведених. Їх вибирають з урахуванням найбільшого впливу на технологічність конструкції виробу.

5.4 Технологічний процес, устаткування й оснащення

Технологічний процес - частина виробничого процесу, що забезпечує перетворення вихідних матеріалів і комплектуючих елементів у готовий виріб. Закінчена частина технологічного процесу, виконана на одному робочому місці, називається **операцією**.

Елементами технологічної операції є:

1) Установ - частина операції, виконана при незмінному закріпленні оброблюваного чи виробу складальної одиниці.

2) Позиція - фіксоване положення, займає незмінно закріпленою оброблюваною чи заготовленою складальною одиницею, що збирається, разом із пристосуванням щодо чи інструмента нерухомої частини устаткування для виконання визначеної частини операції.

3) Технологічний перехід - закінчена частина операції, яка характеризується сталістю застосовуваного інструмента і поверхонь, утворених при чи обробці з'єднуються при зборці.

4) Допоміжний перехід - закінчена частина технологічної операції, що не супроводжується зміною чи форми поверхні деталі, але необхідна для виконання технологічного переходу.

Для реалізації технологічного процесу використовують технологічне устаткування й оснащення.

Технологічним обладнанням називають знаряддя виробництва, у яких для виконання технологічних операцій розміщаються матеріали або заготовки, а також засоби впливу на них.

Технологічною оснасткою називають знаряддя виробництва, що додаються до технологічного устаткування для виконання необхідних технологічних операцій. Підготовка технологічного устаткування й оснащення до роботи називається налагодженням, що передбачає встановлення необхідних режимів при виконанні операцій.

ОДИНИЧНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС забезпечує виготовлення виробів які мають однакове найменування, геометричну форму, типорозмір і зміст.

Для **ТИПОВОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ** характерні єдність змісту і послідовності технологічних операцій і переходів для групи деталей чи виробів із загальними конструкторськими ознаками.

5.5 Види і комплектність технологічної документації

До технологічних документів відносяться графічні і текстові документи, що визначають технологічний процес виготовлення виробу, комплектацію деталей, складальних одиниць, матеріалів, оснащення, технологічних документів і маршрут проходження розроблювального виробу по службах підприємства. Основними в комплекті технологічних документів є:

маршрутна карта (МК) - служить для запису всіх операцій виготовлення деталей без їхнього поділу на переходи з указівкою даних про устаткування, оснащення, матеріальних і трудових нормативах.

операційна карта (ОК) - призначена для докладного опису однієї операції з усіма переходами, режимами обробки і даними про засоби

технологічного оснащення.

карта технологічного процесу (КТП) містить опис процесу виготовлення виробу по всіх операціях одного виду робіт, виконуваних в одному цеху в технологічній послідовності, із указівкою даних про оснащення, матеріальні і трудові нормативи.

відомість деталей (складальних одиниць) до типового технологічного процесу (ВТП) містить перелік деталей (складальних одиниць), виготовлених по типовому процесі з указівкою даних про трудові нормативи, а також матеріалах, технологічному оснащенні і режимах роботи.

При заповненні технологічних документів керуються положеннями стандартів ЄСТД. При цьому рекомендується виконувати наступні правила:

- а) найменування операцій записуються прикметниками в називному відмінку (свердлильна, монтажна);
- б) найменування переходів записують у виді дієслів у невизначеній формі (паяти, перевірити);
- в) перехід повинний містити опис конкретних дій робітника;
- г) контрольні операції записують із указівкою контрольованих параметрів і кількості виробів, що підлягають контролю;
- д) кожен технологічний процес виготовлення деталі чи зборки повинний постачатися титульним листом.

Особлива увага рекомендується звернути на: правильне застосування умовних позначок елементів схем; особливості виконання структурних, функціональних і принципових схем; виконання правил креслення друкованих плат і друкованих вузлів. Студентам варто придбати навички правильного оформлення карт маршрутного опису технологічного процесу. При цьому необхідно вільно володіти методологією використання службових символів, правильним описом операцій і переходів.

Варто твердо засвоїти, що конструкторсько-технологічна документація є засобом спілкування між розроблячами і виконавцями. Вона повинна складатися з урахуванням установлених правил. Недбале чи невірне оформлення такої документації може привести до неприпустимих наслідків. Кожен інженер, що вирішує задачі розробки, виробництва, експлуатації і ремонту виробів повинний уміти контролювати правильність оформлення відповідних документів, тобто успішно вирішувати задачі нормоконтролю.

5.6 Захист РЕА від впливу зовнішніх факторів

Умови експлуатації РЕА, у залежності від розміщення і властивостей об'єкта-носія регламентовані ДСТ 16019-78. У залежності від розміщення розрізняють:

- стаціонарні;
- які возяться на наземних транспортних засобах;
- які возяться на річкових і морських судах;
- що носяться і портативні;
- літакові і ракетно-космічні.

Вироби, при відповідних умовах експлуатації, повинні бути міцними і стійкими в роботі.

Міцністю називається збереження працездатності після впливу дестабілізуючих факторів на непрацюючі вироби.

Під **стійкістю** варто розуміти збереження працездатності при впливі екстремальних значень дестабілізуючих факторів у процесі роботи виробу.

Для захисту виробів РЕА від вологи, морського тумана, бризів і пилу застосовують різні способи герметизації. Найбільш простим способом герметизації є розміщення вузлів чи блоків у металевих корпусах з добре запаяними чи звареними з'єднаннями. Електричні виводи пропускають через герметичні прохідні ізолятори або встановлюють на герметичній прокладці.

Загальна герметизація забезпечується герметичністю корпусів. Рознімні з'єднання в корпусах ущільнюють гумовими прокладками, а виводи окремих елементів чи провідників - спеціальними ущільнювачами. Абсолютну герметичність великих корпусів прокладками забезпечити неможливо. Однак вони досить добре захищають обсяг від улучення вологи і сприяють збереженню працездатності при використанні осушувачів. Як осушувачі застосовують вологопоглиначі, поміщені в патрони, стінки яких проникні для пар води. У якості вологопоглиначів використовують селикагель, пофарбований 3 %-им водяним розчином хлористого кобальту в синій колір. При повному зволоженні колір поглинача стає рожевим. Шляхом підігріву відпрацьованого селикагеля відновлюють його поглинаючу здатність, при цьому відновлюється його синій колір.

Якщо необхідно заповнити внутрішню порожнину приладу нейтральним газом (азот, гелій), то в конструкції передбачають трубку (штенгель) на кришці корпуса.

ЗМІСТ

1	Організація конструкторсько-технологічних робіт	3
2	Нормативно-технічна документація (НТД)	6
2.1	Категорії і види нормативно-технічних документів	6
2.2	Позначення стандартів	7
2.3	Стадії розробки	8
2.4	Види і комплектність конструкторських документів	11
3	Загальні питання конструювання	13
3.1	Класифікація РЕА	13
3.2	Елементна база, покоління РЕА	16
3.3	Ієрархічний принцип побудови РЕА	17
3.4	Функціонально-вузловий і функціонально-блоковий методи конструювання РЕА	18
4	Конструювання і виготовлення друкованих плат	19
4.1	Основні терміни і визначення	19
4.2	Конструкційні матеріали для виготовлення друкованих плат	20
4.3	Класифікація друкованих плат	21
4.4	Конструктивні характеристики друкованих плат	22
4.5	Конструювання друкованих плат	23
4.6	Методи виготовлення друкованих плат	24
4.7	Фотошаблони для виготовлення друкованих плат	26
5	Виробництво вузлів і модулів РЕА	27
5.1	Монтаж вузлів і модулів РЕА	27
5.2	Ефективність виробництва і якість продукції	29
5.3	Технологічність конструкції РЕА	30
5.4	Технологічний процес, устаткування й оснащення	30
5.5	Види і комплектність технологічної документації	31
5.6	Захист РЕА від впливу зовнішніх факторів	32

Навчальне видання

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

з курсу
«Конструювання та технологія виробництва систем
телекомунікацій»

для студентів спеціальності
172 «Телекомунікації та радіотехніка»
усіх форм навчання

Укладачі:
СВСІНА Наталя Олександрівна
ДУДНИК Олексій Валентинович

Відповідний за випуск Зуєв А.О.
Роботу до друку рекомендував Дудник О.В.

План 2022 р., Поз.346
Підписано до друку 05.11.2022. формат 60×84 1/16 .Папір друк. № 2.
Друк – різнографія. гарнітура Times New Roman. Розум. друк. арк.3,2.
Обл. – вид. арк. 2,7. Наклад 100 прим. Зам. № . Ціна договірна.

Видавець
Свідоцтво про державну реєстрацію.
Самостійне електронне видання