

Міністерство освіти і науки України



КОНСТРУЮВАННЯ ЕЛЕКТРОННИХ ПРИСТРОЇВ ТА СИСТЕМ

Конспект лекцій

для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
освітніх програм «Електроніка», «Автомобільна електроніка»
галузі знань 17 Електроніка, автоматизація та електронні комунікації
спеціальності 171 Електроніка
денної та заочної форм навчання

Луцьк 2025

ЗМІСТ

Вступ.....	4
Тема 1 Зміст і завдання дисципліни «Конструювання електронних пристроїв та систем».....	5
Тема 2 Взаємозв'язок схемотехніки конструювання та виробництва	13
Тема 3 Організація та документальне забезпечення процесу конструювання	22
Тема 4 Порядок попереднього конструювання основних вузлів електронного приладу	34
Тема 5 Компонування електронних пристроїв та систем	43
Тема 6 Основні аспекти конструювання друкованих плат	50
Тема 7 Особливості конструювання багатошарових друкованих плат.....	74
Тема 8 Конструювання гнучких і гнучко-жорстких друкованих плат.....	90
Тема 9 Установка компонентів на друкованих платах.....	104
Тема 10 Збірка модулів та пайка на друкованих платах.....	114
Список рекомендованої літератури.....	130

ВСТУП

Сучасний розвиток електронної техніки відіграє ключову роль у науково-технічному прогресі, забезпечуючи функціонування складних систем керування, зв'язку, автоматизації, обчислень та інформаційної обробки. У цьому контексті дисципліна «Конструювання електронних пристроїв та систем» є фундаментальною складовою підготовки інженера-електроніка, яка формує комплекс знань і навичок, необхідних для створення, удосконалення та впровадження сучасних електронних засобів.

Конструювання електронних пристроїв – це не лише процес розробки технічної документації, а й цілісна система дій, спрямованих на забезпечення функціональності, технологічності, надійності та економічної ефективності майбутніх виробів. Вона охоплює розробку структурної і принципової схеми, вибір елементної бази, трасування друкованих плат, моделювання, випробування, підготовку до виробництва та супровід життєвого циклу пристрою.

Метою даного конспекту лекцій є допомогти здобувачам освіти засвоїти основи теорії та практики конструювання електронних пристроїв і систем, ознайомити їх з сучасними методами проектування, нормативно-технічною документацією, вимогами до конструкторської діяльності, а також з технологічними й експлуатаційними аспектами створення електронних виробів.

ТЕМА 1

ЗМІСТ І ЗАВДАННЯ ДИСЦИПЛІНИ «КОНСТРУЮВАННЯ ЕЛЕКТРОНИИХ ПРИСТРОЇВ ТА СИСТЕМ»

1.1 Конструктивні складові біомедичної радіоелектронної апаратури. Основні поняття та визначення

Під конструкцією (від лат. construction – складання, побудова) розуміють сукупність деталей і матеріалів (тіл) з різними фізичними властивостями, що знаходяться у визначеному фізичному зв'язку (електромагнітному, тепловому, механічному), що забезпечує виконання заданих функцій з необхідною точністю і надійністю під впливом зовнішніх і внутрішніх впливів і відтворена в умовах виробництва. Конструкція визначає взаємне розташування частин у просторі, способи їх з'єднання, характер взаємодії, а також матеріал, з якого вони виготовлені.

Конструкція радіоелектронної апаратури (РЕА) відрізняється рядом особливостей, що виділяють її в окремий клас серед інших конструкцій:

- ієрархічною структурою (від грець. hierarchia, hieros – священний, arche – влада), під якою розуміють послідовне об'єднання більш простих електронних вузлів у більш складні;

- домінуючою роллю електричних і електромагнітних зв'язків;

- наявністю неоднорідностей в електричних з'єднаннях, що призводять до спотворення і загасання сигналів, а також паразитних зв'язків, що породжують завади (наведення);

- наявністю теплових зв'язків, що вимагає вживання заходів захисту теплочутливих елементів;

- слабким зв'язком внутрішньої структури конструкції з її зовнішнім оформленням.

Сучасна радіотехнічна, радіоелектронна та біомедична апаратура відзначається значною складністю, але складається з окремих частин, кожна з яких у конструктивному та функціональному сенсі простіша, ніж увесь пристрій в цілому. Розглянемо окремі частини конструкції складної апаратури [5]. Почнемо з найпростіших елементів – радіодеталей, і завершимо складною системою, яка є комплексом різних приладів та пристроїв.

Радіодеталь або елемент – неподільна частина конструкції апаратури. Елементами, наприклад, є конденсатори, резистори, електронні лампи, запобіжники, тверді схеми, напівпровідникові пристрої тощо.

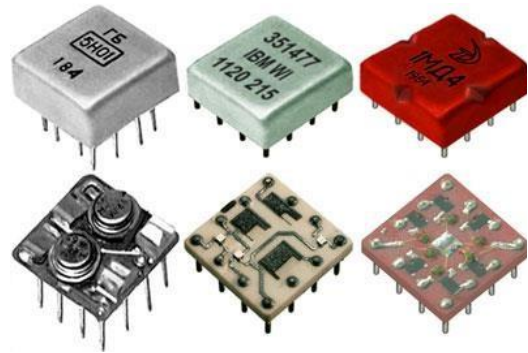
Модуль – це найпростіша завершена конструкція, яка складається з елементів – радіодеталей. Модулі виконують різні функції, наприклад, підсилення, тригера, логічної схеми тощо. Модуль, складений з комплексу мікроелементів, називають мікробіркою.

Мікросхеми (плівкові, гібридні, твердотільні) – це модулі малих розмірів виготовлені методами плівкової і напівпровідникової технології. Зовнішнє

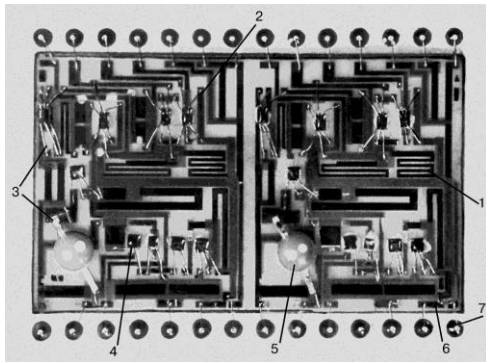
оформлення деяких модулів, мікромодулів і плівкових мікросхем показано на рисунку 1.1 [5].



а) модуль Bluetooth



б) мікромодулі



в) плівкова мікросхема



г) вузол

Рисунок 1.1– Конструктивне оформлення деяких радіоелементів

Вузол – це завершена конструкція, складена з модулів, елементів, монтажної плати та електричного монтажу (рис.1.1, г) [5].

Блок – це завершена конструкція, складена з вузлів, модулів, елементів і електричного монтажу, змонтована на спільному шасі, каркасі, рамі, платі тощо (рис. 1.2) [5].



Рисунок – 1.2. Блок

Пульт керування – це пристрій оснащений органами керування пристроєм. Пульт керування має форму, зручну для роботи оператора (рис. 1.3)



Рисунок 1.3 – Пульт керування

Система (станція) – це комплекс приладів, з'єднаних між собою для розв'язування однієї чи кількох самостійних задач.

1.2 Інженерні методи конструювання

Конструкція РЕА реалізується відповідно до конструкторської документації в процесі виробництва, основною частиною якого є технологічний процес (ТП), в результаті чого, згідно схеми, виготовляються модулі та блоки, які в подальшому утворюють завершений апарат. Конструкція і технологія виготовлення БМА тісно пов'язані і взаємообумовлені.

Якість конструкції РЕА, а також оптимальність самого процесу конструювання (терміни, трудовитрати) залежать не тільки від організації процесу конструювання, але й від методології його проведення. На сьогоднішній день більшість операцій по виготовленню елементів та вузлів автоматизовані, що дозволяє суттєво підвищити якість та скоротити терміни виготовлення.

Конструкція РЕА як велика система має наступні ознаки:

- високу складність (складається з великої кількості пристроїв, вузлів і компонентів),
- зв'язок із зовнішнім середовищем;
- ієрархічну структуру.

Складність конструкції РЕА обумовлюється тим, що ці засоби широко використовуються при вирішенні складних завдань, що в свою чергу призводить до збільшення функціональних вузлів (модулі зчитування, запису, передачі, архівування даних).

До змінних в процесі конструювання факторів належать, наприклад, марки застосовуваних елементів, форма і розміри елементів конструкції, взаємне розташування компонентів і вузлів, характер елементів підсилення (ребер) і

полегшення (вибірок), способи тепловідведення, герметизації, зовнішнє оформлення тощо.

Обмеженнями є фактори, які конструктор не змінює: ресурсні, системотехнічні, схемотехнічні, конструкторські, технологічні, експлуатаційні.

До ресурсних відносять матеріальні, часові, кадрові та енергетичні обмеження.

Системотехнічними обмеженнями є, наприклад, тип БМА: аналогова або цифрова, наземна або бортова, з інформаційним або структурним резервуванням чи без нього, такі, що працюють в режимі разового, багаторазового, безперервного, періодичного використання та ін..

Схемотехнічними обмеженнями, які задаються електричною схемою, є елементна база (швидкодія, струми, завадостійкість, термочутливість, стабільність параметрів тощо), число і типи функціональних вузлів, вимоги до їх взаємного розташування тощо.

Конструкторські обмеження: маса і габарити; рекомендовані типи базових несучих конструкцій, методи реалізації електричних зв'язків; обмежувальні переліки на матеріали, комплектуючі вироби; вимоги до зовнішнього вигляду; патентоспроможність тощо.

Технологічні обмеження: тип виробництва, вид технологічних процесів, час запуску у виробництво, повторюваність випуску, номенклатура освоєних технологічних процесів та їх стабільність, вимоги по автоматизації тощо.

Експлуатаційні обмеження: рівень дестабілізуючих факторів – механічних, кліматичних, теплових, радіаційних, електромагнітних впливів; кваліфікація обслуговуючого персоналу, вимоги щодо ремонтпридатності конструкції, час зберігання, час експлуатації (ресурс) тощо.

1.3 Системний підхід в процесі конструювання електронних пристроїв

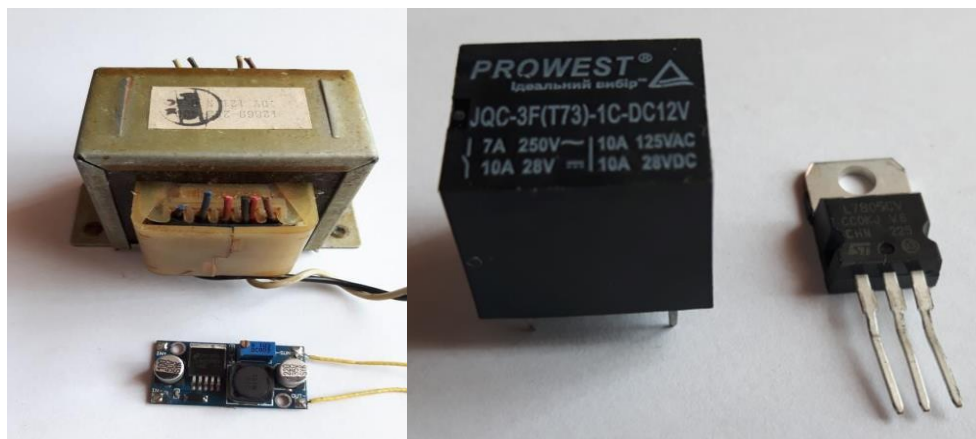
Методологія пошуку оптимального варіанту конструкції БМА заснована на використанні системного підходу. Суть системного підходу при конструюванні сучасних електронних пристроїв полягає в тому, що шукають оптимальне (найкраще) рішення при одночасному виконання таких умов як:

- простота виготовлення
- функціональність;
- ремонтпридатність;
- затрати на виготовлення;
- ціна готового апарату.

Застосування сучасної елементної бази – мікросхем, імпульсних блоків живлення, систем бездротового зв'язку дозволяє:

- розширити можливості системи;
- збільшити ефективність, за рахунок переходу від аналогової дротової передачі даних на цифрову ;
- знизити вартість і масо-габаритні характеристики при одночасному

підвищенні надійності шляхом заміни механічних і електромеханічних компонентів електронними, наприклад заміною реле на потужні малогабаритні транзистори (рис.1.4,а), заміною громіздких і важких трансформаторів на імпульсні перетворювачі (рис.1.4,б).



а)

б)

Рисунок 1.4 – Твердотільне реле та польовий транзистор (а); трансформатор та імпульсний перетворювач (б)

Все це дає можливість покращити показники якості електронних пристроїв, але одночасно вимагає докорінної зміни конструкції. У кінцевому рахунку структура електронних пристроїв та їх конструкція залежать від технологічних можливостей виробництва. Тому системний підхід передбачає врахування при конструюванні не тільки схемотехнічних, але й технологічних факторів. Ефективність використання системного підходу залежить від виду електронного пристрою. Найбільш ефективним є системний підхід при конструюванні цифрових пристроїв. Для аналогових пристроїв, у зв'язку із більшою різноманітністю виконуваних функцій, а також ширших діапазонів потужностей та частот сигналів важче використовувати системний підхід. У цілому, використання системного підходу при конструюванні РЕА підвищило роль конструктора і технолога, які стали брати участь у створенні РЕА з самих ранніх етапів.

1.4 Класифікація РЕА

РЕА розрізняють за класами і терміном використання, конструкторському виконанні функціонального призначення, періодом роботи, принципом дії, надійністю, способом експлуатації, типом технічного обслуговування, елементною базою, технологією виготовлення. В таблиці 1.1 представлені категорії розміщення РЕА на об'єкті експлуатації

Таблиця 1.1 – Категорії розміщення РЕА на об'єкті експлуатації

Укрупнення категорій розміщення	Додаткові категорії розміщення
Для експлуатації на відкритому повітрі	Для роботи експлуатаційного зберігання в приміщеннях категорії 4 і для короткострокової роботи в інших умовах, у тому числі і на відкритому повітрі
Для експлуатації під накриттям і на об'єктах, де коливання температури або вологості не значно відрізняються від умов відкритого повітря.	Для вбудованих елементів виробів категорії розміщення 1; 1.1; 2 при умові відсутності на них конденсації вологи
Для експлуатації у закритих приміщеннях з природною вентиляцією без кондиціювання	У нерегулярно опалювальних приміщеннях
Для експлуатації в приміщеннях зі штучним кліматом	При кондиціонуванні (частковому кондиціонуванні) В опалювальних приміщеннях
Для експлуатації у приміщеннях (об'ємах) з підвищеною вологістю (підвалах, шахтах і трюмах з водою)	Для вбудованих елементів виробів категорії розміщенні 5 при умові відсутності на них конденсації вологи

За функціональним призначенням виділяють наступні види РЕА:

– побутова РЕА: радіоприймачі, тюнери, тюнери-підсилювачі; підсилювачі звукової частоти, приймачі трьох програмного провідного віщання, електрофон; телевізійні приймачі кольорового та чорно-білого зображення; магнітофони, відеоманітофони, диктофони, відео програвачі; комбіновані пристрої, що включають більше одного джерела програми (радіоли, магнітоли, музичні центри).

– професійна РЕА: системи радіозв'язку загального та спеціалізованого, автономні системи радіозв'язку, системи аварійного радіозв'язку, системи провідного зв'язку з використанням проміжної підсилюючої апаратури; радіорелейні системи передачі інформації прямої видимості, тропосферні і іоносферні системи, супутникові системи передачі з бортовими ретрансляторами; радіолокаційні станції нагляду, вимірювання параметрів об'єкта, пеленгаторна, радіонавігаційна апаратура близької дальньої навігації, системи інструментальної посадки літаків, гідроакустичні станції; контрольно вимірювальна апаратура; медичинська апаратура, студійна звуко- і відео записуюча і відтворююча апаратура; спеціалізовано обчислювальна техніка для прийому, зберігання обробки і видачі інформації з допомогою обчислювальних і логічних операцій по даному алгоритму (програми).

За конструктивною складністю розрізняють чотири структурних рівня розукрупнених: РЕА-0, РЕА-1, РЕА-2, РЕА-3.

За тривалістю роботи розрізняють чотири категорії: РЕА багаторазового, одноразового, безперервного і загального використання. Апаратура одноразового використання використовується один раз за період експлуатації (наприклад, ракетне обладнання), багаторазове – декілька раз. Апаратура безперервного використання призначена для безперервної експлуатації (наприклад, радіотрансляційні вузол). РЕА загального використання працює у змішаному режимі (побутова РЕА).

За принципом дії розрізняють аналогову, цифрову, цифро-аналогову апаратуру. Аналогова та цифрова апаратура використовує відповідні схематичні принципи аналогової та цифрової техніки, цифро-аналогова – комбінацію цих принципів.

За надійністю розрізняють РЕА відновлювальну і невідновлювальну, з резервуванням та без резервуванням.

За способом експлуатації РЕА розрізняють автоматичну, напівавтоматичну і з ручним керуванням. При цьому під експлуатаційним розуміють роботи, що пов'язані з нормальним функціонуванням апаратури. Автоматизація підвищує якість і швидкість обслуговування, знижує експлуатаційні витрати.

За видом технічного обслуговування (ТО) розрізняють РЕА з ТО після періодичного контролю, з ТО яке проводиться незалежно від стану виробу до початку обслуговування при цьому під ТО розуміють операцію або комплекс операцій з підтримки працездатності або справності виробу.

Під схематичною елементною базою розуміють електрорадіовироби (ЕРВ), які входять у перелік елементів принципової електричної схеми приладу. ЕРВ включають наступні класи:

- електрорадіоелементи (ЕРЕ – дискретні резистори, конденсатори, моточні вироби (котушки індуктивності, трансформатори), вироби функціональної електроніки (п'єзоелектричні, п'єзокерамічні, електромеханічні фільтри, фільтри на ПВ, варикапні матриці);

- електровакуумні прилади (ЕВП – електронно-променеві трубки, радіолампи, електричні сигнальні лампи; напівпровідникові прилади (НПП) – транзистори, діоди, тиристри;

- інтегральні мікросхеми (ІС) – конструктивно закінчені прилади мікроелектронної техніки загального використання, які виконують певні функції обробки інформації та вміщують сукупність електрично пов'язаних між собою елементів, що характеризуються високою щільністю упаковки і виготовлені в єдиному технологічному процесі.

- мікроборки (МЗБ) – конструктивно закінчені вироби мікроелектронної техніки певного функціонального призначення частого використання, які включають сукупність електрично пов'язаних між собою ІС і їх елементів, що розробляються і виготовляються виробниками конкретної апаратури з ціллю покращення показників її мікромініатюризації;

- мікропроцесорні комплекси; контрольно-вимірювальні прилади; вироби електроприводу і автоматики; комутаційні вироби (сполучники, перемикачі); волоконо-оптичні кабель і сполучники.

Під конструктивною базою розуміють сукупність механічних елементів конструкцій радіоапаратури, що забезпечує механічну надійність і захист від дестабілізуючого впливу (несучі конструкції), а також механічне управління апаратурою.

За елементною базою та структурою конструкції розрізняють апаратуру п'яти поколінь, з яких РЕА-1 вже не виготовляється, а РЕА-V знаходиться в стані освоєння.

РЕА першого покоління (РЕА-1) – апаратура, виконана на радіолампах, на навісних ЕРЕ та на друкованих платах або об'ємним монтажем. Головний недолік РЕА-1 – значні габарити і маса, велике тепловиділення, низька надійність.

РЕА другого покоління (РЕА-2) – апаратура виконана на транзисторах з навісними малогабаритними ЕРЕ і друкованим монтажем.

РЕА третього покоління (РЕА-3) – апаратура виконана на основі корпусних ІС першої та другої ступені інтеграції (ІС-1, ІС-2 мають показник ступені інтеграції $k_i=1,2$, де $N_e=10,100$ – кількість ЕРЕ в еквівалентній схемі ІС, багатошарового печатного монтажу, мініатюрних ЕРЕ, виробів акустоелектроніки та інших твердодетальних вузлів, які використовують різні фізичні закони.

РЕА четвертого покоління (РЕА-4) характеризується значним покращенням надійності та масогабаритними характеристиками за рахунок використання ІС третього і четвертого ступеня інтеграції (ІС-3, ІС-4 $k_i=3,4$, $N_e=1000, 10000$), підвищенням їх номенклатури, введенням мікробірок.

РЕА п'ятого покоління (РЕА-5) – апаратура, виконана на основі великих і надвеликих швидкодіючих інтегральних мікросхемах (НВІС, ІС-5, $k_i=5$, $N_e=100000$), гібридно-інтегральних модулів (ГІМ) і волокно-оптичних кабелів та сполучників (ВОКС).

ТЕМА 2

ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК СХЕМОТЕХНІКИ КОНСТРУЮВАННЯ ТА ВИРОБНИЦТВА

2.1 Основні визначення

Технологія – наука, яка вивчає основні закономірності, які діють в процесі виробництва, і яка використовує їх для отримання виробів необхідної якості, заданої кількості і номенклатури при мінімальних матеріальних витратах, енергетичних витратах і витратах праці.

Конструкція – сукупність елементів і деталей з різними фізичними властивостями і формами, що знаходяться у визначеному просторовому, механічному, тепловому, електромагнітному і енергетичному взаємозв'язку. Цей взаємозв'язок визначається електричними схемами і конструкторською документацією та забезпечує виконання радіоелектронною апаратурою (РЕА) заданих функцій з необхідною точністю і надійністю при дії на неї різних факторів (виробничих, експлуатаційних тощо).

Виробництво як технологічна система є сукупність взаємозв'язаних процесів, за допомогою яких з сировинних ресурсів під дією природних сил створюються людиною необхідні продукти у вигляді засобів виробництва і предметів споживання.

Об'єктами виробництва є зразки техніки і продукти праці, призначені для безпосереднього використання у сфері споживання або виробництва.

Розвиток сучасного виробництва характеризується динамічністю (безперервним процесом оновлення матеріально-технічної бази і методів ведення виробництва), ускладненням циклу підготовки виробництва і комплексної механізацією і автоматизацією виробничих процесів.

Технологія виробництва, або технологічний процес (ТП) – основна частина виробничого процесу, що полягає у виконанні певних дій відповідно до технологічної документації, спрямованих на зміну початкових властивостей об'єкту виробництва і досягнення ним певного стану, що відповідає конструкторській документації.

Конструювання і технологія виробництва, є окремими частинами складного процесу розробки РЕА, в сучасних умовах не можуть виконуватися окремо, без урахування взаємозв'язків між собою і іншими етапами створення нової техніки. Будучи етапами загального процесу «розробка-виробництво-експлуатація», конструювання і технологія визначають зрештою загальні споживчі властивості РЕА.

2.2 Життєвий цикл електронної апаратури

Поява нового технічного виробу в будь-якій галузі – складний і іноді суперечливий процес. Особливо це стосується радіоелектронних виробів, функціонування яких засноване на щонайширшому спектрі фізичних, хімічних і інших явищ. Нова техніка, втілюючи результати останніх науково-технічних досягнень, сприяє розвитку продуктивних сил суспільства і задоволенню його вимог

в продукції вищої якості, ніж відомі раніше прототипи або аналоги.

Найважливішим питанням для успішних дій у сфері виробництва нової техніки являється прогнозування. Визначення головних напрямків майбутніх досліджень і розробок з метою концентрації зусиль на них проводиться в ході науково-дослідних робіт (НДР) і дослідно-конструкторських робіт (ДКР).

Розробити і організувати виробництво нового виробу – значить, перетворити знання, нову ідею на готовий продукт. Цей процес вимагає витрат часу і великих одноразових фінансових вкладень. Величина цих витрат залежить від рівня новизни продукції і частоти зміни моделей. Витрати на виготовлення нового виробу в перший рік його випуску можуть у декілька разів перевищувати витрати наступних років. Це знижує рівень ефективності виробництва нової техніки, а іноді призводить до великих збитків.

Швидкі темпи технічного прогресу вимагають такого періоду зміни моделей продукції, тобто життєвого циклу продукції, при якому сумарні витрати на розробку і впровадження нових моделей, а також втрати від морального зносу були б мінімальні, а рівень економічної ефективності був би максимальним.

У життєвому циклі виробу (рис. 2.1) можна виділити два характерних періоди: перший – це час, протягом якого здійснюється розробка нової продукції, і другий – час, протягом якого нова продукція освоюється, виробляється і реалізується до повного припинення випуску і утилізації.



Рисунок 2.1 – Структура життєвого циклу виробу.

У перший період життєвого циклу виробу включається повний комплекс робіт із створення нової техніки:

– НДР. В процесі цієї стадії виникають і проходять всебічну перевірку нових ідей, що реалізуються іноді у вигляді відкриттів винаходів. Теоретичні передумови вирішення наукової проблеми перевіряються в ході дослідно-експериментальних робіт;

– ДКР. Це перехідна стадія від наукових досліджень до виробництва. На цій стадії ідеї, що виникають в процесі НДР, практично втілюються в технічну документацію і дослідні зразки;

– конструкторська підготовка виробництва (КПВ) : здійснюється проектування нової техніки, розробляються креслення і технічна документація;

– технологічна підготовка виробництва (ТПВ). Тут розробляються і перевіряються нові технологічні процеси, проектується і виготовляється технологічне оснащення для виробництва нової техніки;

– організаційна підготовка виробництва (ОПВ). На цій стадії вибираються методи і моделюються процеси переходу на випуск нової продукції, проводяться розрахунки потреби в матеріалах і комплектуючих виробках, визначаються календарно-планові нормативи (тривалість виробничого циклу виготовлення нового виробу, розміри партій, період чергування партій виробів та ін.);

– відпрацювання в дослідному виробництві (ВДВ) нової конструкції виробу. Освоюється випуск дослідного зразка, проводиться налагодження нових технологічних процесів, перевірка і оцінка «життєздатності» нової продукції.

У другий період життєвого циклу виробу включається сьома стадія – освоєння його в серійному виробництві (ОСВ). На цій стадії створюються умови для промислового виробництва нового виробу. Практика показує, що іноді і на цій стадії виникають конструкторські зміни і викликані ними або незалежні від них змінення в технологічних процесах. Тому на стадії освоєння виробництва виникає необхідність визначення раціональної міри відробітку технологічної документації, доцільного рівня оснащеності виробництва спеціальними видами оснащення і обладнання.

Стадія освоєння є сполучною ланкою з фазою виробництва і реалізації виробу (ВіР).

Точне дотримання технологічного процесу – одна з найважливіших організаційних умов підвищення ефективності випуску нового виробу, включаючи високу якість продукції і високі техніко-економічні показники виробництва.

Заключним етапом життєвого циклу є експлуатація нової продукції (Е) – період, коли ця продукція використовується у відповідності з її призначенням і приносить економічний ефект, до моменту утилізації (У).

Підприємству вигідно було б продовжити другий період життєвого циклу виробу на максимальний термін, оскільки в цей час воно не несе додаткових витрат на розробку і впровадження нової продукції. Проте цей період має свою межу: нова продукція з моменту її появи забезпечує соціально-економічний ефект лише до певного часу, після якого вона морально старіє і її подальше виробництво і використання приносять збиток підприємству.

2.3 Виробничий процес

Сучасне підприємство – це система керування виробництвом, що ґрунтується на використанні економіко-математичних методів, теорії інформації, системно-комплексного підходу, організаційної та електроннообчислювальної техніки. З огляду на виробничо-господарську діяльність підприємство є самостійною структурою, в якій має бути реалізовано соціальну, виробничо-технічну, організаційно-адміністративну єдність і фінансово-економічну самостійність.

Соціальну єдність забезпечують збалансованим формуванням колективу

працівників, що складається з різних груп усіх спеціальностей, необхідних для виробництва певної продукції.

Виробничо-технічну єдність забезпечують відповідністю основних фондів підприємства (обладнання і площ) напряму його діяльності.

Організаційно-адміністративну єдність забезпечують спільним управлінським апаратом і впровадженням уніфікованої для підприємства системи документообігу.

Фінансово-економічну самостійність може бути забезпечено відокремленою матеріальною базою підприємства у вигляді майна та фінансів і рентабельністю роботи.

Технологічна сфера має свою специфічну термінологію і поняття, які стосуються розроблення технологій виготовлення та організації виробництва РЕА. Деякі терміни вже були розглянуті у зв'язку з питаннями, пов'язаними з конструюванням РЕА, але згадаймо їх в контексті технологічних процесів. Виробом у виробництві називають будь-який предмет або набір предметів, який необхідно виготовити. Виробом може бути деталь, складальна одиниця, комплекс і комплект. Стосовно РЕА виробом вважають як саму РЕА, а також елементи і деталі, з яких її складено.

Деталь – виріб, виготовлений з однорідного за найменуванням та маркою матеріалу без застосування складальних операцій, наприклад, вісь, клема, рама тощо.

Складальна одиниця – виріб, складові частини якого треба з'єднати на підприємстві-виробнику складальними операціями (згвинчування, зварювання, паяння, склеювання). Наприклад: модуль, з'єднувач, блок тощо.

Комплекс – два або більше виробів не з'єднані на підприємстві виробнику складальними операціями, але призначені для здійснення взаємопов'язаних експлуатаційних функцій. Кожен виріб в комплексі має своє призначення, наприклад: вимірювальний комплекс, обчислювальний комплекс тощо.

Комплект – два або більше виробів, не з'єднані на підприємстві виробнику складальними операціями і є сукупністю виробів, що мають загальне експлуатаційне призначення допоміжного характеру, наприклад: ремонтний комплект, комплект запасних частин тощо.

Виріб, що має дві або більше деталей, з'єднані роз'ємним або нероз'ємним з'єднанням, називають вузлом.

Виробничий процес є сукупністю всіх дій людей і засобів виробництва, необхідних для виготовлення виробів РЕА. Виробничий процес складається з дій спрямованих на виготовлення, складання, контроль якості виготовлених виробів; зберігання і переміщення комплектувальних деталей, напівфабрикатів і складальних одиниць на всіх стадіях виробництва; організацію постачання та обслуговування робочих місць, дільниць і цехів; керування всіма ланками виробництва, а також комплексу заходів з технологічної підготовки провиробництва.

Виробничий процес має дві складові: основний процес і допоміжний процес. До основного виробничого процесу віднесено процеси безпосереднього виготовлення

продукції; до допоміжного – процеси складування, транспортування, ремонту, енерго- й водопостачання тощо. Структуру технологічного процесу наведено на рис. 2.2.

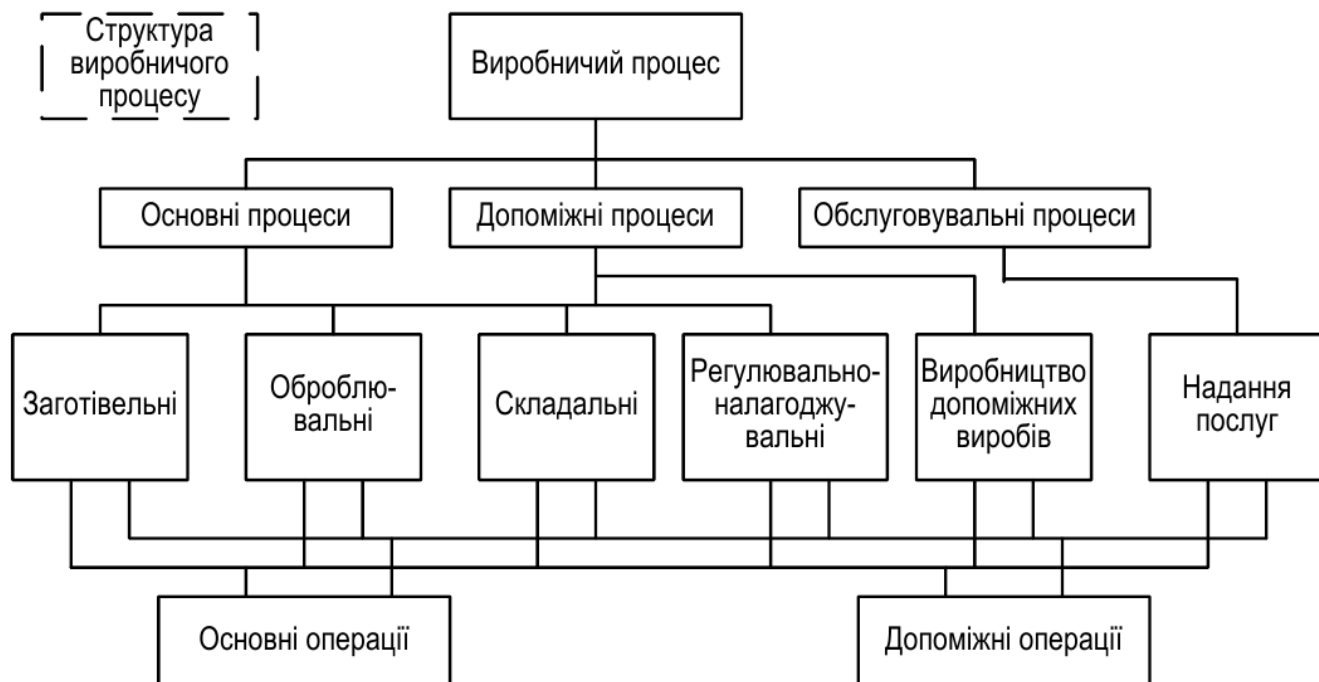


Рисунок 2.2 – Структура виробничого процесу

Технологічний процес (техпроцес) – частина виробничого процесу, безпосередньо пов'язана з послідовною зміною стану предмета праці й перетворенням його в готову продукцію. Технологічні процеси організують відповідно до специфіки методів їх реалізації (процеси лиття, механічного й термічного оброблення, нанесення покриттів, складання, монтажу та контролю ЕА) і розкладають на операції, рис. 1.2.

Технологічна операція – це закінчена частина ТП, яку здійснюють на одному робочому місці, над одним або декількома виробами, один або кілька робітників. Умова безперервності операції означає здійснення передбаченої роботи без переходу до подальшого виготовлення або складання виробу.

Наприклад, підготовка стрічкових проводів до монтажу складається з розрізання стрічки на відрізки заданих розмірів, видалення ізоляції з певних ділянок кабелю, нанесення покриття на оголені струмопровідні жили. Склад операції встановлюють не тільки на підставі технологічних міркувань, але і з урахуванням організаційної доцільності.

Технологічна операція (ТО) є основною одиницею виробничого планування та обліку. Трудомісткість виготовлення виробів оцінюють на підставі трудомісткості окремих операцій, а також для кожної операції визначають норми часу і розцінки, необхідну кількість робітників, обладнання, при-пристосувань та інструментів.

За умов автоматизованого виробництва операцією називають закінчену

частину ТП, здійснювану безперервно на автоматичній лінії. У гнучкому автоматизованому виробництві безперервність здійснення операції може бути порушеною, наприклад, напрямком переміщення складеного напівфабрикату електронного вузла на проміжний склад-накопичувач у періоди між окремими процедурами, здійснюваними на різних технологічних модулях.

Крім технологічних операцій складовими ТП є низка допоміжних операцій необхідних для його здійснення (транспортних, контрольних, маркувальних тощо).

Технологічні операції, у свою чергу, поділяють на установлення, позиції, переходи, прийоми.

Хоча має місце значне різноманіття виробничих процесів їх організація підпорядковується деяким загальним принципам.

Принцип диференціації передбачає поділ виробничого процесу на окремі технологічні процеси, які в свою чергу поділяються на операції, переходи, прийоми. Аналіз особливостей кожного елемента дозволяє вибрати найкращі умови для його здійснення. Потокове виробництво багато років розвивалось за рахунок все більш глибокої диференціації технологічних процесів. Виділення короткотермінових за часом здійснення операцій дозволяло спростувати організацію і технологічне оснащення виробництва, збільшувати продуктивність праці. Однак надмірна диференціація призводить до зайвих витрат на переміщення предметів праці між робочими місцями, установлення, закріплення і їх зняття з робочих місць після закінчення операцій.

За умови використання сучасного високопродуктивного гнучкого устаткування (верстати з ЧПУ, обробні центри, роботи тощо) діє принцип концентрації операцій та інтеграції виробничих процесів. У разі концентрації можливе здійснення кількох операцій на одному робочому місці (універсальне багатоцільове складальне обладнання). Інтеграція полягає в об'єднанні основних допоміжних та забезпечувальних процесів.

Принцип спеціалізації обумовлює виділення на підприємстві цехів, дільниць, ліній і окремих робочих місць, які виготовляють продукцію обмеженої номенклатури. Скорочення номенклатури продукції, як правило, призводить до поліпшення всіх економічних показників, зокрема, до підвищення рівня використання основних фондів підприємства, зниження собівартості продукції, механізації та автоматизації виробничих процесів.

Принцип пропорційності полягає в однаковій пропускній спроможності усіх виробничих підрозділів. Порушення цього принципу призводить до виникнення «вузьких» місць у виробництві або, навпаки, до неповного завантаження окремих робочих місць, дільниць, цехів, до зниження ефективності функціонування всього підприємства.

Принцип односпрямованості полягає в у такій організації виробничого процесу, за якої забезпечено найкоротші шляхи проходження деталей і складальних одиниць через усі стадії і операції. Потік матеріалів, напівфабрикатів і складальних одиниць слід організувати без зустрічних і зворотних рухів. Таку

організацію забезпечують відповідним плануванням розташування обладнання по ходу технологічного процесу. Класичним прикладом такого планування є потокова лінія.

Принцип безперервності полягає в у такій організації виробничого процесу, за якої працівники працюють без простоїв, а обладнання працює без перерв. Найбільше цей принцип характерний для масового або великосерійного виробництва у разі застосування поточкових методів виробництва, зокрема в разі організації одно- і багатопредметних безперервно-поточкових ліній. Цей принцип забезпечує скорочення циклу виготовлення виробу і сприяє підвищенню ефективності виробництва.

Принцип автоматичності полягає у реалізації максимальної кількості операцій виробничого процесу автоматично, тільки під наглядом і контролем оператора. Автоматизація процесів призводить до збільшення обсягів випуску виробів, до підвищення якості робіт, до відмови від ручної праці на роботах зі шкідливими умовами. Особливо важлива автоматизація забезпечувальних процесів. Загальний рівень автоматизації процесів виробництва визначають часткою автоматизованих робіт в основному, допоміжному та забезпечувальному виробництвах.

Принцип стандартизації обумовлює обов'язкове використання стандартизації, уніфікації, типізації та нормалізації під час створення та запровадження у виробництво нової техніки і нової технології, що дозволяє уникнути необґрунтованого різноманіття матеріалів, обладнання, технологічних процесів, а також дозволяє скоротити тривалість циклу створення і освоєння нової техніки.

2.3 Етапи розробки РЕА

Державними стандартами визначено порядок розробки і постановки на виробництво продукції технічного призначення, у тому числі і РЕА:

- технічна пропозиція;
- тескізний проект (ЕП);
- технічний проект.

Основою для розробки є технічне завдання (ТЗ), вміст якого встановлює ДСТ. У ТЗ викладаються призначення і область застосування РЕА, що розробляється, технічні, конструктивні, експлуатаційні і економічні вимоги до РЕА, умови по її зберіганню і транспортуванню, вимоги по надійності, правила проведення випробувань і приймання зразків у виробництві.

Стадії розробки ТЗ, технічних пропозицій і ЕП включаються, як правило, в НДР, а стадії розробки технічного проекту і технологічної підготовки виробництва – в ДКР.

На стадії технічних пропозицій проводиться аналіз існуючих технічних рішень, патентні дослідження, опрацювання можливих варіантів створення РЕА, вибір оптимального рішення, макетування окремих вузлів РЕА, вироблення вимог для

наступних етапів розробки.

На стадії ескізного проектування здійснюють конструкторське і технологічне опрацювання вибраного варіанту реалізації РЕА; готується діючий зразок або серія РЕА; проводяться їх випробування в об'ємі, достатньому для підтвердження заданих в ТЗ технічних і експлуатаційних параметрів; організовується розробка в повному об'ємі необхідної конструкторської документації, якій привласнюється літера "Е"; опрацьовуються основні питання технології виготовлення, наладки і випробування елементів, вузлів, пристроїв і РЕА в цілому.

На стадії технічного проекту приймаються остаточні рішення про конструктивне оформлення РЕА і складових її вузлів, розробляється повний комплект конструкторської і технологічної документації, якій привласнюється літера «Т», виготовляється досвідчена серія РЕА, проводяться випробування РЕА на відповідність заданим в ТЗ технічним і експлуатаційним вимогам. Результати технічного проектування є основою для розробки повного комплексу робочої конструкторської документації, якій привласнюється літера «О».

В подальшому здійснюється технологічна підготовка виробництва, випуск настановної серії і організація серійного (масового) випуску РЕА.

З розвитком мережі INTERNET широкі можливості для творців РЕА відкриває CALS–технологія (Computer Aided of Logistics Support) – стратегія промисловості, спрямована на ефективне створення, обмін, управління і використання баз даних, що підтримують життєвий цикл створюваного виробу.

2.4 Принципи конструювання радіоелектронних пристроїв

РЕА, що розробляється, повинна відповідати тактико-технічним, конструктивно-технологічним, експлуатаційним, вимогам надійності і економічним вимогам. Ці вимоги відносяться до електроарматури радіо- елементам, друкованим платам, іншим конструктивним елементам апаратури, методам збірки вузлів і модулів. Оптимальне задоволення цим вимогам є складним інженерним завданням. Крім того, ці вимоги повинні відповідати рекомендаціям відповідних державних стандартів. До конструктивно-технологічних вимог відносяться: забезпечення функціонально-вузлового принципу побудови конструкції РЕА, технологічність, мінімальна номенклатура комплектуючих виробів, ремонтпридатність, захист від несанкціонованого доступу, зручний доступ до вузлів і елементів, забезпечення безпечної роботи оператора.

Поняття технологічності тісно пов'язане з поняттям економічності конструкції РЕА. Найбільш технологічні конструкції, як правило, і найбільш економічні в умовах виробництва. Технологічність конструкції РЕА в істотній мірі визначається раціональним вибором її структури, яка повинна розроблятися з обліком автономного, роздільного виготовлення і наладки її основних елементів, вузлів, блоків. Конструкція РЕА більш технологічна, якщо менше операцій регулювання та доводки доводиться виконувати після її остаточної зборки. У цьому плані ідеальна

технологічність у РЕА, яка, будучи зібраною з окремих вузлів, виконує задані функції відразу ж після включення електроживлення.

У технологічній конструкції повинні максимально використовуватися уніфіковані, нормалізовані і стандартні деталі і матеріали. Необхідність розробки нових матеріалів з поліпшеними властивостями або нових технологічних процесів має бути технічно і економічно обґрунтована. У технологічній конструкції максимально використовують взаємозамінюваність, регульованість, контролепридатність, інструментальну доступність вузлів і елементів.

Вимоги по надійності включають конкретні кількісні характеристики: вірогідність безвідмовної роботи за визначений відрізок часу, середній час відновлення працездатності та інші.

До економічних вимог відносять мінімально можливі витрати часу, праці і матеріальних засобів на розробку, виготовлення і експлуатацію РЕА; мінімальну вартість РЕА після освоєння її у виробництві; мінімальні витрати на експлуатацію, обслуговування і планові ремонти.

Понизити витрати на розробку, виготовлення і освоєння виробництва РЕА, забезпечити сумісність і спадкоємність апаратурних рішень при одночасному поліпшенні якості, збільшенні надійності і терміну служби дозволяє використання модульного принципу конструювання на основі конструктивної і функціональної взаємозаміноості складових частин конструкції – модулів.

Модульний принцип конструювання припускає розукрупнення (розбиття, розчленовування) електронної схеми РЕА на функціонально і конструктивно закінчені підсхеми (частини), що виконують визначені функції і забезпечені елементами комутації і механічного з'єднання з подібними модулями і з модулями нижчого рівня в виробу. Модулі одного рівня об'єднуються між собою в РЕА на якій-небудь конструктивній основі (несучої конструкції).

Конструкція сучасної РЕА є ієрархією модулів, кожен ступінь якої називається рівнем модульності. При виборі числа рівнів модульності проводиться типізація модулів, тобто зменшення їх різноманітності і встановлення таких конструкцій, які виконували б найширші функції у виробі визначеного функціонального призначення. Функціональне різноманіття виробів досягається використанням різного числа рівнів модульності з можливістю конструктивного оформлення вищого і, отже, самого складного модуля у вигляді закінченого виробу.

Виділяють чотири основні рівні модульності:

Модуль нульового рівня – електронний компонент. В залежності від виконання апаратури за модулі нульового рівня правлять електроарматура, радіоелементи і інтегральні мікросхеми (ІМ).

Модуль першого рівня є друкованою платою (ДП) зі встановленими на ній модулями нульового рівня і електричним з'єднувачем (роз'ємом), за допомогою якого модуль підключається до інших модулів. Інакше модуль першого рівня називається складальним вузлом, в який входять оригінальні деталі і покупні вироби (електроарматура радіоелементи, деталі кріплення). Складальні вузли на основі ПП є

основою найширшого спектру виробів, віднесених до РЕА.

Модуль другого рівня – блок, основним конструктивним елементом якого являється панель із з'єднувачами у відповідь модулів першого рівня. Міжблочна комутація виконується з'єднувачами, розташованими по периферії панелі блоку. Модулі першого рівня розташовуються в один або декілька рядів.

Модуль третього рівня – стійка, в якій встановлюються блоки.

Модульний принцип конструювання передбачає також декілька рівнів комутації. При розробці нескладної апаратури вищі рівні модульності відсутні. Повна модульність використовується тільки в складній апаратурі.

Прискорення розробки і виробництва апаратури, збільшення її серійності, зниження вартості можна досягти уніфікацією, нормалізацією і стандартизацією основних параметрів і типорозмірів модулів.

У основі стандартизації модулів і їх конструкцій, що несуть, лежать типові функції, властиві багатьом електронним системам. Для використання при проектуванні модульного принципу конструювання розроблені відомчі нормалі і державні стандарти, у встановлені терміни, визначення, системи типових конструкцій модульних систем.

Конструкційна система повинна представляти багаторівневе сімейство модулів з оптимальним складом набору, що забезпечує функціональну повноту при побудові апаратури визначеного призначення. Усі модулі системи мають бути сумісні між собою по конструктивних, електричних і експлуатаційних параметрах.

Базовим називається принцип конструювання, при якому часткові конструктивні рішення реалізуються на основі стандартних конструкцій модулів або конструкційних систем модулів (базових конструкцій), дозволених до застосування в апаратурі певного класу, призначення і об'єктів установки.

При розробці базових конструкцій повинні враховуватися особливості сучасних і, що більш важливо, майбутніх розробок. При цьому приватні конструктивні рішення узагальнюються, а основні властивості і параметри закладаються в конструкції, які стандартизуються, поставляються і рекомендуються для широкого застосування.

При стандартизації параметри конструкцій об'єднуються в параметричні ряди, що характеризуються сукупністю числових значень на основі прийнятих градацій і діапазонів. Якщо як параметри ряду використовують геометричні розміри конструкції, то говорять не про параметричні, а про розмірні ряди. Широке поширення мають обидва види рядів.

Оптимальними з позицій стандартизації слід вважати ряди, що забезпечують найбільший економічний ефект від їх використання і випереджувальну стандартизацію, тобто скорочення об'єму робіт, пов'язаних з переглядом стандартів і їх модернізацією (випереджувальна стандартизація дозволяє збільшити термін дії стандартів).

ТЕМА 3

ОРГАНІЗАЦІЯ ТА ДОКУМЕНТАЛЬНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОЦЕСУ КОНСТРУЮВАННЯ

3.1 Науково-дослідні роботи

У процесі створення сучасних приладів часто виникають принципово нові завдання, вирішення яких вимагає глибоких і різнобічних теоретичних та експериментальних досліджень. Іноді такі завдання складають певну проблему або групу проблем.

Очевидно, що до вирішення проблемних питань починати проектування приладу або системи було б передчасним та не виправданим.

З метою вирішити проблемні питання і отримати необхідний для проектування початковий матеріал здійснюють науково-дослідні роботи.

Науково-дослідна робота складається з кількох етапів, під час яких виконують такі дії:

- опрацьовують і погоджують технічне завдання;
- вивчають вітчизняну і зарубіжну літературу за напрямом розробки;
- розробляють загальну методику і складають план проведення робіт;
- здійснюють теоретичні дослідження;
- складають перелік експериментів з розробленням конкретних методик і схем експериментальних установок;
- розробляють і виготовляють макетні вузли або макетний зразок і досліджують особливості прийнятих технічних рішень;
- розробляють і виготовляють експериментальний зразок;
- досліджують і випробовують експериментальний зразок;
- аналізують результати експериментів і випробувань;
- за результатами виконання НДР складають науково-технічний звіт і створюють експериментальний (або макетний) зразок приладу або системи, а також розробляють рекомендації стосовно технічного завдання на ДКР.

Залежно від цілей, характеру і складності НДР вказані роботи може бути скориговано або скорочено.

3.2 Дослідно-конструкторські розробки

Дослідно-конструкторську роботу виконують після з'ясування принципової технічної можливості створення приладу. Її метою є розробити конструкторську документацію і виготовити дослідний зразок.

У складних випадках, під час розроблення великих технічних комплексів іноді виникає необхідність у виконанні аванпроекта для попереднього

з'ясування господарської доцільності і технічної можливості створення майбутнього приладу в бажані терміни, здійснення компоновки в заданих габаритних

розмірах тощо.

Якщо принципову технічну можливість створення приладу встановлено, ДКР охоплює основні етапи, наведені в табл.2.1

Таблиця 2.1. Стадії та етапи виконання ДКР

Стадія розроблення	Етапи виконання робіт
Технічна пропозиція	Добір та узагальнення науково-технічних та патентних документів, оформлення аналітичного огляду. Розроблення технічної пропозиції на підставі аналізу науково-технічних, патентних, нормативних документів, маркетингових досліджень, ТЗ на ДКР. Затвердження технічної пропозиції з наданням документам літери «П».
Ескізний проект	Розроблення комплекту документів ескізного проекту. Виготовлення та випробовування макетів або експериментальних зразків, за необхідності. Затвердження ескізного проекту з наданням документам літери «Е».
Технічний проект	Розроблення комплекту документів технічного проекту. Розроблення конструкторських рішень виробу та його складових частин. Затвердження технічного проекту з наданням документам літери «Т».
Робоча конструкторська документація дослідного зразка (дослідної партії) виробу, призначеного для серійного (масового) чи одиничного виробництва	Розроблення робочої конструкторської документації, призначеної для виготовлення і випробування дослідного зразка (дослідної партії), без надання літери. Виготовлення і попередні випробування дослідного зразка (дослідної партії). Коригування КД за результатами виготовлення і попередніх випробувань дослідного зразка (дослідної партії). Приймальні випробування дослідного зразка (дослідної партії). Коригування КД за результатами приймальних випробувань дослідного зразка (дослідної партії).

Залежно від різновиду, призначення і складності зразка питома вага окремих етапів може бути різною. Крім того, під час виконання окремих етапів, як правило, розробляють та виготовляють макети (здійснюють макетування) окремих механізмів і вузлів для перевірки схемних і конструктивних рішень. Значущість макетування може бути вельми великою, проте його не можна вважати як самостійний етап, оскільки необхідність макетування може виникнути на багатьох з вказаних етапів (особливо на етапах ескізного і технічного проектів). У результаті здійснення ДКР, як правило, виготовляють дослідний зразок приладу.

3.3 Документальне забезпечення процесу конструювання

Конструкторський документ – документ, який окремо чи разом з іншими документами визначає склад і конструкцію виробу та містить необхідні дані, згідно з якими розробляють, виробляють, контролюють, приймають, постачають, експлуатують та ремонтують виріб.

Технічне завдання (ТЗ) є дуже важливим документом, що з одного боку визначає технічні параметри та характеристики розроблюваного пристрою або системи, а з другого – є одним із основних документів, що визначає відносини між замовником та виконавцем робіт. Саме технічне завдання є тим документом, що визначає правоту однієї із сторін у разі виникнення непорозумінь та суперечностей. До складання технічного завдання завжди треба ставитись з максимальною відповідальністю.

Технічне завдання розробляють, погоджують і затверджують на дослідно-конструкторську роботу, будь-який різновид проекту та науково-дослідну роботу.

Зміст та обсяг технічного завдання визначають характер, складність і структуру прогнозованих робіт. Наприклад, на окремі частини роботи головний виконавець видає усім співвиконавцям, що беруть участь у проекті, окремі технічні завдання, обсяг яких значно менший.

Технічне завдання є документом, структуру і зміст якого регламентовано стандартом ДСТУ 3974-2000.

Технічне завдання на виконання ДКР має містити такі основні розділи:

- назва ДКР, шифр і підстава для виконання ДКР;
- виконавці ДКР;
- виробник;
- мета виконання ДКР і призначення продукції;
- склад продукції;
- технічні вимоги;
- техніко-економічні вимоги;
- вимоги до сировини, матеріалів та ПКВ (покупних виробів);
- вимоги до консервації, пакування і маркування;
- спеціальні вимоги;
- вимоги до розроблюваної документації;
- стадії і етапи ДКР;
- порядок приймання ДКР і матеріали, які подають під час закінчення етапів і ДКР у цілому;
- вимоги щодо технічного захисту ІзОД (інформації з обмеженим доступом), за необхідності;
- додатки.

Залежно від специфіки ДКР та призначення продукції дозволено доповнювати ТЗ іншими розділами або вилучати окремі розділи.

У розділі «технічні вимоги» має бути відзначено точність, цикл роботи,

особливості приладу, пов'язані з вибраною методикою робіт тощо (у складному комплексі корисно дати окремо основні технічні характеристики окремих приладів); тут же може бути зазначено вимоги до оптичних характеристик, якщо їх доцільно віднести до приладу в цілому, а не до його окремих частин, наприклад, для приладів спостереження: збільшення поля зору, діаметр і відстань до вихідного отвору, межі діоптрійної установки окуляра тощо; для фотографічних приладів: фокусна відстань, відносний отвір, поле зору (розміри кадру), роздільна здатність тощо.

Технічна пропозиція – сукупність конструкторських документів, у яких має бути наведено уточнені технічні та техніко-економічні обґрунтування доцільності розроблення документації виробу на підставі:

- аналізу технічного завдання замовника і різних варіантів можливих конструкторських рішень;

- порівняльного оцінювання рішень з урахуванням конструктивних і експлуатаційних особливостей розроблюваного та існуючих виробів тощо.

Технічну пропозицію розробляють у разі, якщо це передбачено технічним завданням. Технічну пропозицію розробляють з метою виявлення додаткових або уточнених вимог до виробу (технічних характеристик, показників якості тощо), які не могли бути зазначені в технічному завданні, і це доцільно зробити на підґрунті попереднього конструкторського опрацювання та аналізу різних варіантів реалізації виробу.

Перелік робіт, виконуваних на стадії технічної пропозиції, встановлюють на основі технічного завдання і його визначає розробник залежно від характеру і призначення виробу. Зазвичай на етапі розроблення технічної пропозиції виконують такі роботи:

- підбирають і вивчають матеріали за темою завдання, зокрема патентні матеріали;

- визначають головні ознаки приладу, які треба поліпшити і порівнюють конструкцію з тими, що існують;

- визначають принципову можливість реалізувати задані параметри; здійснюють необхідні розрахунки, обґрунтування, а в складних випадках і експерименти;

- виявляють можливості запозичення ідей або готових конструктивних рішень з існуючих приладів, аналізують можливі варіанти реалізації приладу;

- складають перелік необхідних науково-дослідних робіт для визначення можливості виконання або поліпшення окремих характеристик і параметрів конструкції;

- здійснюють технічні і техніко-економічні обґрунтування доцільності проектування виробу із заданими параметрами;

- узгоджують і остаточно формулюють усі пункти ТЗ (зазвичай спільно з представниками замовника).

У технічну пропозицію заносять конструкторські документи, передбачені технічним завданням.

На розгляд, погодження та затвердження подають копії документів технічної пропозиції. За узгодженням із замовником можна подавати оригінали документів технічної пропозиції.

Ескізне проектування починають з розроблення основних схем приладу і необхідних розрахунків.

Різновиди схем позначають літерами, типи схем – цифрами.

У приладобудуванні використовують схеми, основні види і типи яких описано нижче.

Різновиди схем позначають літерами: електричні – Е; гідравлічні – Г; пневматичні – П; кінематичні – К; оптичні – Л.

Типи схем позначають цифрами: структурні – 1; функціональні – 2; принципів (повні) – 3; з'єднань (монтажні) – 4; підключення – 5; загальна – 6, розташування – 7, об'єднані – 0.

Схеми, що є складовими конструкторської документації, позначають шифром, наприклад, схему електричну принципів позначають шифром ЕЗ.

У результаті виконання ескізного проекту розробляють наступну документацію.

1. Структурну, принципів, кінематичну, оптичну, електричну та інші схеми приладу і його частин (залежно від особливостей конкретного приладу).

2. Креслення загального вигляду приладу, його основних складових одиниць (загальна компоновка без детального конструктивного опрацювання), габаритні креслення.

3. Пояснювальну записку до ескізного проекту. Пояснювальна записка до ескізного проекту містить такі розділи:

– вимоги ТЗ;

– теоретичну частину – теоретичне обґрунтування конструкції, підкріплене всіма необхідними розрахунками;

– розрахунок кінематичної, електричної та інших схем і дані оптичної схеми з графіками аберації; а також розрахунки на міцність, жорсткість тощо (відповідно до вимог ТЗ);

– опис конструкції;

– ступінь реалізації пунктів ТЗ;

– зауваження і пропозиції щодо коригування ТЗ.

Документацію ескізного проекту після його завершення розсилають замовнику і зацікавленим організаціям, після чого відбувається захист ескізного проекту. За результатами всебічних обговорень складають протокол захисту із зазначенням усіх зауважень до ескізного проекту і порядку їх усунення. Особливо відзначають зміни ТЗ. Протокол захисту затверджують, як правило, ті організації, які затвердили ТЗ.

Технічний проект відрізняється від ескізного детальним і остаточним опрацюванням конструкції приладу. Креслення загального вигляду приладу і його частин, а також креслення складальних одиниць конструктивно відпрацьовують

настільки, щоб можна було надалі зробити робоче креслення кожної деталі.

Креслення загального вигляду розробляють за результатами ескізного проекту і зауважень до нього, а також уточнених схем і розрахунків. Наприклад, в технічному проекті використовують остаточну, зроблену із застосуванням абераційного розрахунку оптичну схему.

Одночасно з уточненням схем і розрахунків здійснюють уточнення баз механічних з'єднань із суміжними організаціями.

Розроблення робочих креслень деталей і креслень дрібних складальних одиниць здійснюють на підставі складальних креслень більших складальних одиниць.

У процесі створення робочого креслення деталі залежно від її конфігурації і складності обирають масштаб креслення з таким розрахунком, щоб можна було розмістити усі розміри і їх легко сприймати, а конфігурація деталі була чіткою і зрозумілою. На кресленні деталі необхідно навести стільки розрізів і проекцій, скільки необхідно для повного уявлення про неї, проте слід уникати зайвих проекцій і розрізів.

На кожному кресленні деталі вказують усі дані, необхідні для її виготовлення: розміри і допуски на них, шорсткість поверхонь; дозволені відхилення форми і розташування поверхонь; матеріал; спосіб оброблення поверхонь; масу.

Крім того, за необхідності, креслення може містити різні пояснювальні написи, наприклад, про термічне оброблення, спосіб виготовлення, розміри заготовки, додаткові вимоги до точності тощо.

На кресленнях складальних одиниць наводять технічні вимоги на складання, регулювання, контроль тощо.

Особливу увагу потрібно приділити під час розроблення креслень деталей на вибір баз і нанесення розмірів.

Будь-який прилад комплектують технічним паспортом.

Технічний паспорт приладу містить таку інформацію:

- основні технічні дані;
- постійні величини;
- принципові особливості конструкції (за необхідності) і основні правила поводження з приладом;
- результати досліджень даного екземпляра приладу (точність, якість оптичних систем, похибки окремих деталей і частин, ціна ділень вимірювальної шкали тощо);
- деякі характерні результати, отримані у процесі натурних досліджень;
- перелік складу комплекту;
- свідоцтво про приймання;
- відмітки про стан приладу, технічне обслуговування і ремонт;
- відомості про консервацію та пакування;
- інформацію про гарантії і відомості стосовно можливої reklamacії.

У паспорт записують номер приладу (номер механізму), а в складних приладах – номери основних механізмів і частин (електродвигунів, об'єктивів тощо).

Формуляр містить ті ж розділи, що і технічний паспорт, а також розділ про режими роботи, облік роботи приладу під час експлуатації та деякі інші спеціальні розділи.

Дослідний зразок виготовляють відповідно до робочих креслень деталей, складальних креслень частин, креслень загального вигляду складальних одиниць і приладу в цілому, за технічними умовами на прилад та його частини.

Під час виготовлення деталей, складальних одиниць, налагоджування та регулювання приладу в дослідному цеху всі зауваження реєструють в спеціальній книзі зауважень. Конструктор аналізує зауваження, ретельно перевіряє необхідність змін у кресленнях і робить ці зміни за встановленим для креслень дослідного зразка порядком.

Зауваження, що виникають, слід обов'язково записувати у книгу зауважень, потім їх уважно аналізувати і усувати, оскільки зміна деталей в дослідному цеху без відображення цих змін у кресленнях призводить до виникнення непорозумінь і до появи браку у процесі подальшого виготовлення приладу (установчої партії, серії).

Випробування дослідних зразків за стадіями життєвого циклу продукції бувають довідні, попередні та приймальні згідно ДСТУ 3021-95 «Випробування і контроль якості продукції. Терміни та визначення».

Попередні випробування здійснюють з метою попередньої перевірки відповідності дослідного зразка заданим технічним умовам. Попередніми випробуваннями є конструкторсько-завершальні та лабораторно-заводські випробування.

Приймальні випробування здійснюють з метою перевірити відповідність дослідного зразка заданим технічним умовам і вимогам та з'ясувати можливість розпочати серійне або масове виробництво таких приладів.

Як попередні, так і приймальні випробування можуть бути лабораторними (стендовими) і польовими (полігонними, льотними).

Польові випробування не проводять у випадках, якщо всі тактико-технічні характеристики дослідного зразка можна перевірити у процесі лабораторних випробувань.

Конструкторсько-завершальні випробування здійснюють за програмою, затвердженою головним конструктором, з метою виявлення реальних можливостей приладу і його відповідності заданим технічним вимогам. Технічну документацію і дослідні зразки за необхідності доопрацьовують за наслідками випробувань.

Лабораторно-заводські випробування здійснюють за програмою, узгодженою із замовником і затвердженою в установленому порядку. Результати випробувань оформлюють відповідними актами в зазначеному порядку і термінів усунення виявлених зауважень. Згідно актам, за необхідності, здійснюють доопрацювання дослідних зразків і технічної документації.

Державні випробування здійснює спеціальна Державна комісія, до складу якої входять провідні фахівці з відповідного напрямку приладобудування, представники замовника і головного конструктора, за програмою, затвердженою замовником або

галузевим науково-дослідним інститутом.

На державні випробування надають повністю доопрацьовані за наслідками попередніх випробувань, ретельно перевірені і налагоджені прилади.

В акті державних випробувань, окрім зауважень і порядку їх усунення, роблять висновок про можливість запуску приладу в серійне або масове виробництво.

Акт державної комісії є підставою для затвердження зразка до впровадження для серійного виробництва.

3.4 Види виробів

Виробом називають будь-який предмет або набір предметів виробництва, що виготовляють на підприємстві.

Вироби, залежно від їх призначення, поділяють на вироби основного виробництва і на вироби допоміжного виробництва. До виробів основного виробництва слід відносити вироби, призначені для постачання (реалізації) зовнішнім користувачам. До виробів допоміжного виробництва слід відносити вироби, призначені тільки для власних потреб підприємства, що виготовляє їх. Вироби, призначені для постачання (реалізації) і одночасно використовувані для власних потреб підприємством, що їх виготовляє, слід відносити до виробів основного виробництва.

У сфері конструювання встановлено такі види виробів:

- деталі;
- складальні одиниці;
- комплекси;
- комплекти.

Вироби, залежно від наявності або відсутності в них складових частин, поділяють на:

- а) неспецифіковані (деталі) – що не мають складових частин;
- б) специфіковані (складальні одиниці, комплекси, комплекти) – що складаються з двох і більш складових частин.

Різновиди виробів та їх структуру наведено на рисунку 3.1.

Поняття «складова частина» слід застосовувати тільки відносно конкретного виробу, до складу якого вона входить. Складовою частиною може бути будь-який виріб (деталь, складальна одиниця, комплекс і комплект).

Деталь – виріб, виготовлений з однорідного за найменуванням та маркуванням матеріалу, без застосування складальних операцій, наприклад: валик із суцільного металу, литий корпус; пластина з біметалічного листа; друкована плата; маховик з пластмаси (без арматури); відрізок проводу або дроту заданої довжини. Деталі є вироби з покриттям (захисним або декоративним), незалежно від вигляду, товщини і призначення покриття, або виготовлені із застосуванням місцевого зварювання, паяння, склеювання, зшивання тощо. Наприклад: хромований гвинт; трубка, спаяна або зварена з одного листа металу; коробка, склеєна з одного листа картону.



Рисунок 3.1 – Види виробів та їх структура

Складальна одиниця – виріб, складові частини якого з’єднують між собою на підприємстві-виробнику складальними операціями (згвинчуванням, клепкою, зварюванням, паянням, пресуванням, розвальцьовуванням, склеюванням, зшиванням, укладанням тощо), наприклад: автомобіль, верстат, телефонний апарат, мікромодуль, редуктор, зварний корпус, маховик з пластмаси з металевою арматурою.

До складальних одиниць, за необхідності також може бути віднесено:

а) вироби, для яких конструкцією передбачено розбирання їх на складові частини на підприємстві-виробнику, наприклад, для зручності пакування і транспортування;

б) сукупність складальних одиниць і (або) деталей, що мають загальне функціональне призначення і спільно встановлюваних на підприємстві-виробнику в іншу складальну одиницю. Наприклад: електроустаткування верстата, автомобіля, літака; комплект складових частин врізного замку; сукупність складальних одиниць і (або) деталей, що мають загальне функціональне призначення, спільно укладених на підприємстві-виробнику в засоби укладань (футляр, коробку тощо), які передбачено використовувати разом з укладеними в них виробами, наприклад: готівальня, комплект кінцевих плоско-паралельних мір довжини.

Комплекс – два і більше специфікованих вироби, не з’єднаних на підприємстві-виробнику складальними операціями, але такі, що призначені для виконання взаємопов’язаних експлуатаційних функцій.

Кожен з цих специфікованих виробів, що є складовими комплексу, призначено для виконання однієї або декількох основних функцій, встановлених для всього комплексу, наприклад: цех-автомат; завод-автомат, автоматична телефонна станція, бурильна установка; виріб, що складається з метеорологічної ракети, пускової установки і засобів управління; корабель.

Частинами комплексу, окрім виробів, що виконують основні функції, можуть бути деталі, складальні одиниці і комплекти, призначені для виконання допоміжних

функцій, наприклад: деталі і складальні одиниці, призначені для монтажу комплексу на місці його експлуатації; комплекс запасних частин, засобів укладань, тара тощо.

Комплект – два і більше виробів, не сполучених на підприємстві-виробнику складальними операціями і вироби, що є набором, мають загальне експлуатаційне призначення допоміжного характеру, наприклад: комплект запасних частин, комплект інструменту і приладдя, комплект вимірювальної апаратури, комплект пакувальної тари тощо.

До комплектів також відносять складальну одиницю або деталь, що поставляють разом з набором інших складальних одиниць і (або) деталей, призначених для виконання допоміжних функцій у процесі експлуатації цієї складальної одиниці або деталі, наприклад: осцилограф в комплекті з ящиком укладання, запасними частинами, монтажним інструментом, змінними частинами. До покупних віднесено вироби, що не виготовляють на даному підприємстві, а отримують у готовому вигляді, окрім отриманих у порядку кооперації. До виробів, що отримують у порядку кооперації, відносять складові частини виробу, які виготовляють на іншому підприємстві за конструкторською документацією, що входить в комплект документів виробу, що виготовляють на даному підприємстві.

Основне призначення стандартів ЄСКД полягає у встановленні в організаціях і на підприємствах єдиних правил виконання, оформлення і використання конструкторської документації. Загальні правила забезпечують:

- можливість взаємного обміну конструкторськими документами між організаціями і підприємствами без їх переоформлення;
- стабілізацію комплектності, що унеможлиблює дублювання і розроблення непотрібних виробництву документів;
- можливість розширення уніфікації під час конструкторського проектування промислових виробів;
- спрощення форм конструкторських документів і графічних зображень.

3.5 Види і комплектність конструкторських документів

Конструкторські документи поділяють на види, а їх визначення наведено нижче.

Креслення деталі – документ, що містить зображення деталі та інші дані, необхідні для її виготовлення і контролю.

Складальне креслення – документ, що містить зображення складальної одиниці й інші дані, необхідні для її складання (виготовлення) і контролю. До складальних креслень також відносять креслення, за якими виконують гідро- і пневмомонтаж.

Креслення загального вигляду – документ, що визначає конструкцію виробу, взаємодію його основних складових частин і пояснює принцип роботи виробу.

Теоретичне креслення – документ, що визначає геометричну форму (обриси) виробу і координати розташування складових частин.

Габаритне креслення – документ, що містить контурне (спрощене) зображення

виробу з габаритними, установлювальними і приєднувальними розмірами.

Електромонтажне креслення – документ, що містить дані, необхідні для здійснення електричного монтажу виробу.

Монтажне креслення – документ, що містить контурне (спрощене) зображення виробу, а також дані, необхідні для його установлення (монтажу) на місці застосування. До монтажних креслень також віднесено креслення фундаментів, що спеціально розробляють для установлення виробу.

Пакувальне креслення – документ, що містить дані, необхідні для пакування виробу.

Схема – документ, в якому наведено у вигляді умовних зображень або позначень складові частини виробу і зв'язки між ними.

Специфікація – документ, що визначає склад складальної одиниці, комплексу або комплекту.

Відомість специфікацій – документ, що містить перелік усіх специфікацій складових частин виробу із зазначенням їх кількості.

Відомість документів, на які є посилання – документ, що містить перелік документів, на які є посилання в конструкторських документах виробу.

Відомість придбаних виробів – документ, що містить перелік придбаних виробів, застосованих у розробленому виробі.

Відомість узгодження застосування придбаних виробів – документ, що містить перелік придбаних виробів, застосування яких узгоджено.

Відомість місць зберігання оригіналів – документ, що містить перелік підприємств (організацій), на яких зберігають оригінали документів, розроблених і (або) застосованих для даного виробу.

Відомість технічної пропозиції – документ, що містить перелік документів, які є складовими технічної пропозиції.

Відомість ескізного проекту – документ, що містить перелік документів, які є складовими ескізного проекту.

Відомість технічного проекту – документ, що містить перелік документів, які є складовими технічного проекту.

Пояснювальна записка – документ, що містить опис пристрою і принципу дії розробленого виробу, а також обґрунтування прийнятих технічних та техніко-економічних рішень.

Технічні умови – документ, що містить вимоги (сукупність всіх показників, норм, правил і положень) до виробу, його виготовлення, контролю, приймання і постачання, які недоцільно вказувати в інших конструкторських документах.

Програма і методика випробувань – документ, що містить технічні дані, які треба перевіряти під час випробування виробу, а також порядок і методи їх контролю.

Таблиця – документ, що містить залежно від його призначення відповідні дані, зведені в таблицю.

Розрахунок – документ, що містить розрахунки параметрів і величини, наприклад, розрахунок розмірних ланцюгів, розрахунок на міцність тощо.

Експлуатаційні документи – документи, призначені для використання під час експлуатації, обслуговування та ремонту виробу в процесі експлуатації.

Ремонтні документи – документи, що містять дані для ремонтних робіт на спеціалізованих підприємствах.

Патентний формуляр – документ, що містить інформацію про патентну чистоту об'єкту, а також про створені і використані під час його розроблення вітчизняні винаходи.

Карта технічного рівня і якості виробу – документ, який містить дані, що визначають технічний рівень якості виробу і відповідність його технічних і економічних показників досягненням науки і техніки, а також потребам споживчого ринку.

Інструкція – документ, що містить вказівки і правила, для виготовлення виробу (складання, регулювання, контроль, приймання тощо).

Документи залежно від стадії проектування розподіляють на проектні (технічна пропозиція, ескізний проект і технічний проект) і робочі (робоча документація).

Найменування конструкторських документів залежно від способу їх виконання і характеру використання наведено нижче.

Документи, призначені для разового використання у виробництві (документи макету, стендів для лабораторних випробувань тощо), можна виготовляти у вигляді ескізних конструкторських документів.

Первинні оригінали – документи, зроблені на будь-якому матеріалі і призначені для виготовлення з них оригіналів.

Оригінали – документи, зі справжніми підписами відповідних осіб і виготовлені на будь-якому матеріалі, що дозволяє багаторазове відтворення з них копій. Допускають як оригінал використовувати первинний оригінал, фотокопію або екземпляр зразка, виготовленого друкованим способом, зі справжніми підписами відповідних осіб, відповідальних за виготовлення документа.

Дублікати – копії оригіналів, що забезпечують ідентичність відтворення оригіналу, виготовлені на будь-якому матеріалі, що дозволяє зняття з них копій.

Копії – документи, виготовлені способом, що забезпечує їх ідентичність з оригіналом (дублікатом) і призначені для безпосереднього використання під час розроблення, у виробництві, експлуатації і ремонті виробів. Копіями є також мікрофільми-копії, отримані з мікрофільму-дубліката.

Комплектність конструкторських документів. Розрізняють основний конструкторський документ (КД), основний комплект КД, повний комплект КД.

Основний КД виробу окремо або в сукупності з іншими КД, записаними в ньому (конструкторські документи, що стосуються даного виробу), повністю і однозначно визначають даний виріб і його склад.

Основними конструкторськими документами вважають: для деталей – креслення деталі; для складальної одиниці, комплексів і комплектів – специфікацію. Виріб, застосований відповідно до КД, зробленої відповідно до ЕСКД, записують в документи інших виробів, в яких його застосовано, записом позначення його

основного КД. Вважають, що такий виріб застосовано за своїм основним КД. Основний комплект КД виробу об'єднує КД, що стосується усього виробу, наприклад, складальне креслення, принципова електрична схема, технічні умови, експлуатаційні документи. КД складових частин не є складовою частиною основного комплексу документації виробу.

Повний комплект КД виробу складено з таких документів: основного комплексу КД на даний виріб, основних комплектів КД на всі його складові частини.

До складу КД виробу може бути уведено, також, групові КД, якщо ці документи поширюються і на даний виріб, наприклад, групові технічні умови. До основного комплексу конструкторських документів виробу може бути внесено групові конструкторські документи, якщо ці документи мають безпосереднє відношення до даного виробу, наприклад, групові технічні умови.

Комплект конструкторської документації, що супроводжує проект технічного комплексу наведено на рисунку 3.2.

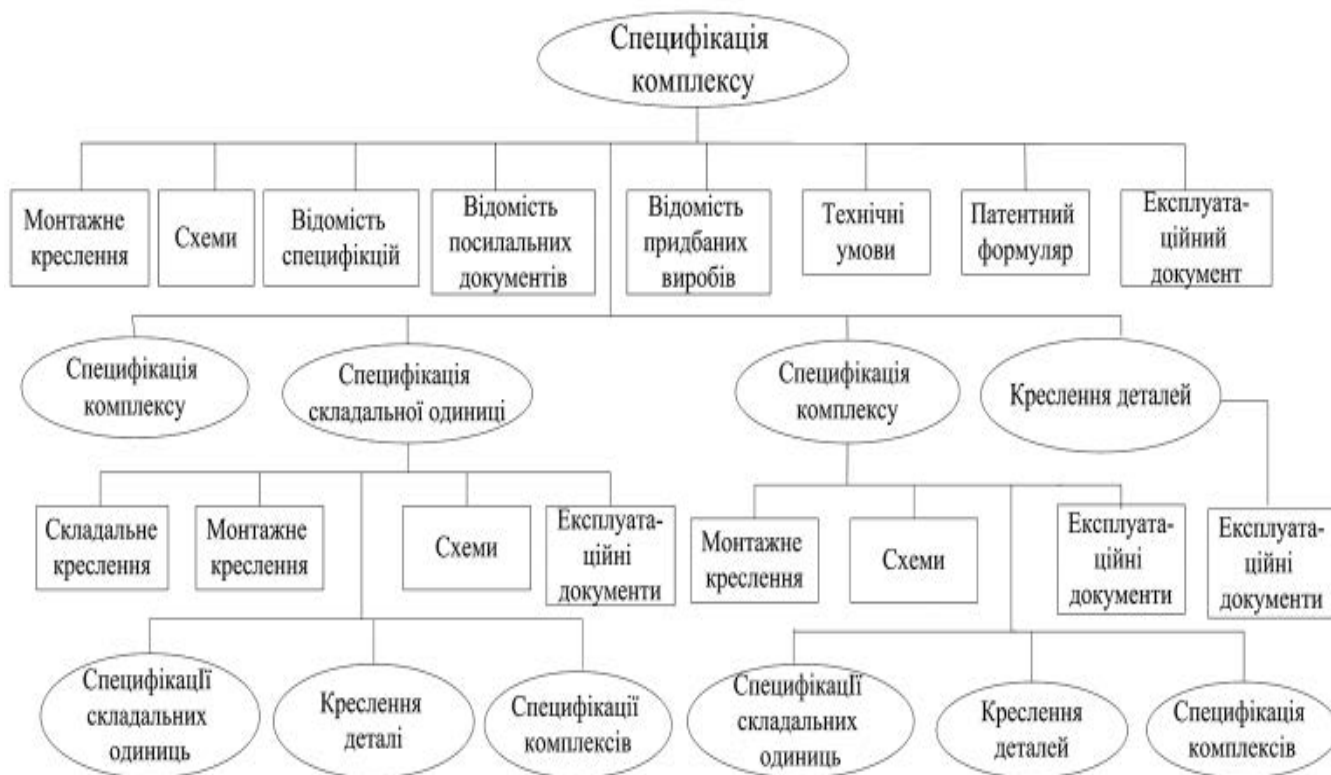


Рисунок 3.2 – Схема комплексу конструкторських документів комплексу

На рисунку 3.2. в овалі наведено основні конструкторські документи виробу, а документи основного комплексу наведено в прямокутниках

Комплектність експлуатаційних документів. Номенклатуру експлуатаційних документів визначено стандартом ДСТУ-ГОСТ 2.601-2006 ЕСКД. До переліку документів цієї групи віднесено:

- Технічний опис (ТО);
- Інструкцію з експлуатації (ІЕ);
- Інструкції з технічного обслуговування (ІО);
- Інструкцію з монтажу, пуску, регулюванню і обкатки виробу на місці його

застосування (ІМ);

- Формуляр (ФО);
- Паспорт (ПС);
- Етикетку (ЕТ);
- Відомості ЗІП (запасних інструментів та пристроїв – ЗІП);
- Навчально-технічні плакати;
- Відомість експлуатаційних документів (ЕД).

Експлуатаційні документи складають на вироби, монтаж (установлення), використання, технічне обслуговування яких, а також транспортування і зберігання або застосування в інших виробках може бути забезпечено тільки за наявності відомостей щодо складу, конструкції, технічних параметрів, дії цих виробів і спеціальних вказівок щодо експлуатації.

Експлуатаційні документи потрібно складати і на групи виробів, розташованих на одному об'єкті (у одному або кількох приміщеннях) і призначених для виконання будь-яких функцій, визначених для об'єкту.

На вироби, для яких обсяг відомостей та вказівок незначний і їх доцільно розмістити (маркувати) на самому виробі, експлуатаційні документи не складають.

Експлуатаційні документи розробляють, як правило, на виріб в цілому, незалежно від наявності експлуатаційних документів на його складові частини.

Експлуатаційні документи на складові частини виробу пропонують розробляти тільки в технічно обґрунтованих випадках. У такому разі в експлуатаційних документах на виріб не повторюють зміст документів на його складові частини, а дають на них посилання.

Подібні відступи необхідно узгоджувати із замовником документації або із замовником виробу і документації на нього.

Комплект експлуатаційних документів узгоджують із замовником.

Для зручності користування відомості, необхідні для експлуатації виробу, може бути оформлено як один документ з назвою «Керівництво з експлуатації» (шифр КЕ).

Деякі експлуатаційні документи може бути об'єднано, а саме:

а) інструкцію з експлуатації з технічним описом. Такий документ випускають з назвою «Технічний опис і інструкція з експлуатації» (шифр – ТО);

б) інструкцію з експлуатації і технічний опис з паспортом. Такий документ випускають з назвою «Паспорт» (шифр – ПС);

в) інструкцію з експлуатації і технічного обслуговування з інструкцією з монтажу, пуску, регулювання і обкатки виробу на місці його застосування. Такий документ має назву «Інструкція з експлуатації» (шифр – ІЕ).

У об'єднаних документах необхідно наводити дані, що має бути наведено в кожному із об'єднаних документів окремо.

ТЕМА №4

ПОРЯДОК ПОПЕРЕДНЬОГО КОНСТРУЮВАННЯ ОСНОВНИХ ВУЗЛІВ ЕЛЕКТРОННОГО ПРИЛАДУ

4.1 Вивчення та аналіз технічного завдання і вихідних даних на конструювання

Вимоги, які висувають до конструкції електронного приладу визначаються її призначенням, областю застосування, умовами експлуатації, типом виробництва. Вимоги зводять в технічне завдання (ТЗ) на розробку, яке складають на основі вимог нормативно-технічної документації (НТД – держаних, республіканських, галузевих стандартів, стандартів підприємств, технічних вимог, керуючі технічні документи), вимоги замовника, вивчення потреб зовнішнього і внутрішнього ринку, аналізу кращих вітчизняних та зарубіжних аналогів, наукового прогнозування. ТЗ є вихідним документом для розробки БМА. Та технічної документації на неї. Відповідно до стандарту, ТЗ включає в себе такі розділи:

- «Найменування та область застосування»;
- «Підстава для розробки та її джерела»;
- «Мета та призначення розробки»;
- «Технічні вимоги»;
- «Економічні показники»;
- «Етапи розробки»;
- «Порядок контролю і прийомки, додатки».

У розділі «Найменування та область застосування» вказують найменування виробу, і дають коротку характеристику області його застосування. У розділі «Підстава для розробки та її джерела» вказують найменування документу, на підставі якого проводять розробку та організації, яка затвердила цей документ (у випадку курсового або дипломного проектування – завдання на проектування, видане кафедрою) Слід відмітити, що ТЗ на конструкторську розробку, повинно містити схему електричну принципову виробу Тут же наводять НТД та інші джерела (каталоги продукції, яку випускає промисловість, технічні умови, інструкції по експлуатації аналогів, технічну літературу), які використовуються при складанні ТЗ. Розділ «Технічні вимоги» містить вимоги до виробу.

Розробка технічних вимог передуює розробці ТЗ. Технічні вимоги (ТВ) на розробку РЕА визначають показники призначення (потужність, чутливість, роздільну здатність тощо), а також містять вимоги до конструкції: найменування, кількість і призначення основних частин; габаритні, установочні і приєднувальні розміри; вимоги щодо взаємозамінності частин, уніфікації, типізації, стандартизації та наступності. Крім того, у ТВ входять вимоги з охорони навколишнього середовища, завадо-захисності, складу запасного майна, безпеки праці, ергономіки та естетики, умов експлуатації (виду об'єкта установки, рівням кліматичних, механічних, радіаційних та біологічних впливів, порядку обслуговування, кваліфікації

обслуговуючого персоналу тощо).

Виконавець на підставі ТВ розробляє технічне завдання ТЗ, в якому містяться економічні, виробничі та інші вимоги, визначається порядок розробки і приймання виробу. Субпідрядник вирішує для виконавця приватні питання: розробку і поставку нових матеріалів, елементів, вузлів, технологічних процесів, методів вимірювань або проводить випробування, відпрацювання на відповідність вимогам ергономіки 'тощо

Початковий етап конструкторської розробки - конструкторський аналіз вихідних даних, під час якого необхідно конкретизувати і сформулювати на основі виробленого аналізу додаткові вимоги до конструкції, потім виділити з електричної схеми радіоелектронні функціональні вузли, які повинні бути реалізовані у вигляді модулів нижчих рівнів - радіоелектронних комірок.

Конструкторський аналіз вихідних даних складається з наступних етапів:

- аналіз вимог ТЗ;
- з'ясування принципу роботи блоку, виконання аналізу схеми електричної принципової;
- аналіз елементної бази;
- аналіз конструкцій аналогічного призначення.

Аналіз вимог ТЗ необхідний для з'ясування конструктивних особливостей майбутнього виробу, які впливають з умов його експлуатації, обсягу виробництва та інших факторів.

При аналізі ТЗ необхідно встановити:

- призначення блоку;
- місце установки та умови експлуатації;
- способи зчленування розроблювального блоку з об'єктом установки;
- вимоги, що пред'являються до габаритів, форми, маси блоку;
- вимоги, що пред'являються до захисту від кліматичних впливів;
- методи захисту від механічних впливів;
- вимоги, пропоновані до забезпечення технологічності конструкції розроблюваного пристрою;
- вимоги до надійності;
- вимоги до забезпечення ремонтпридатності;
- вимоги ергономіки і технічної естетики;
- вимоги техніки безпеки;
- економічні вимоги;
- інші вимоги, що враховують особливості і специфіку розроблювального електронного пристрою.

Аналіз схеми електричної принципової доцільно проводити на рівні функціональної схеми. Для початку необхідно провести аналіз елементної бази. Завдання аналізу елементної бази полягає в тому, щоб встановити, чи відповідає вона заданим умовам експлуатації чи ні і, в разі невідповідності, застосувати конструктивні методи забезпечення її працездатності для заданих умов. З цією метою необхідно зіставити її експлуатаційні характеристики з тими даними, які

характеризують умови роботи розроблюваного виробу по ТЗ.

Елементна база зазвичай задана конструктору і міститься в переліку елементів схеми електричних з'єднань (ЕЗ) БМА. Елементна база включає: дискретні елементи, моточні вироби (трансформатори, лінії затримки, дроселі, котушки індуктивності), напівпровідникові прилади, інтегральні схеми, вироби електроприводу і автоматики, комутаційні вироби, мікропроцесорні комплекти, контрольно-вимірювальні прилади, волоконно-оптичні кабелі зі з'єднувачами тощо.

При аналізі доцільно встановити також схемну надійність елементної бази з урахуванням потоку раптових відмов. Експлуатаційні характеристики елементів наведені в паспортах на них.

За інтенсивністю відмов вираховується середнє напрацювання на відмову у відповідності з виразом

$$T_c = \frac{1}{\sum \lambda_i n_i K_{Hi}}, \quad (4.1)$$

де n_i – кількість елементів даного типу;

K_{Hi} – коефіцієнт навантажень для заданих умов експлуатації.

Якщо елементна база обрана вірно, то величина повинна бути приблизно на порядок вища, ніж середній час напрацювання на відмову, заданий по ТЗ, оскільки оцінка носить наближений характер через неврахування реального режиму роботи конструйованого блоку.

Проведення аналізу конструкцій аналогічного призначення передбачає огляд конструкторських аналогів, під якими слід розуміти вироби, що мають те ж функціональне призначення, що і конструйований блок. За аналоги можуть бути взяті конструкції окремих вузлів – модулів.

За своїми характеристиками вироби, обрані за аналоги, повинні відповідати кращим вітчизняним або зарубіжним зразкам продукції випуску не раніше трирічної давності. Якість розроблювальної конструкції виробу на наступних етапах конструювання оцінюватиметься шляхом зіставлення його параметрів з відповідними показниками аналогів, зокрема, з даними одного з аналогів, прийнятого за базову конструкцію.

Відповідно до цього, вивчаючи аналоги, треба визначити їх показники призначення, у тому числі компоновальні характеристики, показники надійності, а також показники технологічності.

Вивчення конструкторських аналогів необхідно також для забезпечення конструктивної наступності, під якою розуміють виявлення прогресивних технічних рішень і використання їх у розроблюваній конструкції. Крім цього, ознайомлення з конструкціями аналогів сприяє створенню зримого образу майбутньої конструкції РЕА.

Слід врахувати, що, виконуючи аналіз конструктивних аналогів, необхідно вивчати і описувати конструктивні рішення, а не схеми ЕЗ аналогічних пристроїв. У тексті повинні бути приведені ескізи (фото, малюнки) досліджуваних аналогів. За результатами виконаного аналізу повинні бути сформульовані конкретні рекомендації щодо застосування типових конструктивних і технологічних рішень у розроблюваному виробі.

При отриманні технічного завдання на конструювання нового пристрою конструктор перш за все шукає у завданні якомога повне і строге формулювання тієї кінцевої мети, яка перед ним ставиться.

Якщо конструктор підключається до роботи колективу над складним проектом для вирішення приватного завдання, притому підключається не з початкового, а з проміжного етапу, то це обмежує його обізнаність у відношенні проекту в цілому. Отже, йому нелегко встановити правильність постановки мети в завданні.

Якщо створюваний пристрій є частиною більш загальної технічної системи, то кінцева мета, яка ставиться перед конструктором в завданні, повинна бути сформульована на основі знання місця і ролі пристрою в системі. В цьому випадку цільове призначення пристрою визначається цільовим призначенням системи, що може зменшити завжди існуючу небезпеку підміни кінцевої мети.

Першочергове завдання конструктора – переконатися в тому, що кінцева мета сформульована правильно, що не відбулося її підміни яким-небудь приватним конкретизованим рішенням. Розробник технічного завдання може або помилково ототожнювати таке рішення кінцевою метою, або необґрунтовано рахувати його найкращим. У обох випадках воно може декларуватися в завданні, як обов'язкове. Нерідко з факту такої підміни витікає і помилковий вибір проміжних цілей. Необхідність критичного підходу до формулювання мети є однією з особливостей інженерних, в частковості конструкторських завдань, на відміну від строго поставлених учбових завдань математичного характеру з однозначно заданими умовами. Початківець конструктор повинен розуміти цю особливість, бути готовим до неї.

Спочатку необхідно усвідомити загальний принцип роботи блоку. З цією метою аналіз доцільно проводити на рівні функціональної схеми.

Слід пам'ятати про одне з основних завдань аналізу схеми, яке полягає в тому, щоб вже на даній стадії з'ясувати, які з функціональних вузлів схеми будуть у подальшому об'єднані в модулі, що реалізуються на друкованих платах (модулі першого рівня).

При аналізі електричної схеми необхідно:

- 1) встановити характер зв'язків між елементами схеми з метою подальшої їх реалізації;
- 2) з'ясувати робочі частоти радіоелектронних функціональних вузлів;
- 3) визначити величини споживаної і розсіюваною потужності в блоці;
- 4) визначити каскади, елементи і ланцюги, чутливі до завад, а також власні джерела завад, зробити висновки про необхідність застосування екранів та

екранування проводів;

5) усвідомити, які є органи управління, індикації та контролю роботи блоку і де вони повинні бути розташовані;

б) визначити найбільш теплонавантажені елементи;

7) визначити найбільш важкі елементи і елементи, що вимагають спеціального кріплення;

8) виділити кола, що знаходяться під високою напругою відносно корпусу блока, зробити висновок про необхідність вжиття заходів для захисту лікаря та пацієнта;

9) визначити, якими елементами зовнішнього зв'язку блок з'єднується з іншими пристроями: через гніздо, з'єднувач, коаксіальний з'єднувач 'тощо;

10) усвідомити можливість застосування мікрозборок;

11) встановити можливість використання уніфікованих і стандартних вузлів. За аналоги можуть бути взяті конструкції окремих вузлів - модулів.

При аналізі конструкцій аналогічного призначення доцільно висвітлити такі питання:

1) сумісність з об'єктом установки; тут необхідно з'ясувати, якими методами здійснюються встановлення та кріплення БМА на об'єкті, встановити, як здійснюється зв'язок ланцюгами живлення і сигнальним ланцюгах з іншими пристроями;

2) які органи управління індикації і регулювання виведені на лицьову панель; які з них винесені на інші панелі; які особливості установки і кріплення перерахованих органів;

3) чи забезпечує зовнішнє компонування зручність роботи оператора;

4) які методи і засоби композиційного рішення обрані для досягнення художнього сприйняття БМА;

5) які особливості несучої конструкції з точки зору зручності і швидкості доступу до внутрішніх вузлів БМА, тобто методи забезпечення ремонтпридатності;

б) які конструкційні матеріали використані в несучій конструкції корпусу, які способи виготовлення (наприклад, алюмінієвий сплав АЛ9, лиття під тиском з наступною механічною обробкою тощо);

7) чи застосовуються герметизація або ущільнення в корпусі; якими конструктивними методами забезпечується герметичність корпусу; якщо корпус не герметичний, встановити, чи є вентиляційні отвори; яка їхня форма, спосіб виготовлення;

8) якими методами забезпечується захист матеріалу корпусу від корозії;

9) які особливості компоновки РЕЗ (касетна, книжкова або розміщення окремих осередків з об'ємним і друкованим монтажем на загальному шасі тощо);

10) як виконана несуча конструкція, з яких матеріалів виготовлені її елементи і як вони з'єднуються;

11) яким способом з'єднані шасі з передньої і задньої панелями;

12) яким способом кріпляться функціональні вузли на несучих;

13) які клітинки виконані на друкованих платах; які виконані за допомогою навісного монтажу;

14) чи є в РЕЗ важкі елементи, де вони розміщені, як кріпляться;

15) чи є високовольні вузли і ланцюги; як кріпляться елементи, що знаходяться під високим потенціалом, на несучих;

16) яким способом кріпляться високовольні дроти на контактних елементах;

17) які заходи захисту оператора та елементів апаратури від високої напруги.

18) чи застосовується екранування функціональних вузлів; яких саме; з якого матеріалу виконаний екран.

При розробці додаткових вимог до конструкції блоку. слід враховувати нові методи конструювання, сучасні досягнення в технології виробництва БМА, діючі стандарти. Вимоги до конструкції доцільно систематизувати за групами:

1) експлуатаційні: габарити, форма, маса, якість виконання БМА основних функцій; умови обслуговування і ремонтпридатності, конструктивне оформлення, надійність;

2) конструктивно-технологічні: захист від зовнішніх механічних навантажень; захист від вологи, пилу і мікроорганізмів, захист від агресивного середовища, захист від електромагнітних полів і іонізуючої радіації, забезпечення наступності та технологічності конструкції, уніфікації л стандартизації;

3) технічної естетики та ергономіки: принцип розміщення органів управління, контролю та індикації на лицьовій і інших панелях блоку; засоби і методи композиції для забезпечення художньої виразності виробу, в тому числі колірної гами;

4) економічні: витрати на розробку і виробництво, витрати матеріалів, витрати часу;

5) інші вимоги, що враховують особливості конструйованого виробу.

ТЕМА №5

КОМПОНУВАННЯ ЕЛЕКТРОННИХ ПРИСТРОЇВ ТА СИСТЕМ

5.1 Основні вимоги до електронних пристроїв та систем

Етап конструювання – компоновання складного пристрою в найменшій мірі піддається логічному аналізу. Усі можливі комбінації розташування вузлів та деталей проектується в САПР, де можна оцінити всі переваги компоновки, перевірити електромагнітні впливи. Можна, однак, сформулювати декілька істотних для починаючого конструктора рекомендацій. Перш за все, що комбінації, які народжуються в голові конструктора, несуть на собі область його знань, спостережень, повсякденного і професійного досвіду. Тому в першу чергу виникають варіанти, пов'язані із найприйнятнішими, частіше конструктивними існуючими на даний момент рішеннями. Хід думок і дій конструктора при порівнянні і виборі варіантів може бути приблизно таким. «Цей вузол достатньо поширений, випробуваний і надійний. Вельми і вельми спокусливо застосувати його цілком, нічого не міняючи. Виготовлення пристрою відразу різко здешевиться. Подивимося, проте, як виник цей вузол, які функції він виконує в існуючих пристроях і які виконуватиме в тому, який створюється? Які вимоги пред'являлися до нього раніше? Які пред'являються тепер? Випишемо колишні і майбутні вимоги у вигляді двох списків. Порівняємо ці списки. Чи все тут виявлено? Чи немає чого-небудь завуальованого? Чи є в другому списку вимоги, яких немає в першому? Чи істотні ці нові вимоги? Як їх задовольнити? Чи є в першому списку вимоги, яких немає в другому? Як вплинула на конструкцію вузла наявність саме цих вимог? Чи став він важчим? Чи став він більшим по габаритах? Чи багато ми програємо по вазі, пристосувавши цей вузол для наших цілей? Чи не ускладниться схема компоновки із-за включення в неї вузла із заданою конфігурацією? Чи не вигідніше деякі функції вузла покласти на інші частини пристрою, а сам вузол, сильно спростивши його, все-таки зробити заново?»

5.2 Попереднє ескізне компоновання засобів електроніки

Ескізний проект – це вид конструкторської документації на виріб, який містить принципові конструктивні рішення і дає загальне уявлення про будову та принцип дії пристрою та дані, що визначають відповідність його призначенню.

Вибраний варіант підлягає детальній проробці для виявлення можливості найповнішого задоволення всіх поставлених вимог. На цій стадії розробляють всі електричні схеми з розбивкою на блоки та вузли, виготовляють окремі макети для відпрацювання електричних схем, в тому числі для визначення температурних режимів. Після узгодження та затвердження на технічній раді, ескізний проект є основою для наступної завершальної проектної стадії – технічного проекту, або, якщо це передбачене в ТЗ і не змінене в ході ескізного проектування, стає основою для робочого проектування.

Поєднання вибраних варіантів яких-небудь двох частин, узяті за основу, витримує перше випробування, якщо вдається на цій основі вдало підігнати один до одного решту всіх частин пристрою. Надалі остаточний варіант компоновки перевіряється більш повно, зокрема, на задоволення ряду вимог, що залишилися.

Необхідність розміщення ряду елементів саме в цій області диктується геометричним і фізичним сенсом. Труднощі розміщення всіх цих вузлів в межах критичної області стають першочерговими і концентрують на собі увагу конструктора.

На схемі (рис. 5.1) як передумови успішного виконання даної стадії компоновки фігурують такі чинники, як «відсутність критичних зон», «простота з'єднань основних частин» і «поєднання функцій». Під простотою з'єднань можна розуміти нечисленність сполучних деталей, їх технологічну простоту і малу вагу, а також забезпечення простоти збірки і розбирання основних частин, а також і інші чинники. У кожній конкретній конструкції той або інший чинник отримує більшу або меншу значущість.

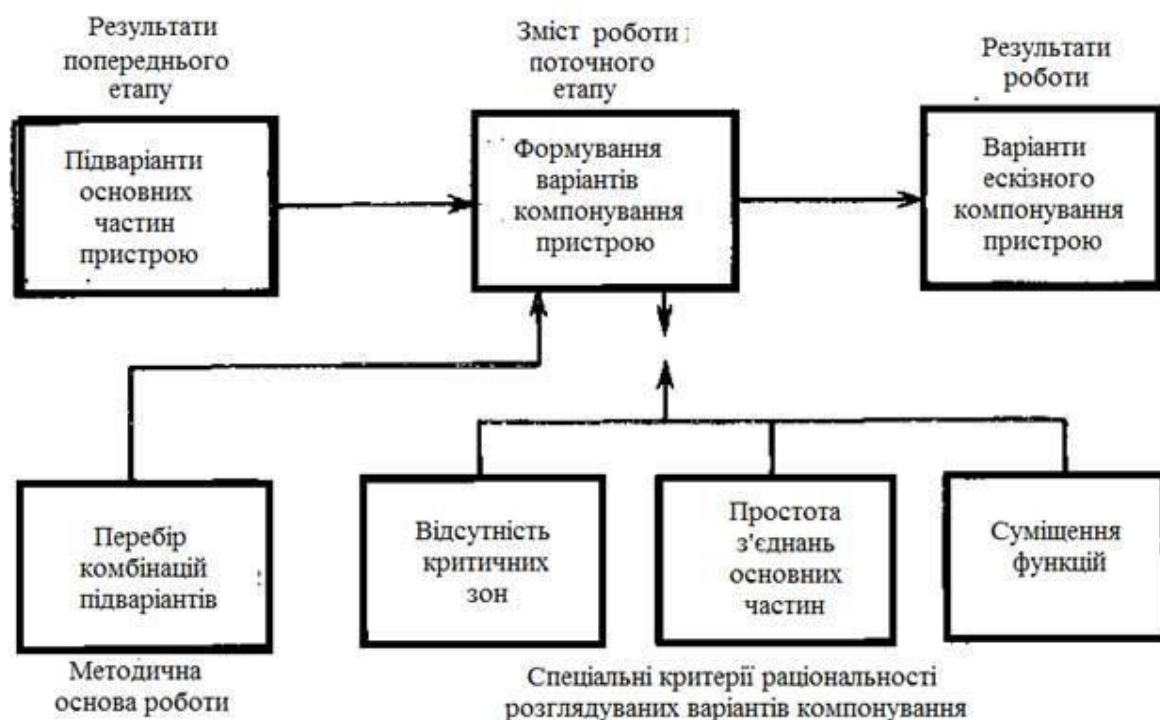


Рисунок 5.1 – Етап компоновки

Стосовно поєднання функцій, то при опрацюванні варіантів компоновки і переході від одних варіантів до інших, не слід забувати про прийнятий спочатку розподіл функцій між основними частинами.

Логічна послідовність компоновки, при якій конструктор спочатку розчленовує принципову схему на частини, а потім все-таки знаходить можливості до їх інтеграції, може вважатися характерною для випадків глибокого конструкторського опрацювання складних пристроїв. Для простих пристроїв з невеликим числом деталей попереднє розчленовування на відособлені частини в ході компоновки не завжди доцільне.

5.3 Визначення габаритних розмірів і маси конструктивних вузлів методами 3D моделювання

Сьогодні робота конструктора суттєво полегшилась, оскільки не потрібно проводити складних розрахунків і створювати моделі вручну для цього на озброєні сучасного конструктора є такі програми як Altium Designer, DesignSpark PCB, Solid Work тощо, які дозволяють не лише оцінити загальну компоновку майбутнього приладу а й оцінити фізичні навантаження на вузли, електромагнітну сумісність, сумісність по теплових режимах, охолодження зібраного пристрою.

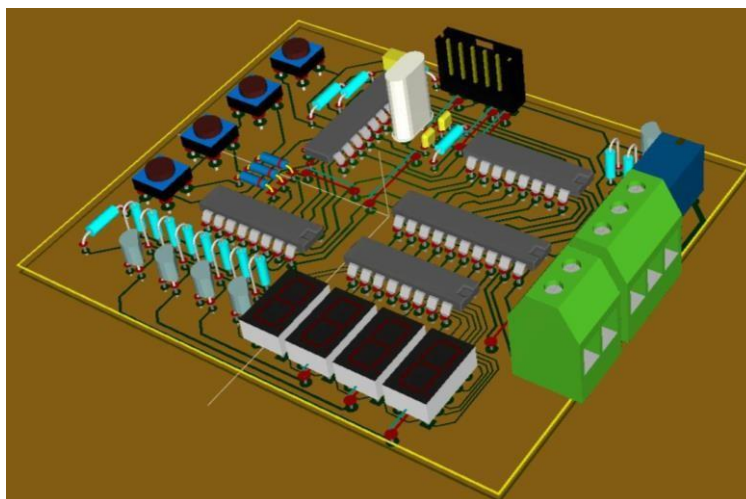


Рисунок 5.2 – Проектування монтажної плати

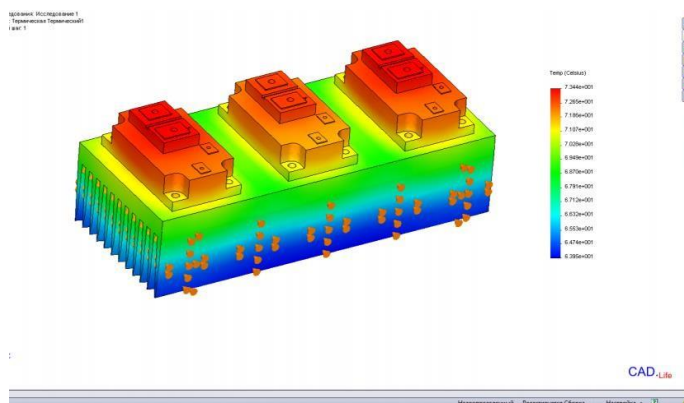


Рисунок 5.3 – Ілюстрація термопроцесів

5.4 Вибір форми блоку

Найбільш істотними факторами, що впливають на вибір форми блоку, є:

- місце установки та зручність з'єднання з об'єктом установки;
- вимоги лаконічності форми для максимального застосування уніфікованих і стандартизованих виробів, що характеризуються, у свою чергу, простими і чіткими обрисами поверхонь і ліній сполучення. З цієї причини більшість вимірювальних блоків, а також блоки, що вбудовуються в стійки, виконують у формі паралелепіпеда;
- характер та інтенсивність механічних навантажень, що діють на БМА в

процесі експлуатації;

- склад і форма конструктивних вузлів, з яких компонується БМА;
- вимоги ергономіки;
- традиційність форми БМА аналогічного призначення.

5.5 Внутрішнє компонування блоку

Внутрішнє компонування блоку можна виконувати методами графічної компонування, застосовувати САПР, використовувати окремі програмні модулі, розраховані на виконання компонування із застосуванням ЕОМ.

При використанні методу графічного компонування рекомендується дотримуватися наступних правил, що впливають із необхідності забезпечення електромагнітної, теплової, механічної сумісності, ремонтпридатності і технологічності:

1) намітити «вхід» і «вихід» блоку, відповідні вхідним і вихідним сигналам; при цьому «вхід» і «вихід» необхідно рознести на максимальну можливу відстань;

2) розміщення конструктивних комірок у блоці повинно бути таким, щоб шлях основного сигналу при проходженні від комірки до комірки якнайближче мав форму, що з'єднує «вхід» і «вихід» блоку. Розміщати комірки в блоці слід згідно з принципом максимальної зв'язності, що означає компактне розміщення найбільш зв'язаних електричних вузлів. Так, наприклад, поряд з «входом» розташувати модуль, найбільш пов'язаний з ним; потім розмістити вузол, максимально пов'язаний з попереднім, і т.д. до «виходу» блоку. Ідеальний випадок розташування конструктивних осередків – розташування їх «в лінійку», коли комірки розміщуються строго по прямій лінії від «входу» до «виходу»;

3) теплонавантажені комірки доцільно розміщувати якомога ближче до країв плати, на якій виконується компонування;

4) важкі конструктивні вузли, а також вузли, що вимагають спеціального кріплення, слід розташовувати ближче до зовнішнього периметру плати-основи;

5) конструктивні вузли, органи управління яких повинні знаходитися на лицьовій панелі, потрібно розміщувати якнайближче до місця їх встановлення;

6) виходячи з необхідності забезпечення електромагнітної і теплової сумісності, відстані між ймовірними «джерелами завад» і «приймачами завад», так само, як і відстані між теплонавантаженими і термочутливими вузлами, необхідно вибирати якомога більшими;

7) орієнтація комплектуючих вузлів повинна забезпечувати найкращі умови теплообміну;

8) центр ваги блоку потрібно, по можливості, розташовувати ближче до геометричного центру блоку (або до осі, що проходить через центр);

9) орієнтацію конструктивних вузлів необхідно вибирати з урахуванням можливих напрямів дії динамічних навантажень таким чином, щоб забезпечити мінімальні деформації і напруження в елементах конструкції та електро-

радіоелементах при дії зазначених навантажень;

10) при виконанні компоунування слід передбачити місце на платі для розміщення елементів для забезпечення теплового режиму, віброізоляції, герметизації, електромонтажу, кріплення;

11) при компоунуванні конструктивних вузлів необхідно забезпечити доступ до тих вузлів, які вимагають частої заміни або огляду. Це стосується, в першу чергу, кінематичних вузлів;

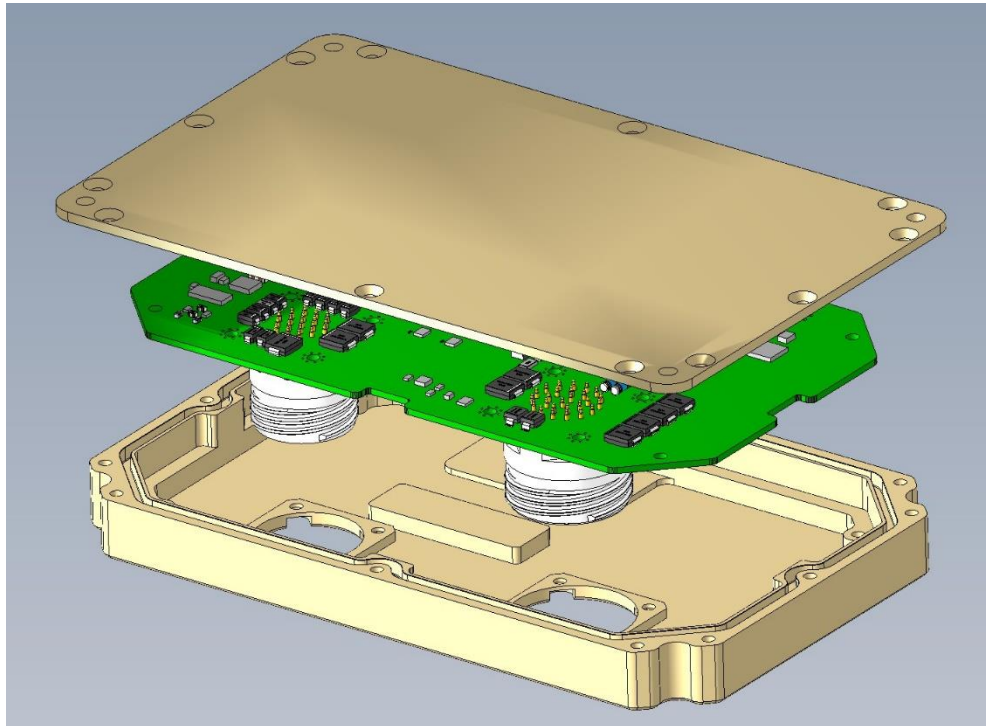


Рисунок 5.4 – Моделювання корпусу

12) мінімальні відстані між вузлами, які необхідно компоувати, слід вибирати з урахуванням можливості застосування автоматів для встановлення, кріплення та електромонтажу.

Варіанти компоунування представлені масштабно-компоувальним ескізом (рис. 4.6).

5.6 Забезпечення надійності на етапі компоунування

Розташування основних частин пристрою, яке було встановлене при компоунуванні, в подальшому вже не може піддаватися істотним змінам. Відповідно до цього і причини ненадійності пристрою, пов'язані з розташуванням частин, важко усунути.

Істотним недоліком компоунування є його «рихлість», нещільне заповнення деталями всього об'єму. Якщо навіть «рихлість» і не є безпосередньою причиною зниження надійності даного пристрою, то побічно вона може сприяти зниженню надійності тієї складної системи, в яку даний пристрій входить як складовий, оскільки надійність систем сильно залежить від об'ємів, наведених у технічному завданні.

Невиправдане збільшення габаритів одного з пристроїв даної системи може викликати необхідність появи надмірно жорстких габаритних обмежень для іншого пристрою.

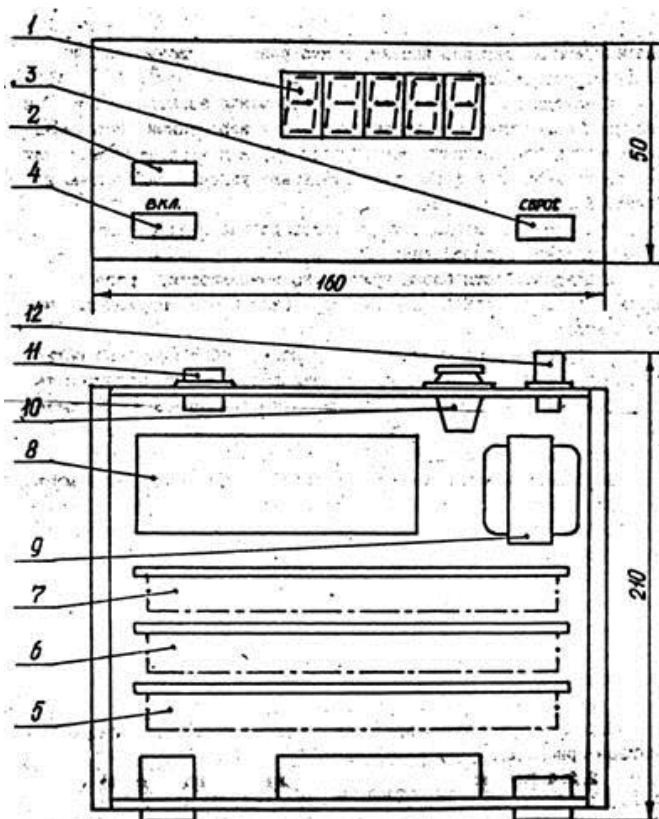


Рисунок 4.6. Ескіз блоку:

1 – цифрові індикатори; 2 – індикатор; 3 – кнопка «Скидання»; 4 – кнопка «Живлення»; 5 – модуль індикації; 6 – модуль підсилювача; 7 – модуль перетворювача; 8 – модуль живлення; 9 – трансформатор; 10 – запобіжник з тримачем; 11 – з'єднувач ХІ; 12 – з'єднувач живлення

«Рихлість» – дефект компонування, який найпростіше виявляється, і так чи інакше пов'язаний з надійністю. Але існують чинники, що викликають ненадійність, джерела яких хоча і пов'язані з розташуванням частин, проте криються глибоко і нелегко виявляються. Це впливає з того, що компонування пристрою створювалося на основі технічних вимог, які давали можливість абстрагуватися від повторного розгляду конкретних обставин, що породили ці вимоги. Наявність технічних вимог дозволяє конструктору створити систему опорних точок для компонування. Проте перевірка компонування по технічних вимогах не може служити перевіркою на надійність. Щоб здійснити таку перевірку, потрібно знов звернутися до аналізу взаємозв'язків пристрою з оточенням, але вже на іншій, уточненій основі.

Так само слід розглянути умови роботи передбачених компонуванням елементів, особливо чутливих до температурних дій, тобто елементів, що потребують обігріву, охолодження або стабілізації температурного режиму. Необхідно далі з'ясувати, до яких наслідків може призвести тимчасова відсутність обігріву, охолодження, стабілізації температури цих елементів за різних умов експлуатації і на

різних режимах.

Питання герметизації і зв'язок їх з надійністю також належать до тих питань, які повинні розглядатися на етапі компоновання. Поміщаючи апаратуру в герметичні кожухи, можна, здавалося б, якнайкращим способом захиститися від шкідливих зовнішніх дій, але при цьому не можна забувати про цілий ряд негативних чинників, спричинених герметизацією.

При тих або інших поєднаннях умов можуть мати місце наступні негативні чинники герметизації:

- 1) погіршення умов охолодження;
- 2) ускладнення захисту від шкідливих речовин, що виділяються усередині самої апаратури;
- 3) ускладнення і дорожчання конструкції;
- 4) збільшення ваги і габаритів;
- 5) труднощі герметизації виводів (наприклад, штепсельних роз'ємів).

Таким чином, рішення, що стосується герметизації, ухвалюється на етапі компоновання з урахуванням багатьох чинників. Яку б групу взаємозв'язків ми не розглянули, скрізь існують залежні від компоновання тонкощі, що впливають на надійність пристрою.

5.7 Місце встановлення пристрою

Повнота інформації про «місце» є надзвичайно важливою умовою успішного рішення задачі компоновання. Не біда, якщо з ряду причин конструктору не ставлять ніяких обмежень, пов'язаних з «місцем». Навпаки, він відчуває себе вільніше, а отже, може шукати оптимальніші рішення. Справа йде значно складніше, якщо дані про місце встановлення є важливими, але конструктор не має їх в своєму розпорядженні. Подібна ситуація може виникнути при створенні апаратури для ще не спроектованих об'єктів.

Недостатня інформація про місце встановлення вимагає уміння представити його собі узагальнено, а конструкції додати якості, що забезпечують можливість встановлення пристрою на будь-якому об'єкті. Іноді вдається забезпечити подібну пристосовність пристрою до різних об'єктів за рахунок невеликої кількості перехідних кріпильних деталей, що виконуються кожного разу по-новому. Як правило, чим більші габарити і вага пристрою порівняно з габаритами об'єкту, тим складніша «прив'язка» першого до другого, особливо якщо її розуміти не тільки чисто геометрично, але і ширше. У представленні компоувальника останнє повинне бути частиною об'єкту, що виконує деяку частку покладених на об'єкт функцій. При такому підході можна говорити, зокрема, і про «жорстку» прив'язку пристрою до об'єкту. Поширена помилка конструктора-початківця – надмірне збільшення жорсткості пристрою без урахування малої жорсткості об'єкту. Така неузгодженість веде іноді до погіршення характеристик комплексної жорсткісної моделі через зайве перевантаження пристрою.

ТЕМА 6

ОСНОВНІ АСПЕКТИ КОНСТРУЮВАННЯ ДРУКОВАНИХ ПЛАТ

В усіх сучасних пристроях, що здійснюють фіксацію, індикацію, передавання, приймання інформації, керування різноманітними об'єктами тощо використовують електричні схеми, реалізовані із застосуванням радіоелектронних компонентів. Друковані плати у більшості електронних пристроїв є основним конструктивним елементом, на якому розміщено електронні компоненти, що забезпечують функціонування цього пристрою.

Друкована плата (англ. printed circuit board, PCB, або printed wiring board, PWB) – пластина з діелектрика, на поверхні або в об'ємі якої сформовано електропровідні лінії зв'язку електронної схеми. Друковану плату призначено для електричного і механічного з'єднання різних електронних компонентів. Відповідні контактні виводи електронних компонентів з'єднують на друкованій платі з елементами провідного рисунка зазвичай паянням.

Технологія друкованих плат за час існування зазнала значного розвитку, що обумовлено зміною масогабаритних характеристик електронних компонентів, розширенням функціональних можливостей окремих електронних компонентів, появою нових конструкційних матеріалів, розширенням сфер застосування електронних засобів. На сьогодні в електронних пристроях і, зокрема, в апаратурі реєстрації інформації, застосовують друковані плати, виготовлені за різними технологіями, що суттєво відрізняються параметрами та характеристиками. Для успішного конструювання АРІ необхідно знати конструктивні параметри активних та пасивних компонентів, що використовують для монтажу на друкованих платах, сучасні технології проектування друкованих плат, особливості конструктивних матеріалів та технології, які використовують для виготовлення друкованих плат.

6.1 Загальна характеристика друкованих плат

Про друковану плату говорять у вузькому та широкому розумінні. У вузькому розумінні – друкована плата є основою для складання функціонального електронного вузла і її вважають окремою деталлю. Друкована плата містить цілу низку окремих конструктивних елементів. У широкому розумінні друкована плата – це друкований вузол, який виготовлено шляхом монтажу навісних електронних компонентів на друкованій платі (деталі).

Терміни та визначення основних понять, що стосуються друкованих плат, встановлено ДСТУ 2646-94. Розглянемо основні з них:

- друкований монтаж – спосіб монтажу, згідно з яким сполучення елементів електричного пристрою зроблено за допомогою друкованих провідників;
- друкована плата – основа, на якій сформовано провідниковий рисунок, контактні площинки та необхідні отвори;
- рисунок друкованої плати – зображення провідникового та (або)

діелектричного матеріалів, отримане на друкованій платі із застосуванням певного технологічного циклу;

– провідниковий рисунок – рисунок друкованої плати, утворений провідниковим матеріалом;

– основа (друкованої плати) – діелектричний матеріал, на поверхні (рис. 6.1) або в об'ємі якого зроблено провідниковий рисунок;

– однобічна друкована плата – друкована плата з провідниковим рисунком лише на одному боці;

– товщина (друкованої плати) – товщина матеріалу основи друкованої плати, разом з товщиною провідникового рисунку;

– друкований провідник – одна провідникова смужка, що з'єднує контактні місця схеми на провідниковому рисунку;

– ширина друкованого провідника – поперечний розмір друкованого провідника на платі або кресленні;

– контактна площинка – частина провідникового рисунку, з яким з'єднують контакт електронного компонента;

– металізований отвір – отвір у друкованій платі з осадженим на стінках провідниковим матеріалом;

– координатна сітка – сітка ліній, що визначає положення елементів рисунку друкованої плати у прямокутній або полярній системі координат;

– вузол координатної сітки – точка перетину ліній координатної сітки;

– крок координатної сітки – відстань між сусідніми лініями координатної сітки у лінійних або кутових одиницях.

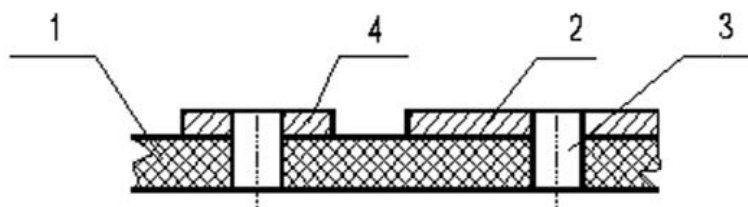


Рисунок 6.1 – Фрагмент перерізу однобічної друкованої плати з основними елементами конструкції: 1 – основа плати; 2 – провідник; 3 – монтажний отвір; 4 – контактна площинка

У процесі проектування друкованої плати важливе значення мають такі додаткові елементи конструкції:

– монтажний отвір – металізований або не металізований отвір, призначений для монтажу виводів навісних елементів;

– кріпильний отвір – отвір, призначений для кріплення ДП або навісних елементів до ДП;

– перехідний отвір – наскрізний отвір в одному або кількох шарах діелектрика основи друкованої плати, що забезпечує гальванічне з'єднання провідників, розташованих в різних провідникових шарах;

- навісні елементи – електро- та радіокомпоненти (ЕРК), які встановлено на ДП і мають електричний контакт з друкованими провідниками;
 - сторона монтажу друкованої плати – це та сторона, на якій встановлюють навісні елементи;
 - вільні місця – ділянки поверхні друкованої плати, що залишились вільними після прокладання провідників та розміщення ЕРК;
 - вузькі місця – ділянки поверхні ДП, де ширина провідників, відстані між ними і контактними площинками менше рекомендованих (аж до мінімально допустимих).
- Застосування друкованого монтажу в радіоапаратурі підвищує її надійність і забезпечує повторюваність експлуатаційних параметрів однакових виробів, сприяє механізації і автоматизації виробничих процесів.

6.2 Характеристика процесу проектування і конструювання друкованих плат

Проектування і конструювання ДП необхідно розглядати як процес, в основу якого покладено проект принципової схеми. У процесі проектування і конструювання можна виділити такі етапи:

- конструктивно-технологічне визначення основних параметрів ДП;
- компонування;
- топологічне проектування;
- виготовлення комплексу документації.

Визначення основних параметрів стосується типу і розмірів ДП, її усередненого ступеня складності, вибору способу топологічного проектування, методів виготовлення оригіналу рисунка ДП, процесів монтажу навісних елементів на друкованих платах безпосередньо і в панелі.

Етап компонування складається з визначення розмірів ДП з урахуванням отворів і пазів уздовж зовнішнього контуру, вибір конструктивних матеріалів, товщини шарів міді, захисних покриттів, маркування та методів нанесення шарів для багатошарової ДП. Компонування рисунка ДП пов'язане з визначенням розмірів провідників і зазорів між ними, розміщенням елементів рисунка ДП.

Топологічне проектування складається з розміщення навісних елементів, прокладання провідників (трасування) і перевірки результатів проектування.

Крім електричних і механічних вимог, специфічних для електронної апаратури, під час здійснення проектних та конструкторських робіт необхідно звертати увагу на:

- економічність проектування;
- можливість забезпечити необхідну точність у процесі виготовлення оригіналу рисунка ДП;
- застосування обов'язкових нормалей на конструювання;
- вартість виготовлення і подальшого застосування ДП;
- випробування ДП і функціональних вузлів;
- ремонтпридатність.

Зазначені параметри є найбільш важливими, якщо необхідно визначити розміри функціонального блоку або пристрою, спираючись на оптимально спроектовані ДП.

У разі створення універсальних типових конструкцій ДП сучасні комп'ютерні засоби проектування дають змогу конструкторам швидко та якісно розробити кілька варіантів ДП різних розмірів.

Проектування і конструювання слід здійснювати комплексно, аналізуючи на кожному етапі усі параметри, що впливають на конструкцію та технологічні процеси. Для цього необхідно, щоб розробники і конструктори ДП мали достатні знання у сфері топологічного проектування, технології виготовлення оригіналу і фотошаблону.

У процесі конструювання важливе місце посідає конструювання типових ДП. За результатами аналізу типу виробу і розміру серії його виробництва, числа різних типів ДП в одному приладі і загальних витрат на проектування, а також функціональних та конструктивних вимог, необхідно встановити, чи можна використовувати типові ДП. Типові ДП – це плати, призначені для установалення і монтажу навісних елементів або для електричного з'єднання функціональних вузлів (об'єднувальні панелі), для яких передбачено максимально можливу кількість однакових конструктивних деталей, з яких завдяки альтернативній конфігурації провідників можна формувати усі вузли, блоки, прилади або системи приладів. Однаковими конструктивними характеристиками типових ДП є, наприклад:

- габаритні розміри;
- конструкція і розміщення навісних елементів;
- забезпечення контактних з'єднань навісних елементів;
- елементи рисунка ДП;
- процес монтажу функціональних вузлів;
- базові і монтажні отвори;
- навантаження на контакт;
- формування шарів друкованої плати;
- шари для електромагнітного екранування.

Типові ДП застосовують в електронних системах оброблення інформації, пристроях управління і регулювання, в системах обчислювальної техніки та інших численних електронних приладах. Їх впровадження дозволяє отримати суттєву економію:

- під час конструювання й виготовлення приладів – внаслідок використання однотипних складальних одиниць та деталей;
- на етапі топологічного проектування – завдяки економічному застосуванню машинних методів проектування;
- на етапі конструювання – внаслідок одноразового виготовлення та застосування уніфікованої конструкторської та технологічної документації;
- у процесі виготовлення оригіналу рисунка ДП – внаслідок можливості застосувати економічні методи;
- на етапах виготовлення та випробування ДП – внаслідок менших витрат на

технологічну оснастку та випробування обладнання;

- у процесі виготовлення і випробування функціональних вузлів;
- під час технічного обслуговування приладів.

На відміну від типових ДП нетипові плати застосовують головним чином у побутовій електронній апаратурі, електронних приладах невеликих габаритів, для яких передбачено великі обсяги виробництва, вкрай мініатюрних пристроях, у разі приєднання елементів управління і особливих елементів (на-приклад, реле, двигунів) до друкованої плати, у разі формування на їх основі спеціальних функціональних вузлів.

Ступінь складності друкованої плати значною мірою впливає на вартість ДП. Більш високий ступінь складності ДП обумовлює необхідність використання більш дорогого обладнання, а також більших виробничих витрат, що призводить до зростання вартості виробів в цілому.

Друковані плати можуть містити різну кількість площин, в яких сформовано друковані провідники. Залежно від числа провідникових шарів плати бувають:

- однобічні друковані плати (ОБДП);
- двобічні друковані плати (ДБДП);
- без металізації отворів;
- з металізацією отворів;
- багат шарові друковані плати (БШДП).

Залежно від загальної складності електричної схеми і якісних вимог розробник має визначити кількість шарів друкованої плати. Для сучасних цифрових електронних функціональних вузлів з високими тактовими частотами застосовують багат шарові друковані плати (щонайменше чотиришарові). У таких платах один внутрішній провідниковий шар є спільною шиною, а другий внутрішній шар є шаром провідників напруг електроживлення. Така конструкція плати забезпечує малий рівень електромагнітної емісії (наведення, або індукції у ближній зоні та випромінювання – у дальній) і малі значення перехресних завад між сигнальними лініями.

Вартість однобічних плат складає 10...20% від вартості двобічних плат, що робить їх цілком конкурентними, особливо у сфері побутової електроніки. Приклад однобічної друкованої плати наведено на рисунку 6.2.

Типові геометричні параметри ОБДП:

- максимальні розміри заготовки – 400 мм x 330 мм;
- мінімальний діаметр отвору – 0,6 мм;
- мінімальна ширина провідника – 0,15 мм;
- мінімальний проміжок між доріжками – 0,15 мм;
- товщина фольги – 36 мкм;
- товщина плати – 0,4...1,6 мм.

Відносно нескладні електронні схеми реалізують на однобічній платі з використанням дешевих фольгованих матеріалів, але часто необхідно застосовувати багато перемичок, що робить ці плати схожими на двобічні плати. Перемичка – це

з'єднання між друкованими провідниками, реалізоване із застосуванням додаткового провідника в ізоляційній оболонці. Такий спосіб виготовлення друкованої плати може бути рекомендовано тільки для низькочастотних схем (робочі частоти менше 1МГц).

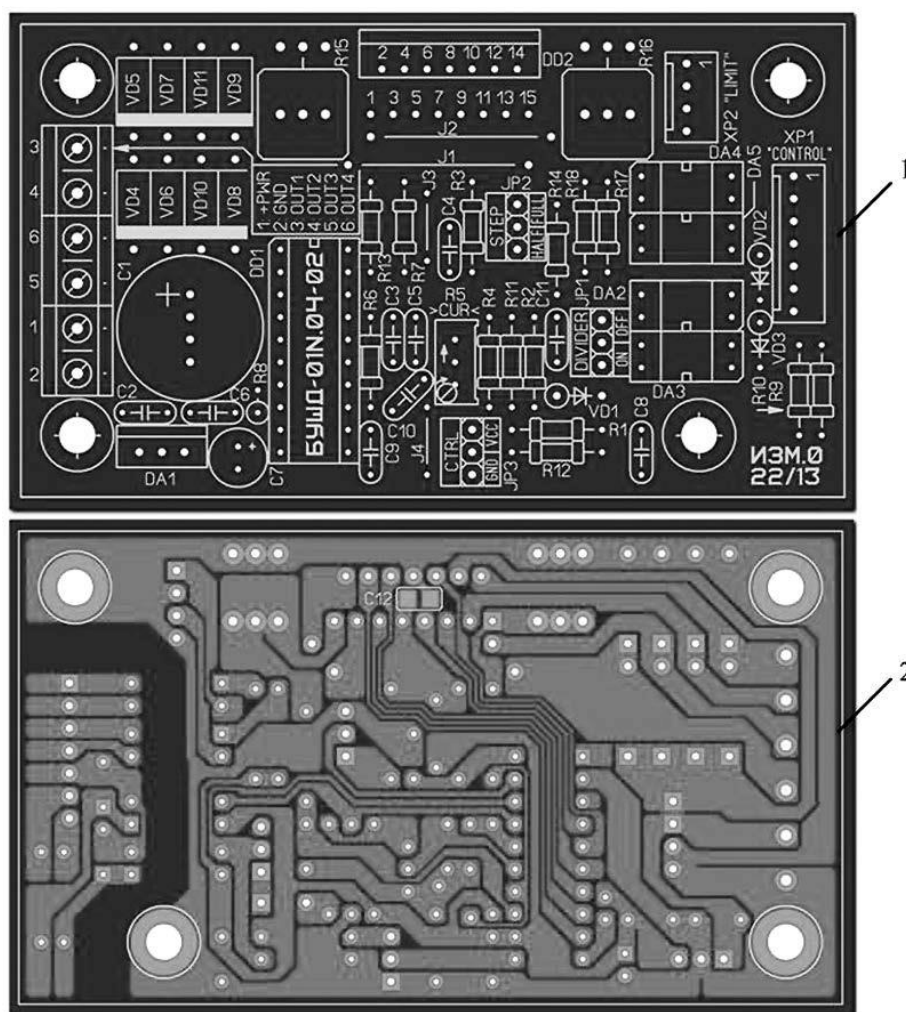


Рисунок 6.2 – Зовнішній вигляд однобічної друкованої плати:

1 – сторона монтажу, 2 – сторона паяння

Двобічна друкована плата має кращі порівняно з однобічними платами показники. Сигнальні лінії та лінії електроживлення на таких платах прокладають з обох боків. Двобічні друковані плати забезпечують реалізацію більш складних порівняно з однобічними платами функціональних вузлів, електричні схеми яких характеризуються великою кількістю міжелементних зв'язків.

Двобічні плати складають значну частку загального світового обсягу виробництва друкованих плат. Таку увагу розробників до цього виду плат можна пояснити своєрідним компромісом між їх відносно малою вартістю і достатньо високими можливостями. Приклад двобічної друкованої плати наведено на рисунку 6.3.

Технологічний процес виготовлення двобічних та однобічних плат складається з багатьох однакових операцій. Ці операції більш узагальнено можна вважати як складові процесу виготовлення багатошарових друкованих плат.

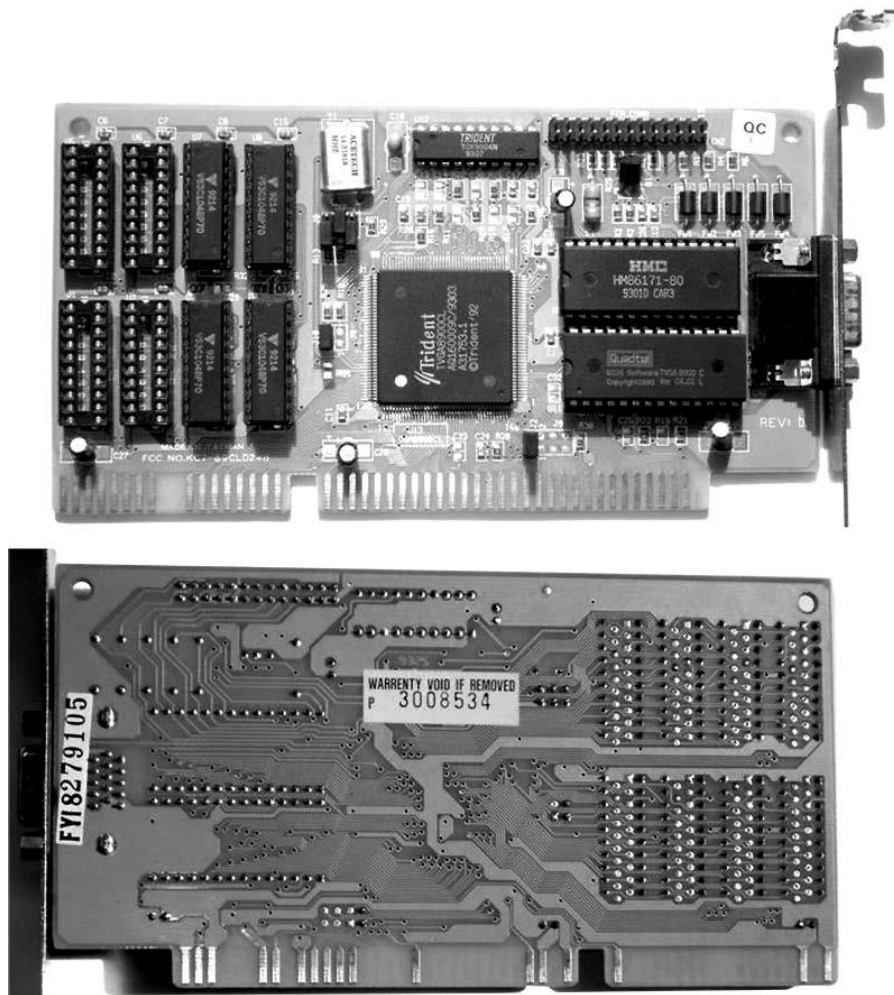


Рисунок 6.3 – Зовнішній вигляд друкованої функціональної плати з використанням двобічної друкованої плати

Для більшості двобічних плат проектні норми «провідник/проміжок» складають 0,25/0,25 мм (плати з такою нормою становлять 40% від загального обсягу виробництва), 0,2/0,2 мм (18%) і 0,15/0,15 мм (18%). Гнучкість технологічних вимог дозволяє використовувати таку плату для виготовлення широкого кола сучасних виробів. Монтаж електрорадіокомпонентів (ЕРК) на таких платах можна здійснювати установленням контактних виводів у монтажні отвори або із застосуванням технології поверхневого монтажу.

Типові параметри двобічних плат:

- максимальні розміри заготовки – 300 мм х 250 мм, в окремих випадках 500 мм х 500 мм або навіть більше;
- мінімальний діаметр отвору – 0,4...0,6 мм;
- мінімальна ширина провідника – 0,15 мм;
- мінімальний проміжок між провідниками – 0,15 мм;
- товщина фольги – 18..36 мкм;
- товщина плати – 0,4...2,0 мм.

Двобічна друкована плата, не завжди може задовольнити вимогам стосовно рівня електромагнітного випромінювання та стійкості до зовнішніх завад особливо

для малосигнальних та високочастотних схем.

Друковані плати рекомендовано робити прямокутної форми. Конфігурацію плат, відмінну від прямокутної, слід використовувати тільки за необхідності.

Максимальний розмір сторони друкованої плати, як одношарової, так і багатошарової, не повинен перевищувати 500 мм. Це обмеження визначається вимогами міцності і щільності монтажу. За щільністю розміщення друкованого монтажу плати поділяють на два класи: клас А – плати з нормальною щільністю монтажу і клас Б – плати зі збільшеною щільністю монтажу. Щільність монтажу визначають на підставі мінімальної ширини провідників і відстані між ними. Ці параметри однакові і залежать від методу виготовлення: 0,5...0,8 мм – для плат класу А і 0,2...0,4 мм – для плат класу Б.

Для уніфікації і зручності процесу виробництва рекомендовано дотримуватись певного співвідношення сторін друкованих плат: 1:1; 1:2; 2:3; 2:5.

Можливе застосування плат більших габаритів і з іншим співвідношенням сторін у технічно обґрунтованих випадках, за узгодженням з відділом головного технолога підприємства-виробника друкованих плат.

Плати всіх розмірів рекомендують робити з щільністю монтажу, відповідно класу А.

Щільність монтажу, відповідну класу Б, слід використовувати на малогабаритних платах (до 120x180 мм).

У технічно обґрунтованих випадках припустимим є застосовувати щільність монтажу класу Б для середньогабаритних плат (до 200 мм x 240 мм).

Великогабаритні плати (до 240 мм x 360 мм) слід робити тільки за класом А. Рекомендовано конструювати плати завтовшки 0,8; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0 мм. Можливо використовувати проміжну до зазначених вище товщину.

Рекомендовано такі граничні відхилення товщини плати:

$\pm 0,15$ мм – у разі товщини до 1 мм, разом з граничним значенням;

$\pm 0,20$ мм – у разі товщини плати від 1 до 2 мм, разом з граничним значенням;

$\pm 0,30$ мм – у разі товщини плати від 2 до 3 мм, разом з граничним значенням.

Значення відхилень може бути змінено за узгодженням з відділом головного технолога підприємства-розробника друкованих плат.

Точність виготовлення друкованих плат залежить від комплексу технологічних характеристик і з практичних міркувань визначає основні параметри елементів друкованої плати. У першу чергу це стосується мінімальної ширини провідників, мінімального проміжку між елементами провідникового рисунка і низки інших параметрів.

У міждержавному стандарті, що на тепер є чинним в Україні, передбачено п'ять класів точності друкованих плат, і в конструкторській документації на друковану плату має бути вказано відповідний клас, що обумовлює певний необхідний рівень технологічного оснащення виробництва, таблиця 6.2. Тому, вибір класу точності завжди пов'язаний з конкретним виробництвом. Спроба вирішити це завдання у зворотному порядку може призвести до того, що проект не буде реалізовано.

Таблиця 6.2– Основні конструктивні параметри плат різних класів точності

Умовне позначення	Номінальне значення основних параметрів для класу точності				
	1	2	3	4	5
t, мм	0,75	0,45	0,25	0,15	0,1
S, мм	0,75	0,45	0,25	0,15	0,1
b, мм	0,3	0,2	0,1	0,05	0,025
f	0,4	0,4	0,33	0,25	0,2

У таблиці застосовано такі позначення:

t – ширина друкованого провідника;

S – відстань між краями сусідніх елементів провідникового рисунка;

b – ширина гарантійної смужки;

f – відношення номінального значення діаметра найменшого з металізованих отворів до товщини друкованої плати.

Зображення елементів друкованої плати наведено на рис. 4.7.

Друковані плати 3-го класу точності – найбільш поширені, оскільки, з од- ного боку, забезпечують досить високу щільність трасування і монтажу, а з іншого – для їх виробництва потрібне звичайне, хоча і спеціалізоване, облад- нання.

Друковані плати 4-го класу точності виготовляють на високоточному обладнанні, але вимоги до матеріалів, устаткування і приміщень нижче, ніж для п'ятого класу.

Виготовлення друкованих плат 5-го класу точності вимагає застосування унікального високоточного обладнання, спеціальних (звичай, дорогих) матеріалів, безусадкової фотоплівки і навіть створення у виробничих приміщеннях «чистої зони» із забезпеченням постійного теплового режиму. У той же час друковані плати п'ятого класу невеликого розміру можна виготовити на обладнанні, яке забезпечує виготовлення плат четвертого класу. Комплексно вирішити усі зазначені проблеми можна тільки на спеціалізованому виробництві.

Виготовлення друкованих плат 2-го і 1-го класів здійснюють на звичайному обладнанні, а іноді навіть на обладнанні, не призначеному для виготовлення друкованих плат. Такі друковані плати з невисокими конструктивними параметрами призначено для недорогих пристроїв з малою щільністю монтажу. До цього класу належать друковані плати аматорського і макетного рівня, часто одиничного або дрібносерійного виробництва.

6.3 Вимоги до конструктивних елементів друкованих плат

Товщину друкованої плати слід вибирати з урахуванням методу виготовлення, на підставі механічних вимог, які визначено для конструкції друкованого вузла. Товщину плати забезпечують:

– для одно- і двосторонніх плат підбором матеріалу за відповідними технічними умовами і стандартами;

– для багатошарових друкованих плат – підбором товщини матеріалів друкованих шарів і товщини клейових прокладок. Сумарну товщину клейових прокладок рекомендовано робити не менше подвійної товщини провідників, розташованих на внутрішніх прошарках.

Центри монтажних і перехідних отворів треба розташовувати у вузлах координатної сітки.

Центри отворів під виводи багатоконтактних навісних елементів, виводи яких не підлягають додатковому формуванню і не кратні кроку координатної сітки, розташовувати за такими правилами:

– якщо в конструкції навісного елемента є два або більше виводів, відстані між якими кратні кроку координатної сітки, то центри отворів під ці виводи обов'язково розташовувати у вузлах сітки, а центри отворів для решти виводів розташовувати згідно кресленню на даний елемент;

– якщо в конструкції елемента немає виводів, відстані між якими кратні кроку координатної сітки, то у вузлі сітки розташовувати центр одного з отворів, прийнятого за основний, а центр одного з решти отворів розташовувати на вертикальній або горизонтальній лінії координатної сітки.

Розташування, розміри і конфігурацію кріпильних і інших конструктивних отворів, наприклад, під корпуси навісних елементів, слід вибирати залежно від вимог конструкції. Центри кріпильних отворів рекомендовано розташовувати у вузлах координатної сітки. Як виняток, у разі компоновки складних електронних вузлів, за умови наявності спеціальних вимог, допускають розміщення окремих отворів під виводи навісних елементів не у вузлах координатної сітки.

Застосування різних діаметрів отворів в одній друкованій платі слід обмежувати. Не рекомендують застосовувати більше трьох різних діаметрів монтажних і перехідних отворів.

Діаметри монтажних і перехідних отворів слід вибирати згідно таких рекомендацій:

– не металізовані отвори – залежно від діаметрів виводів навісних елементів, що встановлюють у ці отвори;

– металізовані отвори – залежно від діаметрів виводів навісних елементів і товщини плати, в якій роблять отвори. У технічно обґрунтованих випадках можливе застосування отворів інших діаметрів.

Допуски на оброблення отворів:

+0,10 мм – для отворів діаметром до 0,8 мм;

+0,12 мм – для отворів діаметром від 1,0 мм;

+0,20 мм – для зенкування металізованих отворів усіх діаметрів. Відстань між центрами отворів на друкованих платах необхідно витримувати з допуском $\pm 0,2$ мм, за винятком відстаней між центрами взаємозв'язаних отворів під виводи навісних елементів з великою кількістю виводів, а також спеціальних отворів в окремих шарах

плат, що виготовляють методом «виводів назовні», допуски для яких слід обумовлювати окремо.

Для багатошарових і складних плат класу Б рекомендують використовувати допуск $\pm 0,1$ мм.

Отвори на платі слід розташовувати так, щоб відстань між краями отворів (без урахування зенкування) була не менше товщина плати.

Для металізованих отворів на одно- і двобічних платах, а також отворів на зовнішніх шарах багатошарової плати, необхідно передбачати контактні площинки. На внутрішніх шарах (за їх наявності) контактні площинки мають бути для тих отворів, які пов'язані з ними електрично.

Допускають наявність контактних площинок на внутрішніх шарах навколо металізованих отворів, електрично не пов'язаних з цими шарами.

Металізовані отвори всіх видів, а також не металізовані монтажні отвори слід розташовувати в зоні контактної площинки.

Контактні площинки можуть мати довільну форму і бути сформованими у вільну від провідників сторону. Контактні площинки рекомендовано робити прямокутною або близької до неї форми.

На одно- і двобічних платах і на всіх шарах багатошарових плат слід витримувати відстань між краєм провідника, контактної площинки, екрану і краєм плати, а також краєм не металізованого отвору, паза, вирізу тощо, що дорівнює товщині плати, з урахуванням допуску на габарит плати.

Друковані провідники треба робити однакової ширини по всій довжині. Для проходження вузького місця допускають звуження провідника до мінімально допустимих значень його ширини. Довжина такої ділянки має бути мінімальною. У разі прокладання провідника шириною 0,3...0,4 мм великої довжини рекомендовано через 25...30 мм передбачати перехідні отвори або місцеве розширення провідника на кшталт контактної площинки, розмірами не менше 1x1 мм або з іншим співвідношенням сторін, але зі збереженням площі розширеного фрагмента. Ці додаткові елементи призначено для більш надійного кріплення провідникової доріжки до поверхні діелектричної основи.

Перетин провідників усувають переходом на іншу сторону плати за допомогою монтажного або перехідного отвору. Для плат з насиченим монтажем можливе застосування як металізованих, так і не металізованих отворів-перемичок, які слід з'єднувати за тими ж правилами, що і навісні елементи.

Провідники завширшки понад 5 мм рекомендовано робити згідно правил формування екранів. Екрани як зовнішніх, так і внутрішніх шарів слід робити з вирізами. Екрани без вирізів допускають тільки на зовнішніх шарах за узгодженням з відділом головного технолога підприємства-виробника. Вирізи в екранах можуть бути як шпарини прямокутної форми, форми овалу, круга або «сітки». Форму вирізів визначає конструктор і зазначає на кресленні. Зазначена структура екранів забезпечує рівномірний розподіл тепла по поверхні плати під час нанесення технологічних покриттів та монтажу електронних компонентів паянням.

6.4 Розрахункові співвідношення для елементів друкованих плат

У процесі розроблення друкованих плат необхідно робити перевірочні розрахунки стосовно можливості прокладання провідників на заданій відстані l_{\min} (відстань між центрами доріжок), визначення мінімальних значень діаметра контактної площинки та визначення повної товщини БШДП. На рисунку 6.7 наведено параметри елементів друкованої плати, які враховують у процесі геометричних конструктивних розрахунків.

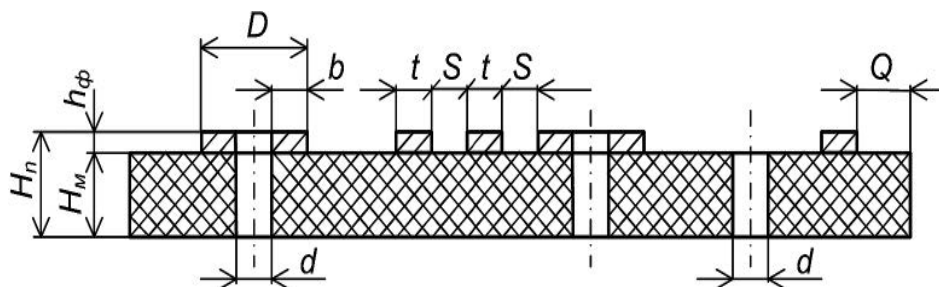


Рисунок 6.4 – Параметри елементів друкованої плати: H_n – загальна товщина друкованої плати, H_M – товщина основи друкованої плати, h_ϕ – товщина фольги, b – гарантійна смужка, D – діаметр контактної площинки, d – діаметр отвору, S – ширина проміжку між сусідніми елементами провідникового рисунка, t – ширина друкованого провідника, Q – відстань від зовнішньої межі плати, вирізу або пазу до елемента провідного рисунку

Найменший номінальний розмір контактної площинки розраховують за формулою

$$D = (d + \Delta d_{\text{в.о.}}) + 2 \cdot b + \Delta t_{\text{в.о.}} + 2 \cdot \Delta d_{\text{пр}} + (T_d^2 + T_D^2 + \Delta t_{\text{п.о.}}^2), \quad (6.1)$$

де $\Delta d_{\text{в.о.}}$ – верхнє граничне відхилення діаметра отвору від номінального значення,

$\Delta t_{\text{в.о.}}$ – верхнє граничне відхилення діаметра контактної площинки від номінального значення,

$\Delta d_{\text{пр}}$ – величина підтравлювання діелектрика в отворі, що дорівнює 0,03 мм для ОБДП, а для ДБДП та БШДП та гнучких друкованих плат – нулю, $\Delta t_{\text{п.о.}}$ – нижнє граничне відхилення діаметра контактної площинки,

T_D – значення позиційного допуску розташування центрів контактних площинок, мм,

T_d – значення позиційного допуску розташування осей отворів, мм.

Найменшу номінальну ширину зони на поверхні провідникового шару 1 для прокладання кількох (n) друкованих провідників розраховують за формулою

$$l = \frac{D_1 + D_2}{2} + t \cdot n + S \cdot (n+1) + T_l \quad (6.2)$$

де $D1, D2$ – діаметри сусідніх контактних площинок,

n – кількість провідників,

T_1 – значення позиційного допуску друкованого провідника, мм.

Розрахункову товщину багатошарової друкованої плати рекомендовано оцінювати за формулою

$$H_n = \sum H_{ш} + (0,6 \div 0,9) \cdot \sum H_{пр}, \quad (6.3)$$

де $H_{ш}$ – товщина одного шару друкованої плати,

$H_{пр}$ – товщина одного шару прокладки між шарами.

6.5 Матеріали для виготовлення друкованих плат

Матеріали основи друкованих плат мають задовольняти різноманітним вимогам щодо їх електричних, хімічних та механічних властивостей. Для цифрових плат необхідно забезпечити можливість прокладати багаторозрядні сигнальні шини, для надвисокочастотних плат необхідно забезпечити малі втрати енергії під час поширення сигналів у межах друкованої плати, для елементів з великим виділенням тепла у процесі функціонування (наприклад, світлодіоди підвищеної яскравості) необхідно забезпечити інтенсивне тепло- відведення, для обладнання, що функціонує за умов підвищеної або пониженої температури, підвищеної вологості необхідно забезпечити надійність функціонування за впливу цих чинників. Найбільш поширеними матеріалами є склотекстоліти, гетинакси, фторопласти.

Склотекстоліт – шаруватий пластик. Це – шаруватий листовий матеріал, що складається з кількох шарів склотканини, склеєних між собою методом гарячого пресування, з додаванням термореактивних епоксифенольних сполук. Склотекстоліт листовий використовують як електроізоляційний матеріал у багатьох галузях промисловості. Склотекстоліт – екологічно чистий матеріал, характеризується високими діелектричними та механічними властивостями, тепло- та вологостійкістю, довговічністю.

Гетинакс – шаруватий пластик. Це – електроізоляційний шаруватий пресований матеріал, що має паперову основу, просочену фенольною або епоксидною смолою. В основному гетинакс використовують як основу заготовок друкованих плат. Матеріал має низьку механічну міцність, його легко обробляти і він є відносно дешевим. Гетинакс широко використовують для дешевого виготовлення плат низьковольтної побутової апаратури. У розігрітому стані цей матеріал можна ефективно штампувати, завдяки чому можна виготовити плату будь-якої форми разом з усіма отворами.

Текстоліт – електроізоляційний конструкційний матеріал, який застосовують для виробництва підшипників ковзання, шестерень та інших деталей, а також в електро- та радіотехніці. Текстоліт є шаруватим пластиком на основі тканини з волокон із полімерною сполучною речовиною (наприклад, бакеліту, поліефірної

смоли, епоксидної смоли). Текстоліт на основі склотканини називають склотекстолітом або склопластиком. Листовий склотекстоліт, вкритий мідною фольгою (СФ), є поширеним матеріалом для виготовлення заготовок друкованих плат.

Фторопласт. У радіоелектронній апаратурі, до якої висувають різноманітні й досить високі вимоги, часто застосовують фторопласт-4, що є продуктом полімеризації тетрафторетілену. Друковані плати з цього матеріалу мають винятково високі діелектричні, механічні, фізико-механічні властивості і характеризуються великою нагрівостійкістю (до $+300^{\circ}\text{C}$), морозостійкістю (-70°C), вологостійкістю і стійкістю до дії багатьох агресивних середовищ. До недоліків його слід віднести текучість на холоді під навантаженням понад 30 кг/см^2 , токсичність у разі нагрівання понад $300\dots 400^{\circ}\text{C}$ (за цієї температури виділяється фтор) і порівняно високу вартість.

Фольговані армовані фторопластові діелектрики (ФАФ). Листи фторопластові фольговані армовані ФАФ-4Д виготовляють шляхом пресування шарів склотканини і двостороннього облицювання з мідної гальваностійкої електролітичної фольги, завтовшки $0,035\text{ мм}$ або $0,05\text{ мм}$. Металізацію отворів в листах ФАФ-4Д роблять методом безпосередньої або хіміко-гальванічної металізації, під час якої заготовку витримують в розчині нафталін-натрію. Отвори для металізації можна отримати шляхом свердління або фрезерування, для чого використовують свердлильно-фрезерні верстати. Фольговані фторопластові діелектрики використовують для виготовлення основ високочастотних друкованих плат, а також для електричної ізоляції, призначеної для друкованих деталей приймально-передавальної апаратури.

Товщину листа фольгованого фторопластового діелектрика вимірюють разом з мідною фольгою на його поверхнях. Залежно від товщини листа ФАФ-4Д бувають трьох різновидів:

- від $0,1\text{ мм}$ до $0,2\text{ мм}$;
- від $0,25\text{ мм}$ до $1,0\text{ мм}$;
- від $1,5\text{ мм}$ до 5 мм .

Основними показниками якості фольгованого фторопластового діелектрика є стріла прогину і міцність зчеплення фольги. Показники стріли прогину безпосередньо залежать від товщини листа ФАФ-4Д, тоді як на міцність зчеплення фольги впливають умови експлуатації фольгованого фторопластового діелектрика:

- за нормальних умов цей показник $\geq 18\text{ Н/см}$;
- за умов температурного нагріву і нормальної вологості $\geq 15\text{ Н/см}$.

FR-4. Клас матеріалів під загальною назвою Fire Retardent – вогнетривкий) за класифікацією NEMA (National Electrical Manufacturers Association, USA), відомий у нас як «склотекстоліт» (СФ). Дані матеріали є найбільш поширеними для виробництва ДБДП, БШДП, а також ОБДП з підвищеними вимогами до механічної міцності. FR-4 є композитним матеріалом на основі склотканини. Зазвичай ці матеріали матового жовтуватого кольору або прозорі, звичний зелений колір їм надає паяльна маска, яку наносять на поверхню друкованої плати. Клас горючості UL94-V0. Залежно від властивостей і сфери застосування виокремлюють такі підкласи FR-

4:

- стандартний, з температурою оскління $T_g \sim 130^\circ\text{C}$, з ультрафіолетовим блокуванням (UV blocking) або без нього. Найбільш поширений і широко використовуваний тип, одночасно найменш дорогий з FR-4;
- з високою температурою оскління, $T_g \sim 170^\circ\text{C} \dots 180^\circ\text{C}$;
- сумісний з технологіями безсвинцевого лудіння і паяння;
- безгалогенний, сумісний з технологіями безсвинцевого лудіння і паяння;
- з нормованим трекінг-індексом, $\text{CTI} \geq 400$ та $\text{CTI} \geq 600$;
- високочастотний, з низькою відносною діелектричною проникністю $\epsilon \leq 3,9$ і малим тангенсом кута діелектричних втрат $\text{tg} \delta \leq 0,01$.

Температура оскління – температура, за якої у процесі охолодження полімер переходить з високоеластичного або в'язкотекучого у склоподібний стан. Зазвичай позначають T_g .

CTI (The Comparative Tracking Index) – напруга електричного пробою по поверхні матеріалу, виміряна для проміжку завширшки 3 мм.

UL94 – це стандарт, який застосовує міжнародна організація UL (лабораторія з техніки безпеки) для випробувань на займистість і протипожежну безпеку пластикових матеріалів, які використовують у пристроях і системах. Під час випробувань UL94HB (горизонтальне згоряння) досліджують згоряння горизонтально розташованого пластикового зразка, а в разі більш жорстких випробувань, UL94V (вертикальне згоряння) досліджують згоряння вертикального зразка. У специфікації стандарту UL94 наведено точні дані про обладнання, умови і випробувальні системи, які слід застосовувати.

SEM-3. Клас матеріалів SEM-3 за класифікацією NEMA. Композитний матеріал зі скловолоконно-епоксидною основою зазвичай молочно-білого кольору або прозорий. Широко застосовують у виробництві ДБДП з металізацією. За властивостями дуже близький до FR-4 і відрізняється, лише меншою механічною міцністю. Матеріал є дешевою альтернативою FR-4 для абсолютної більшості застосувань. Матеріал можна легко обробляти механічно (фрезерування, штампування). Клас горючості – UL94-V0. Залежно від властивостей і сфери застосування виокремлюють такі підкласи SEM-3:

- стандартний, з ультрафіолетовим блокуванням (UV blocking) або без нього;
- високотемпературний, сумісний з технологіями безсвинцевого лудіння і паяння;
- безгалогенний, без вмісту фосфору і сурми;
- з нормованим трекінг-індексом, $\text{CTI} \geq 600$.

SEM-1. Клас матеріалів SEM-1 за класифікацією NEMA. Ці композитні матеріали виготовляють на фенольно-паперовій основі з двома шарами склотканини зовні. Зазвичай молочно-білого або молочно-жовтого кольору. Не сумісні з процесом металізації отворів, тому їх використовують тільки для виробництва ОБДП. Діелектричні властивості близькі до FR-4, механічні властивості дещо гірші. SEM-1 є альтернативою FR-4 для виробництва одnobічних друкованих плат, коли ціна є

визначальним фактором. Матеріал можна легко обробляти механічно (фрезерування, штампування). Клас горючості – UL94-V0. Залежно від властивостей і сфери застосування виокремлюють такі підкласи СЕМ-1:

- стандартний;
- високотемпературний, сумісний з технологіями безсвинцевого лудіння і паяння;
- безгалогенний, без вмісту фосфору і сурми;
- з нормованим трекінг-індексом, $СТІ \geq 600$;
- вологостійкий, з підвищеною стабільністю розмірів.

FR-1/FR-2. Клас матеріалів FR-1 та FR-2 за класифікацією NEMA. Ці композитні матеріали виготовляють на фенольно-паперовій основі і використовуються тільки для виробництва ОБДП. FR-1 та FR-2 мають схожі характеристики. FR-1 відрізняється від FR-2 лише більш високою температурою оскління. Зважаючи на схожість характеристик і сфер застосування FR-1 та FR-2, більшість виробників матеріалів виробляють лише один з цих матеріалів, частіше FR-1. Матеріал можна легко обробляти механічно (фрезерування, штампування). Клас горючості – UL94-V0. Виокремлюють такі підкласи:

- стандартний;
- безгалогенний, без вмісту фосфору і сурми;
- токсичний;
- з нормованим трекінг-індексом, $СТІ \geq 400, \geq 600$;
- вологостійкий.

Параметри матеріалів основи друкованих плат

Значення допустимих робочих напруг між елементами провідникового рисунка, розташованими в сусідніх шарах друкованих плат для фольгованих гетинаксів та склотекстолітів, наведено в таблиці 6.2.

Таблиця 6.2 – Значення допустимих робочих напруг в сусідніх шарах

Відстань між елементами провідникового рисунка, мм	Значення робочої напруги, В	
	Фольгований гетинакс (ГФ)	Фольгований склотекстоліт (СФ)
Від 0,1 до 0,2	–	25
більше 0,2 до 0,3	–	50
більше 0,3 до 0,4	75	100
більше 0,4 до 0,5	150	200
більше 0,5 до 0,75	250	350
більше 0,75 до 1,5	350	500

Значення допустимих робочих напруг між елементам провідникового рисунка, розташованих на зовнішньому шарі друкованої плати, наведено в таблиці 6.3.

Таблиця 6.3 – Значення допустимих робочих напруг на зовнішньому шарі друкованої плати

Відстань між елементами провідникового рисунка, мм	Значення робочої напруги, В							
	Чинники зовнішнього впливу							
	Нормальні умови		Відносна вологість (93 ±3)% за температури (40±2)°С протягом 48 год.		Понижений атмосферний тиск			
					53600 Па (400 мм рт. Ст.)		666 Па (5 мм рт. Ст.)	
ГФ	СФ	ГФ	СФ	ГФ	СФ	ГФ	СФ	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Від 0,10 до 0,20	–	25	–	15	–	20	–	10
більше 0,20 до 0,30	30	50	20	30	25	40	20	30
більше 0,30 до 0,40	100	150	50	100	80	110	30	50
більше 0,40 до 0,70	150	300	100	200	110	160	58	80
більше 0,70 до 1,20	300	400	230	300	160	200	80	100
більше 1,20 до 2,00	400	600	300	360	200	300	100	130
більше 2,00 до 3,50	500	830	360	430	250	400	110	160
більше 3,50 до 5,00	660	1160	500	600	330	560	150	210
більше 5,00 до 7,50	1000	1500	660	830	500	660	200	250
більше 7,50 до 10,00	1300	2000	830	1160	560	1000	230	300
більше 10,00 до 15,00	1800	2300	1160	1600	660	1160	300	330

Значення опору друкованих провідників довжиною 1 м наведено в таблиці 6.4.

Допустиме струмове навантаження на елементи провідникового рисунка в залежності від допустимого перевищення температури провідника відносно температури навколишнього середовища вибирають для:

- фольги – від 100·106 до 250·106 А/м² (від 100 до 250 А/мм²);
- гальванічної міді – від 60·106 до 100·106 А/м² (від 60 до 100 А/мм²).

Таблиця 6.4 – Опір друкованих провідників залежно від розмірів їх перерізу

Товщина друкованого провідника, мкм		Значення опору, Ом (не більше)										
Без покриття	З покриттям	Ширина друкованого провідника, мм										
		0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	1,00
20	–	–	5,83	4,37	3,50	2,91	2,18	1,75	1,45	1,25	1,09	0,87
35	–	–	–	2,50	2,01	1,66	1,25	1,00	0,83	0,71	0,52	0,50
50	–	–	–	1,75	1,40	1,16	0,87	0,70	0,58	0,50	0,43	0,35
5	40	8,60	5,74	4,30	3,44	2,86	2,14	1,72	1,42	1,23	1,07	0,86
20	70	4,20	2,78	2,09	1,67	1,39	1,04	0,83	0,69	0,59	0,52	0,42
35	80	3,20	2,12	1,60	1,28	1,06	0,79	0,64	0,52	0,45	0,39	0,32
50	90	2,60	1,71	1,29	1,04	0,86	0,64	0,52	0,43	0,37	0,32	0,26
–	40	10,0	6,60	5,00	4,00	3,32	2,50	2,00	1,65	1,42	1,25	1,00

Температурні характеристики склотекстолітів та гетинаксів наведено в табл. 6.5 та 4.7 відповідно.

Вітчизняний фольгований гетинакс марок ГФ-1-35, ГФ-2-35, ГФ-1-50 та ГФ-2-50 розрахований на роботу за відносної вологості 45...76% і температури 15...35 С°, матеріал основи має коричневий колір.

Таблиця 6.5 – Параметри деяких типів фольгованого склотекстоліту

Тип матеріалу	Гранична експлуатаційна температура, °С до	Температура оскління, Tg °С
СФ-1-35Г, СФ-2-35Г, СФ-1-50Г, СФ-2-50Г, СФ-1Н-50Г, СФ-2Н-50Г, СФ-1-70Г, СФ-2-70Г	85	
СФН	100	
СТФ-1-35Г, СТФ-2-35Г	105	
СТНФ	110	
СОНФ-У	155	
СЕМ-3		130
FR-4		135...170
FR-5		160
ДФМ-59		270
СФВН		290

Таблиця 6.6 – Параметри деяких типів фольгованого гетинаксу

Тип матеріалу	Гранична експлуатаційна температура, °С до	Температура оскління, Tg °С
ГФ-1-35, ГФ-1-35Г, ГФ-2-35, ГФ-2-35Г, ГФ-1-50, ГФ-1-50Г, ГФ-2-50, ГФ-2-50Г	85	
FR-2		105
FR-3		110
FR-1		130
СЕМ-1		130

6.6 Матеріали фінішного покриття друкованих плат

Для збереження здатності друкованих плат до паяння після зберігання, забезпечення надійного монтажу електронних компонентів і збереження у процесі експлуатації властивостей паяних або зварних з'єднань необхідно захищати мідну поверхню контактних площинок друкованої плати спеціальним покриттям поверхні, так званім фінішним покриттям.

У виробництві друкованих плат застосовують різні фінішні покриття.

З'ясуємо характеристики та особливості застосування найбільш поширених.

Покриття HAL або HASL (від англійського Hot Air Leveling або Hot Air Solder Leveling – вирівнювання гарячим повітрям) з використанням припоїв на основі сплаву олово-свинець (Sn-Pb), наприклад, ПОС61, ПОС63, і вирівнювання поверхні повітряним ножом. Таке покриття, на даний момент найпоширеніше, є класичним, найбільш відомим і давно використовуваним. Забезпечує відмінну здатність до паяння друкованих плат навіть після тривалого зберігання. Покриття HAL технологічне і не дороге. Покриття є сумісним з усіма відомими методами монтажу і паяння – ручним, паянням хвилею, оплавленням в печі тощо. До негативних властивостей даного виду фінішного покриття можна віднести наявність свинцю – одного з найбільш токсичних металів, забороненого до використання на території Європейського Союзу директивою RoHS (Restriction of Hazardous Substances Directives – директива про заборону на використання небезпечних і токсичних речовин), а також те, що покриття HAL не задовольняє умовам площинності контактних площинок для монтажу мікросхем з дуже високим ступенем інтеграції. Покриття непридатне для технології монтажу кристалів зварюванням безпосередньо на плату (COB – Chip on board).

Покриття HAL безсвинцеве – варіант покриття HAL, але з використанням безсвинцевих припоїв, наприклад, Sn100; Sn96,5/Ag3,5; SnCuNi; SnAgNi. Покриття повністю задовольняє вимогам RoHS і має дуже хорошу здатність до зберігання та паяння. Це фінішне покриття наносять за вищої температури ніж HAL на основі ПОС, що обумовлює підвищені вимоги до базового матеріалу друкованої плати і електронних компонентів щодо термостійкості. Покриття сумісне з усіма способами монтажу і паяння як з використанням безсвинцевих припоїв, так і з використанням олов'яно-свинцевих припоїв, але вимагає уважного ставлення до температурного режиму паяння. У порівнянні з HAL на основі ПОС, дане покриття є більш дорогим за рахунок більшої вартості безсвинцевих припоїв, а також за рахунок більшої енергоємності.

Покриття Gold Flash – покриття групи Ni/Au. Товщина покриття: Ni – 3...7 мкм, Au – 0,05...0,2 мкм. Покриття наносять хімічним способом. Високотехнологічне покриття, що має хорошу здатність до зберігання та паяння. Забезпечує хорошу площинність друкованих площинок плати, що робить його незамінним у разі застосування мікросхем високого ступеня інтеграції. Покриття повністю задовольняє вимогам RoHS. Покриття сумісне з усіма способами монтажу і паяння, а також придатне для монтажу кристалів мікросхем зварюванням безпосередньо на плату (COB). Покриття Gold Flash має хороші властивості для паяння безсвинцевими припоями, оскільки запобігає виникненню крихкості паяних з'єднань, викликаному утворенням інтерметалідів олово-мідь. Утворення інтерметалідів не відбувається через те, що між мідною основою і припоєм знаходиться бар'єрний нікелевий шар.

Покриття Gold Fingers – покриття групи Ni/Au. Товщина покриття: Ni – 5...9 мкм, Au – 0,2...1,0 мкм. Покриття наносять електрохімічним осадженням (гальваніка). Використовують для нанесення на кінцеві контакти і ламелі (контактні

площинки ножових з'єднувачів). Має високу механічну міцність, стійкість до стирання та несприятливого впливу навколишнього середовища. Незамінне там, де важливо забезпечити надійний і довговічний електричний контакт.

Імерсійне олово – хімічне покриття, яке задовольняє вимогам RoHS та забезпечує хорошу площинність друкованих площинок плати. Технологічне покриття сумісне з усіма способами пайки. Імерсійне олово забезпечує хорошу здатність до паяння й після тривалого зберігання – гарантійний термін зберігання 1 рік (здатність до паяння зберігається до декількох років). Такі тривалі терміни здатності до паяння забезпечують завдяки використанню прошарку органометалу як бар'єру між міддю контактних площинок й безпосередньо оловом. Бар'єрний прошарок запобігає взаємній дифузії міді та олова, утворенню інтерметалідів і рекристалізації олова. Фінішне покриття імерсійним оловом з підшарком органометалу завтовшки 1 мкм має рівну, плоску поверхню, зберігає здатність до паяння і можливість здійснити кілька процедур повторного паяння навіть після тривалого зберігання, маючи технічні характеристики покриття, що повністю відповідають сучасним вимогами до друкованих плат.

Покриття OSP (від англійського Organic Solderability Preservatives) – група органічних фінішних покриттів, які наносять безпосередньо на мідь контактних площинок і забезпечують захист мідної поверхні від окислення в процесі зберігання і паяння. Дешеве фінішне покриття, забезпечує рівну, плоску поверхню, добре підходить для поверхневого монтажу і задовольняє вимогам RoHS. OSP – дешева альтернатива HAL. Має обмежений термін зберігання (місяці) і не може бути використане у режимі багатопрхідного паяння. Наприкінці пайки шар OSP, виконавши свою функцію, втрачає здатність забезпечувати подальші процеси паяння.

6.7 Вибір методу виготовлення друкованих плат

Вибір методу виготовлення плат необхідно здійснити під час ескізного конструювання апаратури, у процесі якого визначають основні габарити і типорозміри плат і потрібну для даного виробу щільність монтажу.

Метод виготовлення плат слід обирати на підставі вимог до електричних параметрів схеми виробу, кліматичних та механічних вимог до його конструкції і забезпечення необхідної надійності за різних умов експлуатації.

У процесі виготовлення виробів апаратури реєстрації інформації застосовують кілька методів виготовлення жорстких друкованих плат:

- комбінований (позитивний і негативний) для виготовлення двобічних і одnobічних друкованих плат за нормами класу Б, призначених для використання в найбільш відповідальній апаратурі;

- хімічний – для виготовлення одnobічних друкованих плат, призначених для застосування в апаратурі загального користування;

- метод з металізацією наскрізних отворів – для виготовлення багатошарових друкованих плат.

У технічно і економічно обґрунтованих випадках може бути застосовано інші

конструктивно-технологічні варіанти виготовлення багат шарових друкованих плат, наприклад: попарного пресування, відкритих контактних площинок, зовнішніх виводів, пошарового нарощування.

Під час конструювання друкованих плат часто використовують позначення наведені нижче:

a – відстань від краю плати, отвору, вирізу або «вікна» в платі до друкованого провідника (еквівалент величини Q на рисунку 6.7);

b – ширина контактної площинки у вузькому місці (гарантійний поясок);

C – сумарний коефіцієнт, що враховує зміну діаметрів отворів, контактних площинок, міжцентрової відстані і зсув шарів у процесі виготовлення плати тощо;

C_1 – розрахунковий коефіцієнт C , коли допуск на відхилення розмірів між центрами отворів становить 0,1 мм;

C_2 – розрахунковий коефіцієнт C , коли допуск на відхилення розмірів між центрами отворів становить 0,2 мм;

d – діаметр отвору; $d_{закл}$ – діаметр заклепки; $d_з$ – діаметр зенкування;

$d_в$ – діаметр виводу навісного елемента;

$d_к$ – діаметр контактної площинки; $F_к$ – площа контактної площинки; $F_{мет}$ – площа металізації;

K – сумарний коефіцієнт, що враховує зміну ширини провідника у процесі виготовлення плат;

l – відстань між центрами двох монтажних отворів;

l_{min} – відстань, необхідна для прокладання у вузькому місці між двома отворами або контактними площинками n провідників, що мають мінімально допустимі для даного методу виготовлення значення ширини і відстаней між ними, за умови обов'язкового врахування сумарних коефіцієнтів K і C ;

t – ширина провідника;

S – відстань між провідниками;

S_0 – відстань між контактними площинками або провідником і контактною площинкою.

6.8 Електричні характеристики друкованих плат

Залежно від технології виготовлення друкованих провідників, вони мають різні електричні властивості. У таблиці 6.7 наведено значення електричного опору друкованих провідників, виготовлених різними методами.

Опір друкованих провідників окремих шарів (наприклад, зовнішніх) може бути зменшено, за необхідності, гальванічним нарощуванням.

Густина струму в друкованому провіднику має не перевищувати 20 А/мм² для зовнішніх шарів і 15 А/мм² для внутрішніх шарів. Наприклад, для провідника завширшки 0,5 мм і товщини фольги 35 і 50 мкм максимально допустимі струми становитимуть:

– для зовнішніх шарів 0,35 і 0,50 А, відповідно;

– для внутрішніх шарів 0,26 і 0,37 А, відповідно.

Таблиця 6.7 – Значення опору друкованих провідників завдовжки 1 м

Метод виготовлення плати	Товщина провідника, мкм	Ширина провідника, мм							
		0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,5
		Опір, Ом							
Хімічний	50	1,16	0,87	0,70	0,58	0,50	0,44	0,35	0,20
Комбінований	80	0,83	0,62	0,50	0,41	0,35	0,31	0,25	0,17
	90	0,74	0,55	0,44	0,37	0,32	0,27	0,22	0,14
Металізація крізних отворів	35	1,66	1,25	1,00	0,92	0,71	0,62	0,50	0,33
	50	1,16	0,87	0,70	0,58	0,50	0,44	0,35	0,20
Попарне пресування	35	1,90	1,42	1,14	0,90	0,81	0,71	0,57	0,38
Відкриті контактні площадки	35	1,66	1,25	1,00	0,92	0,71	0,62	0,50	0,33
Метод зовнішніх виводів	70	0,72	0,54	0,43	0,36	0,31	0,27	0,21	0,14
Пошарове нарощування	35	2,01	1,80	1,50	1,31	1,00	0,80	0,60	0,40

Піл час конструювання друкованих плат для апаратури широкого вжитку можна розраховувати ширину провідників для густини струму 30 А/мм².

Крім обмеження густини струму у процесі конструювання елементів друкованої плати слід враховувати обмеження щодо різниці потенціалів між сусідніми провідними елементами. Провідники друкованих електронних вузлів завжди захищають захисним покриттям від впливу навколишнього середовища. Це покриття одночасно збільшує стійкість конструкції до електричного пробоя між провідниковими елементами зовнішніх шарів. У таблиці 6.8 наведено граничні значення різниці потенціалів між сусідніми провідниками плати в робочому режимі.

Таблиця 6.8 Допустима робоча напруга для плат, захищених лаком

Відстань між провідниками, мм	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,5	2,5
Напруга, В, не більше	50	75	100	125	150	175	200	250	300	400	500

Якщо між електричними колами друкованого вузла робоча напруга складає понад 250 В, тоді для реалізації таких вузлів не рекомендують використовувати багат шарові друковані плати.

Міжшарова ємність друкованих провідників багат шарових плат в порівнянні з одно- і двобічними платами має більше значення внаслідок зменшення товщини діелектричних прошарків до 0,1 мм. Крім того, в межах однієї БШДП внаслідок

застосування матеріалів з різною товщиною і діелектричною проникністю міжшарова ємність може бути різною між різними провідниковими площинами.

Для попередніх розрахунків міжшарової ємності з метою їх спрощення, величину діелектричної проникності для всіх матеріалів рекомендовано брати $\epsilon = 6$. Уточнені результати можна отримати лише під час безпосереднього вимірювання ємності відповідних зразків друкованих плат.

Особливості конструювання друкованих плат, які виготовляють хімічним методом

Суть методу полягає у виготовленні плат шляхом травлення фольгованого діелектрика без подальшої металізації. Елементи конструкції такої плати наведено на рисунку 6.5.

Монтажні отвори слід виконувати без зенкувань. Допускають зенкування монтажних отворів з боку розташування елементів, що мають виводи штиркового типу. Інші отвори можуть мати зенкування з двох боків.

Діаметр монтажних отворів, в які ставлять заклепки діаметром $d_{закл}$, слід вибирати з умови $d = d_{закл} + 0,1$ мм.

Контактну площадку можна зменшити з одного або з двох боків до величини b (ширина контактної площадки у вузькому місці), наведеної у таблиці 6.9.

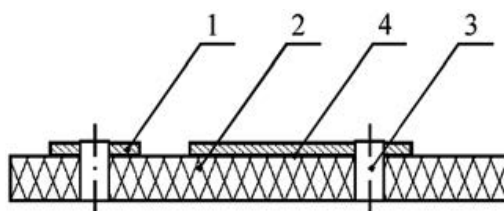


Рисунок 6.5 – Конструкція односторонньої друкованої плати:

1 – контактна площадка, 2 – діелектрична основа плати,
3 – монтажний отвір, 4 – провідник, що переходить в контактну площадку

У разі зменшення контактної площадки з однією або з двох сторін до 0,2 мм (плати класу А) площа частини контактної площадки, що залишилася, без урахування площі отвору повинна складати 2...4 мм² (і більше).

Таблиця 6.9 Ширина контактної площадки у вузькому місці, мм

Клас	t	S	K				b
			S0	C1	C2		
А	0,50	0,60	0,50	0,15	–	0,62	0,80
Б	0,30	0,30	0,30 (0,20)*	0,10	0,40	0,60	0,15

Розрахунок мінімальної відстані між монтажними отворами, між якими запроєктовано прокладання n провідникових доріжок для плат виготовлених хімічним способом слід здійснювати за формулами

$$l_A = \frac{d_1 + d_2}{2} + 1,25n + 1,42 \quad (6.4)$$

$$l_B = \frac{d_1 + d_2}{2} + 0,70n + 1,00 \quad (6.5)$$

Особливості конструювання плат, що виготовляють комбінованим методом. Суть комбінованого методу (позитивного або негативного) полягає в у травленні фольгованого діелектрика з подальшою металізацією отворів. Конструкцію такої плати наведено на рисунку 6.6.

Металізовані отвори роблять як із зенкуванням, так і без зенкування. За наявності зенкування отворів допускають:

- для позитивного методу – зменшення контактної площинки до зенкування з одного або з обох боків;
- для негативного методу – зменшення контактної площинки до 0,15 мм, відраховуючи від краю зенкування.

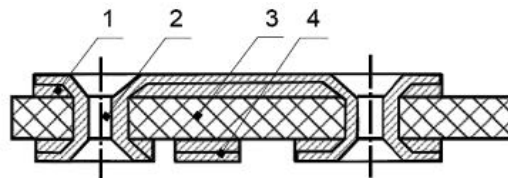


Рисунок 6.6 – Конструкція друкованої плати виготовленої комбінованим методом: 1 – контактна площинка, яка переходить у провідник; 2 – металізований отвір; 3 – основа плати; 4 – провідник

За відсутності зенкування для позитивного і негативного методів можливе зменшення контактної площинки до величин b .

Отвори без зенкування слід робити за узгодженням з відділом головного технолога підприємства виробника. Параметри елементів плати наведено в табл. 6.10.

Перевірочний розрахунок укладання провідників для комбінованого методу слід робити за наведеними нижче формулами.

Таблиця 6.10 – Геометричні параметри елементів друкованої плати для комбінованого методу, мм,

Клас	t	S	S0	K	C1	C2	b
А	0,60	0,60	0,50	0,20	–	0,70 (0,60)*	0,30
Б	0,30	0,40	0,30	0,10	0,40	0,70 (0,60)*	0,15

$$l_A = \frac{d_1 + d_2}{2} + 1,4n + 1,7 \quad (4.6)$$

$$l_B = \frac{d_1 + d_2}{2} + 0,8n + 1,0 \quad (4.7)$$

ТЕМА 7

ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУЮВАННЯ БАГАТОШАРОВИХ ДРУКОВАНИХ ПЛАТ

7.1 Улаштування конструкцій багатошарових друкованих плат

Для багатьох сучасних пристроїв лише багатошарова друкована плата (БШДП) може задовольнити високі вимоги до конструкції. Багатошарові друковані плати складають дві третини світового виробництва друкованих плат в ціновому численні, хоча кількісно поступаються одно- і двобічним платам.

Конструктивно БШДП значно складніші за двосторонні плати. Вони містять додаткові екранні шари (спільна шина і живлення), а також можуть містити кілька внутрішніх сигнальних шарів. На рисунку 7.1 схематично наведено фрагмент перерізу багатошарової друкованої плати.

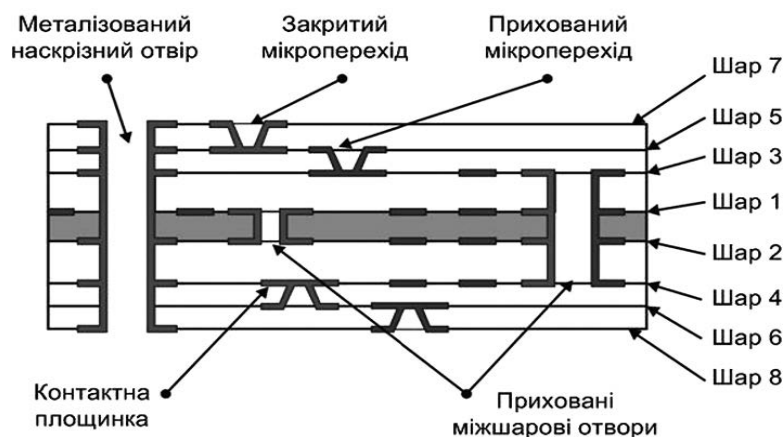


Рисунок 7.1 – Елементи конструкції багатошарової друкованої плати

Для забезпечення комутації між шарами БШДП застосовують міжшарові переходи (vias) і мікропереходи (microvias).

Міжшарові переходи роблять з використанням наскрізних металізованих отворів, що об'єднують фрагменти друкованих провідників зовнішніх та внутрішніх шарів у лінії електричних зв'язків відповідно до принципової схеми. Застосовують наскрізні, закриті та приховані міжшарові переходи.

Закритий перехід – це сполучний металізований канал, видимий тільки з верхньої або нижньої сторони плати. Приховані переходи використовують для з'єднання провідників внутрішніх шарів плати. Їх застосування дає змогу значно спростити трасування плати. Наприклад, 12-шарову конструкцію БШДП можна звести до еквівалентної 8-шарової.

Спеціально для поверхневого монтажу розроблено мікропереходи, що з'єднують між собою контактні площадки та сигнальні шари (рис. 7.2).

Для виготовлення БШДП застосовують пошарове з'єднання кількох ламінованих фольгою діелектриків. З'єднання здійснюють із застосуванням спеціальних клейових прокладок, які називають препреги.

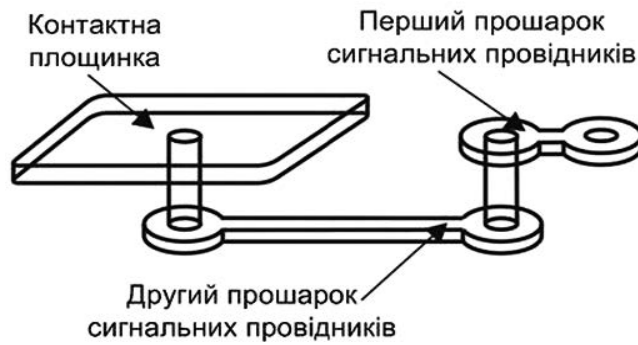


Рисунок 7.2 – Схематичне зображення внутрішнього міжшарового мікропереходу

У разі використання багатьох шарів можуть виникнути складнощі з металізацією наскрізних отворів малого діаметра. Проте, навіть враховуючи такі труднощі, вважають за краще досягати високої щільності монтажу за рахунок більшого числа відносно дешевих шарів, ніж меншим числом високощільних, але, відповідно, дорожчих внутрішніх шарів. Як приклад, одну із можливих структур багатошарової плати наведено на рисунку 7.3.

У сучасному виробництві використовують кілька технологій виготовлення БШДП, що обумовлює відмінності в їх структурі. Більш детально це питання пояснено нижче.

Основним видом монтажу ЕРК на сучасних БШДП є поверхневий монтаж. На платах монтують як корпусні мікросхеми, так і безкорпусні, які після розпаювання контактних з'єднань заливають компаундом.

У процесі розроблення конструкції виробу слід прагнути обмеженої кількості типорозмірів плат. Для практичного виконання даного положення організаціям-розробникам необхідно періодично систематизувати використовувані розміри плат і після відповідного аналізу за допомогою головної корпоративної організації зі стандартизації вживати заходи до скорочення кількості типорозмірів.

Залежно від особливостей конструкції багатошарових плат виділяють кілька різновидів друкованих плат:

- багатошарові друковані плати без наскрізних отворів;
- багатошарові друковані плати з наскрізними отворами;
- багатошарові друковані плати на металевій підкладці тільки з наскрізними отворами;
- багатошарові друковані плати на металевій підкладці з не наскрізними отворами.

Рівень виробництва друкованих плат визначають складністю конструкції друкованої плати й відповідно до міжнародної класифікації поділяють на: А – малої складності; В – середньої складності (стандартна технологія); С – великої складності.

На складність плати багато в чому впливають особливості фізичної реалізації електронних компонентів, які необхідно на ній змонтувати. Основні корпуси сучасних активних електронних компонентів наведено на рисунку 7.3.

МАТЕРІАЛ	ТОВЩИНА
Мідна фольга	0,017
Препрег	0,19+/-0,02
Мідна фольга	0,035
Склотекстоліт	0,51+/-0,05
Мідна фольга	0,035
Препрег	0,36+/-0,03
Мідна фольга	0,035
Склотекстоліт	0,51+/-0,05
Мідна фольга	0,035
Препрег	0,36+/-0,03
Мідна фольга	0,035
Склотекстоліт	0,51+/-0,05
Мідна фольга	0,035
Препрег	0,19+/-0,02
Мідна фольга	0,017

Рисунок 7.3 – Структура БШДП, що містить 8 провідникових шарів

У процесі конструювання багатошарових друкованих плат застосовують міжнародні терміни та позначення, найбільш поширені з яких наведено нижче.

ADHESIVE (адгезив) – клей.

BGA – (Ball Grid Array) – корпус мікросхеми, у якого виводами електричних з'єднань є кульки (або стовпчики) з припою, розташовані на нижній поверхні корпусу. Корпус призначено для поверхневого монтажу.

CHIP COMPONENT – загальний термін, який застосовують для позначення будь-якого компонента з двома виводами, призначеного для поверхневого монтажу (в основному пасивних SMT компонентів – резисторів, конденсаторів, діодів, індуктивностей). Також використовують для позначення окремих мікросхем для поверхневого монтажу.

COB – (Chip On Board) – загальний термін, який застосовують для позначення безкорпусного компонента (кремнієвого кристалу), який монтують без- посередньо на друковану плату.

CSP – (Chip Scale Package) – корпус елемента, загальні розміри якого перевищують розмір кремнієвої підкладки не більше ніж на 20%.

DIP – (Dual Inline Package) – корпус елемента з двома рядами виводів, призначений для монтажу в наскрізні отвори в друкованій платі.

FLIP CHIP – технологія монтажу безкорпусних компонентів (COB), за якою кремнієву підкладку «перевертають» і встановлюють безпосередньо на друковану плату (без використання технології Wire Bonding).

FPT – (Fine Pitch Technology) – технологія монтажу компонентів з малим кроком виводів.

PLCC – (Plastic Leaded Chip Carrier) – корпус елемента прямокутний або квадратний за формою з виводами з усіх чотирьох боків. Крок виводів зазвичай 1,27 мм, тобто цей корпус не є корпусом типу Fine pitch. Корпус призначено для поверхневого монтажу.

SMT – (Surface Mount Technology) – технологія поверхневого монтажу.

SOIC – (Small Outline Integrated Circuit) – корпус елемента з двома рядами виводів. Корпус призначено для поверхневого монтажу.

SOLDER PASTE – паяльна паста.

TAB – (Tape Automated Bonding) – процес монтажу безкорпусних елементів безпосередньо на поверхню друкованої плати. Монтаж здійснюють із застосуванням тонкої провідникової рамки. За цієї технології елементи спочатку розташовують на полімерній (майларовій) стрічці.

THT – (Trough Hole Technology) – технологія монтажу DIP мікросхем.

UFPT – (Ultra Fine Pitch Technology) – технологія монтажу мікросхем з дуже малим кроком виводів (менше 0,5 мм).

WIRE BONDING – метод електричного з'єднання кремнієвої підкладки з контактними площинками на друкованій платі з використанням тонкого (0,025...0,05 мм) золотого або алюмінієвого дроту.

7.2 Конструювання багатошарових друкованих плат, виготовлених методом металізації наскрізних отворів

Суть методу полягає у виготовленні внутрішніх шарів хімічним методом, пресуванні шарів у монолітну заготовку і виготовленні зовнішніх шарів комбінованим, позитивним методом з одночасною металізацією отворів (рис. 7.4). Металізовані отвори слід робити без зенкування. Допускають зенкування отворів за узгодженням з відділом головного технолога підприємства-виробника.

Для плат завтовшки 1,6 мм і менше слід застосовувати металізовані отвори діаметром не менше 0,8 мм. Діаметри контактних площинок на внутрішніх шарах слід робити не менше 1,5 мм. На зовнішніх шарах провідники рекомендовано прокладати за нормами класу А. Між отворами, розташованими на відстані 2,5 мм і менше, не дозволено прокладати провідники. На внутрішніх прошарках між отворами, розташованими на відстані 2,5 мм, у вузькому місці слід прокладати провідник шириною 0,3 мм незалежно від наявності в отворі контактної площинки. У разі збільшення діаметрів отворів (товщина плати більше 1,6 мм), розташованих на відстані 2,5 мм провідник між ними на внутрішніх прошарках не дозволено прокладати.

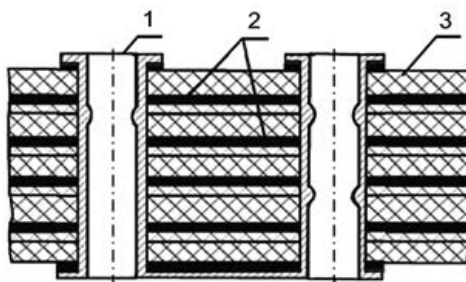


Рисунок 7.4 – Фрагмент друкованої плати, виготовленої методом металізації наскрізних отворів: 1 – металізований отвір (перехідний або монтажний); 2 – провідник; 3 – діелектрик

Відстань від краю металізованого отвору до краю провідника на внутрішніх прошарках плати має бути не менше 0,6 мм.

Геометричні параметри елементів багатошарової плати, виготовленої методом металізації наскрізних отворів, наведено в таблиці 7.1.

Перевірочний розрахунок укладання провідників слід робити за наведеними нижче формулами.

Для зовнішніх шарів

$$l_A = \frac{d_1 + d_2}{2} + 1,4n + 1,7 \quad (7.1)$$

$$l_B = \frac{d_1 + d_2}{2} + 0,7n + 1,1 \quad (7.2)$$

Таблиця 7.1 – Геометричні параметри елементів друкованої плати у разі застосування методу металізації наскрізних отворів, мм

Шар	Клас	t	S	S0	K	C1	C2	b
Зовнішній	A	0,60	0,60	0,50	0,20	–	0,70	0,30
Внутрішній	A	0,50	0,60	0,50	0,15	–	0,70	0,30
	B	0,30	0,30	0,30 (0,25)*	0,10	0,50	0,70	0,15

Для внутрішніх прошарків

$$l_A = \frac{d_1 + d_2}{2} + 1,25n + 1,7 \quad (7.3)$$

$$l_B = \frac{d_1 + d_2}{2} + 0,7n + 1,1 \quad (7.4)$$

7.3 Конструювання багатошарових плат, виготовлених методом попарного пресування

Сутність методу попарного пресування полягає у виготовленні комбінованим методом двох плат-заготовок з перехідними металізованими отворами і витравленим рисунком провідників на одній із сторін заготовок, яка надалі є внутрішнім шаром. На наступному етапі між заготовками розміщують ізоляційну прокладку і спресовують їх. Завершують формування плати виготовленням друкованих провідників на зовнішніх площинах комбінованим методом і формуванням монтажних отворів. Фрагмент плати виготовленої методом попарного пресування

наведено на рисунку 7.5.

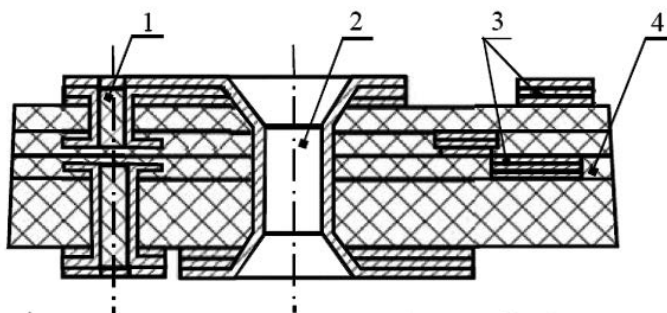


Рисунок 7.5 – Друкована плата, виготовлена методом попарного пресування: 1 – перехідний отвір, що забезпечує перехід з 1-го на 2-й прошарок; 2 – отвір (монтажний), що забезпечує перехід з 1-го на 4-й прошарок; 3 – провідник; 4 – діелектрик

Металізовані отвори можна робити як із зенкуванням, так і без зенкування. За наявності зенкування отворів допускається зменшення контактної площини до зенкування з одного або з двох боків. За відсутності зенкування контактні площинки можна зменшувати до величин b , вказаних у таблиці 7.2.

Таблиця 7.2 – Геометричні параметри елементів друкованої плати для методу попарного пресування

Клас	t	S	S0	K	C1	C2	b
А	0,60	0,60	0,50	0,20	–	0,65** 0,75	0,30
Б	0,30	0,40	0,30	0,10	0,55	0,65** 0,75	0,15

Відстань від краю металізованого отвору до краю провідника на внутрішніх прошарках плати має бути не менше 0,6 мм. Перевірочний розрахунок укладання провідників слід робити за формулами, наведеними нижче.

Для зовнішніх шарів

$$l_A = \frac{d_1 + d_2}{2} + 1,4n + 1,65, \quad (7.5)$$

$$l_B = \frac{d_1 + d_2}{2} + 0,85n + 1,05 \quad (7.6)$$

Для внутрішніх шарів

$$l_A = \frac{d_1 + d_2}{2} + 1,4n + 1,05 \quad (7.7)$$

$$l_B = \frac{d_1 + d_2}{2} + 0,85n + 0,75 \quad (7.8)$$

7.4 Особливості конструювання багат шарових друкованих плат, виготовлених методом пошарового нарощування

Сутність методу полягає в послідовному виготовленні друкованих шарів електрохімічним осадженням міді на заздалегідь перфоровані заготовки діелектрика. Міжшарові з'єднання слід робити у вигляді металізованих переходів у перфораціях діелектрика. Фрагмент друкованої плати, виготовленої методом пошарового нарощування, наведено на рисунку 7.6.

Діаметри отворів для контактних переходів слід робити не менше 0,8 мм. Не припустимим є вихід контактного переходу за межі контактної площинки. У разі переходу через шар для контактного переходу треба забезпечувати контактні площинки на всіх проміжних шарах.

Перевірочний розрахунок для прокладання провідників між отворами слід робити за наведеною нижче формулою з урахуванням рекомендованих значень геометричних параметрів друкованих елементів, (табл. 7.3).

$$l_b = \frac{d_1 + d_2}{2} + 0,7n + 0,4 \quad (7.9)$$

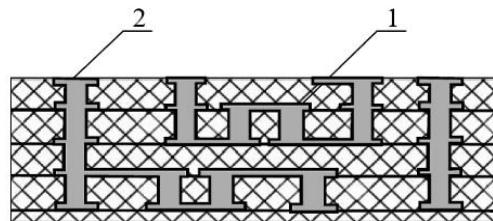


Рисунок 7.6 – Фрагмент друкованої плати, виготовленої методом пошарового нарощування: 1 – контактна площинка 1-го про шарку; 2 – контактний перехід

Таблиця 7.3 – Геометричні параметри елементів друкованої плати для методу пошарового нарощування

Клас	t	S	S0	K1	C1	b
А	–	–	–	–	–	–
Б	0,3	0,3	0,3	0,1	0,1	–

Особливості конструювання друкованих плат призначених для автоматизованого монтажу

Підготовлення друкованої плати до автоматизованого монтажу можна розділити на кілька етапів:

- перевірка друкованої плати на відповідність вимогам для поверхневого монтажу компонентів;
- розміщення реперних знаків;
- створення технологічної заготовки (панелі з плат) з урахуванням технічних характеристик монтажного обладнання, кількості плат у замовленні, особливостей виготовлення і вартості трафарету тощо;

– розміщення «технологічних зон» на панелі.

Під час конструювання необхідно дотримуватись наведених нижче вимог щодо розміщення компонентів та друкованих провідників на поверхні друкованих плат:

– усі поверхнево-монтажні компоненти бажано розміщувати на одному боці плати; у разі, якщо цю вимогу виконати не можливо, слід розділити компоненти на «легкі» і «важкі» і розміщувати їх з різних боків плати; наприклад, пасивні компоненти, розмістити з одного боку, а мікросхеми – з іншого;

– розміри контактних площинок слід робити відповідно рекомендаціям для даного типорозміру корпусу (інформацію про розміри яких можна уточнити в технічній документації на компонент або у стандарті IPC-7351);

– проміжки між компонентами необхідно робити не менше тих, що наведено на рисунку 7.7;

– компоненти слід розташовувати не ближче 1,25 мм від краю заготовки;

– у разі паяння хвилею усі компоненти слід розташовувати у напрямку розповсюдження хвилі припою (рис. 7.11), а у разі застосування у виробництві плат технології паяння оплавленням орієнтація компонентів не має принципового значення;

– полярні компоненти, за можливості, слід орієнтувати однаково;

– слід застосовувати максимальну кількість компонентів з однаковим типорозміром корпусу. Наприклад, резистори і конденсатори типу 0805. Підбір компонентів подібним чином дозволяє максимально продуктивно використовувати автоматизоване обладнання з револьверними головками;

– максимальна висота компонента 20 мм;

– максимальна маса компонента 25 г;

– для компонентів з кроком виводів 0,5 мм і менше, за можливості, залишати місце (на лінії, що є продовженням діагоналі компонента, або по центру) для розміщення локальних реперних знаків (рис. 7.10);

– деформація заготовки плати не повинна бути більше: на площині паяння SMT компонентів 1 мм плюс товщина плати, а зі зворотного боку – 0,5 мм плюс товщина плати (припустима деформація залежить від типу автоматизованого обладнання та способу паяння);

– для запобігання деформації у процесі виробництва плати та монтажу під час нагрівання у печі, сегменти вкриті суцільною фольгою (полігони) на зовнішніх та внутрішніх шарах (для багатошарових плат) необхідно розміщувати рівномірно по поверхні плати і робити їх у вигляді сітки з провідників;

– провідники і перехідні отвори, розміщені під компонентами, необхідно закривати захисною маскою;

– перехідні отвори, що знаходяться під корпусами BGA, необхідно закрити захисною маскою;

– відстань від краю не металізованих отворів до контактної площинки або провідника має бути не менше 0,5 мм.

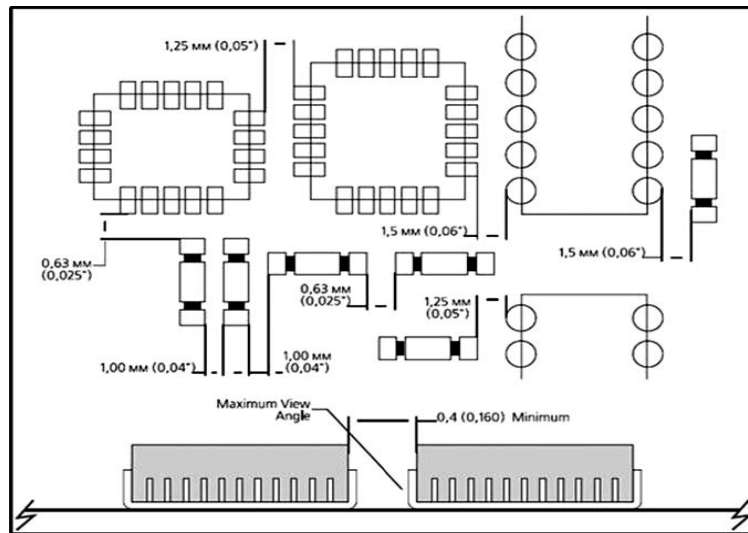


Рисунок 7.7 – Вимоги до мінімальних проміжків між компонентами поверхневого монтажу

Конструктивні особливості з'єднання провідників з площинками SMT. Для зменшення відтоку тепла від контактних площинок під час паяння (щоб запобігти появі «холодних» пайок) необхідно:

- використовувати вузькі провідники, що з'єднують безпосередньо контактну площинку і широкий провідник, як наведено на рис. 7.8;
- ширину підвідного «вузького» провідника слід вибрати залежно від класу точності плати та від величини струму, що проходить по ньому, усі перемички між ніжками SMT мікросхем необхідно розташовувати поза зоною паяння (рис. 7.9);
- площинки SMT компонентів, які розташовано на великих полігонах, слід відокремлювати від полігону перемичками («тепловий бар'єр») (рис. 7.10).

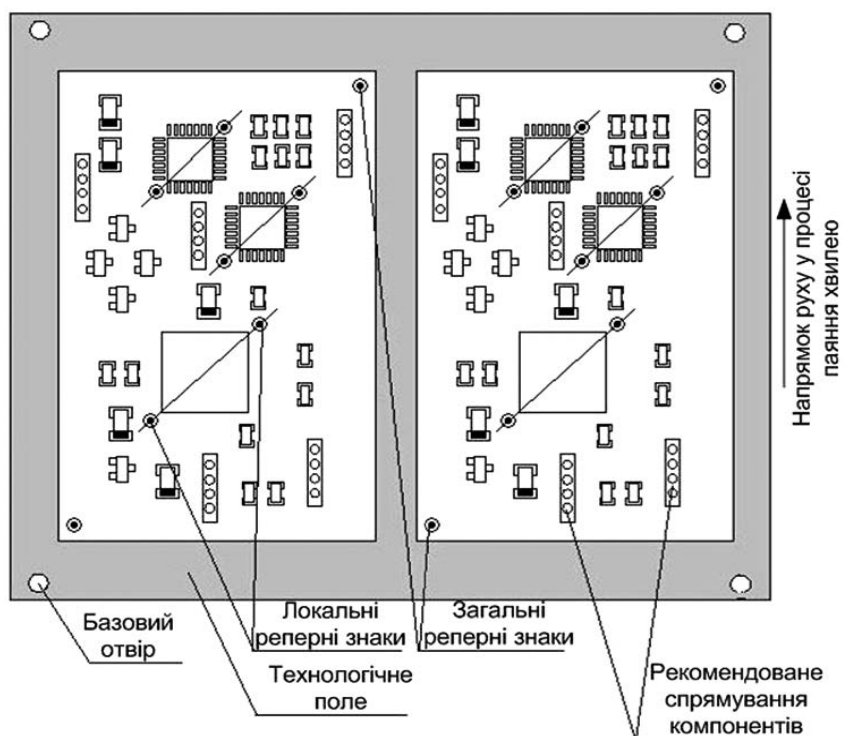


Рисунок 7.8 – Технологічна заготовка плати для автоматизованого поверхневого монтажу

Рекомендації щодо виготовлення перехідних отворів:

– не можна розташовувати перехідні отвори на контактних площинках компонентів; на рис. 4.18 наведено рекомендоване розташування перехідних отворів і контактних площинок;

– у випадках, коли не вдається витримати проміжок між контактною площинкою та отвором рекомендованої величини – перехідний отвір більш ніж 0,25 мм, можна зменшити цей проміжок, за умови, що перехідний отвір закритий маскою і проміжок між вікном в масці для SMD площинки і самим отвором в платі не менше, ніж 0,15 мм.

Рекомендації щодо маркування на платі:

– маркування на платі слід робити методом шовкографії або в прошарку провідників;

– графічні і позиційні позначення компонентів мають вказувати на полярність і орієнтацію компонентів на платі;

– у разі необхідності слід передбачати на платі місце для нанесення дати виготовлення плати та класу горючості;

– маркування методом шовкографії бажано розташовувати тільки на сегментах плати, вкритих захисною маскою;

– маркування компонентів, розташованих поруч один з одним, слід робити так, щоб вони не перетинались і не накладались один на одного.

Для виготовлення серії плат із застосуванням автоматизованого монтажу перед початком виробництва з одиночної плати створюють технологічну заготовку у вигляді панелі з плат, або одиночної плати з технологічними зонами (смугами).

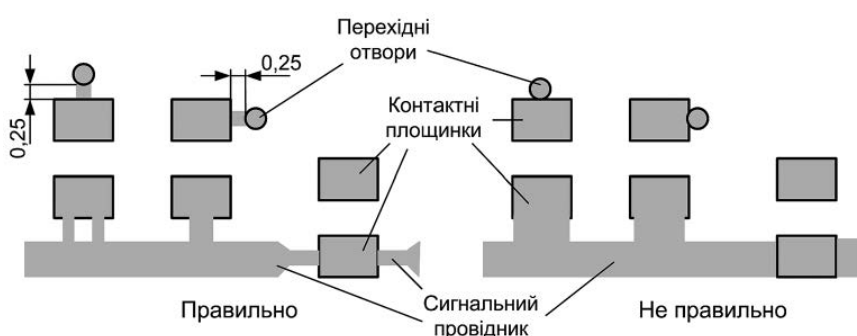


Рисунок 7.9 – Приклади підведення широких провідників до контактних площинок

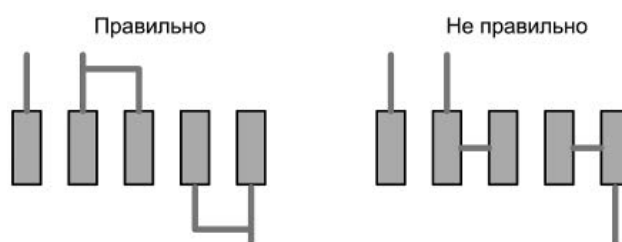


Рисунок 7.10 – Приклад підведення провідників до контактних площинок мікросхем

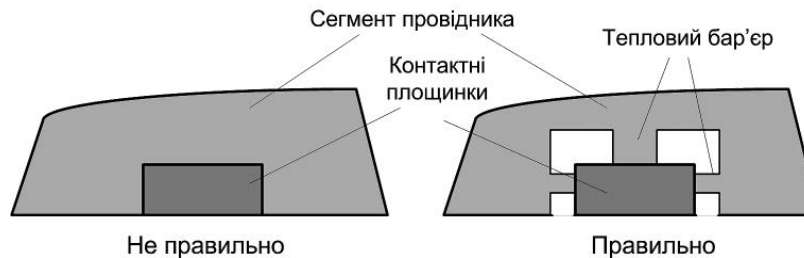


Рисунок 7.11 – Приклад розташування контактних площинок на сегментах провідників

Технологічні зони одночасно виконують кілька функцій:

- забезпечують фіксацію заготовки в трафаретному принтері (під час нанесення паяльної пасти), а також на лінії для автоматичного установалення компонентів;
- дають змогу розміщувати компоненти у безпосередній близькості до краю плати;
- забезпечують місце для розміщення реперних знаків;
- забезпечують додаткову жорсткість заготовці у разі її малої товщини і наявності в ній великої кількості внутрішніх вирізів.

Технологічні зони, як правило, розташовують уздовж довгої сторони заготовки і мають ширину 5 мм. На краях технологічних зон мають бути отвори діаметром 3,3 мм для фіксації заготовки в трафаретному принтері.

Скрайбування (англ. scribe – шкрябати) є поширеною технологічною процедурою для поділу пластини на окремі складові. Скрайбування полягає у створенні в матеріалі канавки вздовж лінії розділення окремих частин заготовки.

У разі, якщо застосування технологічних зон неприпустиме через особливості конструкції, на платі слід передбачити зони вільні від компонентів, які мають такі ж характеристики, що й технологічні зони.

Реперні знаки (Мітки відліку. Fiducial Marks). Мітка відліку є центром системи координат на етапі складання плати.

Цю мітку використовують для коригування похибки вимірювання поточних координат у процесі функціонування автоматизованої лінії установалення електронних компонентів. Зазначені похибки накопичуються у процесі автоматичного установалення компонентів на плату. Існує два види міток початку відліку: загальні (Global fiducials) і локальні (Local fiducials).

Загальні мітки використовують для всієї плати або, у випадку кількох плат об'єднаних у панель, для координатної прив'язки всієї панелі. Потрібно мінімум дві загальні мітки, зазвичай розташовані у діагонально-протилежних кутках плати на максимально можливій відстані одна від одної. Загальні мітки необхідно робити на всіх шарах, що містять компоненти.

Локальні мітки використовують для прив'язки конкретного компонента (зазвичай з великою кількістю виводів і маленьким кроком між ними) для обчислення координат (X, Y offsets). Локальні мітки відліку розташовують зазвичай по діагоналі,

на периметрі зони, в якій має бути розташовано відповідний компонент. У разі нестачі вільного місця можна використовувати одну локальну мітку відліку переважно в центрі зони розташування компонента.

Усі мітки необхідно розташовувати поза зонами, де розташовано провідники та компоненти. У сучасному виробництві переважно застосовують мітки відліку у формі зафарбованого кола, $A = (0,8...3,0)$ мм ($0,03''... ,12''$), рисунок 7.12. Рекомендований розмір «А» мітки відліку 1 мм. На друкованій платі (на панелі) мітки відліку мають бути однієї форми і розміру.

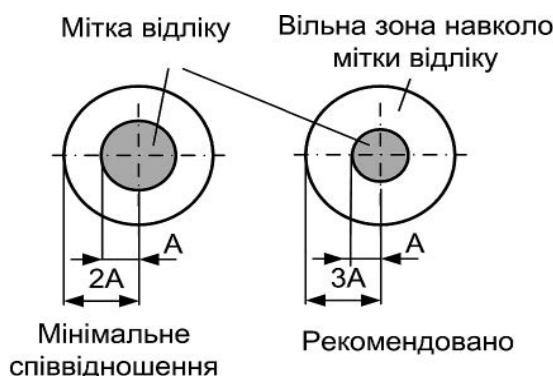


Рисунок 7.12 – Структура мітки відліку

Навколо мітки необхідно робити зону вільну від провідників, компонентів та захисної маски (заборонена зона). Усі мітки треба зображати в шарі провідників. Мітки не можна вкривати маскою, вони повинні мати гладке металеве покриття, що добре відбиває світло (нікель, сплави олова, срібло). Між мітками та краєм плати має бути відстань не менше 5 мм ($0,2''$) плюс ширина забороненої зони. Рекомендовано розміщувати мітки в точках, як наведено на рисунку 7.13.

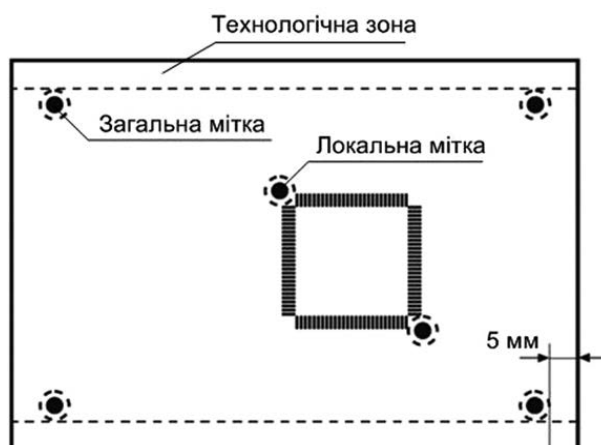


Рисунок 7.13 – Схема розташування міток відліку на платі

7.6 Засоби автоматизованого проектування друкованих плат

З визначення мети процесу проектування друкованої плати випливає, що процес починається з концепції і закінчується складанням і тестуванням. Засоби

автоматизованого проектування використовують для автоматизації або збільшення швидкості і точності кожного етапу цього процесу. Ці засоби можна розділити на три основні групи, залежно від того на якому етапі їх застосовують:

- засоби автоматизованого конструювання (CAE – computer-aided engineering);
- системи автоматизованого проектування (САПР, CAD – computer-aided design);
- засоби автоматизованого виробництва (CAM – computer-aided manufacturing).

Засоби автоматизованого проектування застосовують для перетворення електричного кола, описаного принциповою схемою, у проект фізичної реалізації друкованої плати. Засоби проектування САПР зазвичай застосовує фахівець з проектування друкованих плат, який має досвід у сфері виробництва та складання плат, а не інженер-електротехнік. Існує велика кількість систем САПР запропонованих різними виробниками, але усі вони мають схожі інтерфейси і базові складові. Ці засоби містять таблиці з'єднань електричних схем, перелік компонентів, правила трасування та розміщення компонентів на платі тощо. Найпростіші системи дозволяють проектувальнику створювати схеми контактних площинок для виводів компонентів і форму друкованої плати, а потім вручну з'єднувати виводи компонентів провідниковими доріжками. Найбільш комплексні засоби САПР дозволяють автоматично визначати оптимальне положення кожного компонента друкованої плати (авторозміщення) і потім автоматично з'єднувати (автотрасування) всі виводи із дотриманням правил компоновання. У процесі проектування застосовують правила, у яких визначено, які компоненти має бути розміщено в групах або поблизу з'єднувачів, який простір потрібно забезпечити між сусідніми трасами та компонентами, максимально допустиму довжину провідників між точками на схемі тощо.

Вихідними даними програмних засобів проектування є інформаційні файли, які необхідні для виробництва, збирання та тестування друкованої плати. До цих файлів віднесено тестові таблиці з'єднань, файли для фотоплота, відомості матеріалів, файли для монтажу та складальні креслення.

Засоби САПР складено з програми трасування схем (трасувальник), розміщення компонентів (компоувальник), засобів тестування і засобів створення вихідних файлів (постпроцесор – система кінцевого оброблювання).

Засоби розміщення компонентів використовують для розташування компонентів на поверхні друкованої плати. Засоби розміщення зазвичай є складовою частиною повної системи САПР, а не окремим модулем. Вхідними даними для автоматизованих засобів розміщення є:

- список компонентів або відомість матеріалів;
- список з'єднань в електричній схемі або спосіб з'єднання компонентів;
- форми, розміри і просторове розміщення виводів компонентів;
- форма друкованої плати із зазначенням сегментів, куди компоненти розміщувати не можна (вільні зони);
- інструкції щодо фіксованого розташування компонентів, таких як з'єднувачі;

– правила електричних з'єднань, такі як максимальна й мінімальна відстань між точками електричного кола;

– правила теплового режиму, в яких визначено, які частини слід тримати віддалено або поблизу джерел потоку повітря.

Програмні засоби розміщення компонентів можуть бути різними і забезпечувати робочі режими від повністю ручного до повністю автоматизованого. Усі програмні компонування мають певну форму графічного зворотного зв'язку з проектувальником, що дозволяє оцінювати якість розміщення з прогнозуванням можливості трасування або з'єднання із застосуванням необхідного числа сигнальних шарів. У більшості трасувальників застосовують правила розміщення, в яких передбачено достатній простір між компонентами для успішного складання, перероблення і випробування.

Трасувальники можуть забезпечувати різні режими проектування від повністю ручного режиму, в якому проектувальник визначає, де будуть розміщені траси, за допомогою відповідних засобів графічного інтерфейсу (комп'ютерного дисплея та маніпулятора), до повністю автоматизованого, за якого спеціалізована програма бере список з'єднань і, на підставі правил розміщення і правил створення проміжків між компонентами, а також правил трасування, виробляє всі рішення, необхідні для повної реалізації усіх з'єднань.

Основною перевагою ручного трасування є те, що проектувальник може зробити кожне з'єднання відповідно до власного розуміння конструктивних особливостей певного фрагменту схеми. Основним недоліком ручного трасування є те, що його можна здійснювати досить повільно і це потребує багато часу. Для прокладання однієї лінії електричного з'єднання та її перевірки часто доводиться витратити кілька хвилин.

Із застосуванням автоматизованих трасувальників тривалість процесу прокладання ліній між виводами електронних компонентів значно скорочується. Однак можливість детального контролю форми кожного провідника обмежена властивістю автотрасувальника виконувати формальні правила трасування з'єднань. У деяких сучасних автотрасувальниках закладено можливість узгоджувати трасу за дуже складними правилами (алгоритмом трасування). Істотною проблемою автотрасувальників є те, що інколи вони не в змозі знайти спосіб успішного прокладання усіх з'єднувальних ліній. Коли таке відбувається, проектувальник може додати більше місця для провідників за рахунок додаткових шарів або спробувати завершити трасування в ручному режимі. Важливою функцією хорошого автотрасувальника є варіант трасування у ручному режимі, оскільки це суттєво впливає на успішне здійснення фінальної операції, яка часто буває необхідною для завершення трасування. Майже всі трасувальники мають комплект засобів перевірки, і це гарантує, що остаточне трасування узгоджено зі списком електричних з'єднань і, що було дотримано всіх правил стосовно резервування вільного простору між компонентами.

Програма трасування може бути складовою частиною системи САПР або

окремим модулем, який можна використовувати у складі системи САПР.

Існують два типи трасувальників, загальні властивості яких наведено нижче. Трасувальник з координатною сіткою. Цей тип трасувальника (сітковий трасувальник) у процесі функціонування розміщує провідники на попередньо задану координатну сітку. Усю поверхню, призначену для розведення ліній електричного зв'язку вкрито регулярною сіткою, яка забезпечує належний проміжок між провідниками, якщо провідники проводять по лініям сітки. Такий різновид трасувальника є першим варіантом програми, запропонованої в разі як автоматизованого, так і ручного трасувальника, що надходить у складі системи САПР. Основними недоліками трасувальників з координатною сіткою є складність керування прокладанням провідникових доріжок більш ніж однієї ширини без втрати щільності їх розміщення і необхідність розташовувати кінцеві точки з'єднувальних ліній на сітці трас для їх успішного з'єднання. З'єднання компонентів поза координатною сіткою зазвичай необхідно робити вручну.

Трасувальник без координатної сітки. Розташування провідників в цьому різновиді програми трасування (безсітковий трасувальник) не залежить від координатної сітки. Замість неї програма розміщує якомога більше провідників, які тільки можна розмістити на наявній поверхні плати за умови дотримання правил резервування вільних проміжків, встановлених інженером-конструктором для забезпечення належних електричних характеристик з метою оптимізувати технологічний процес виготовлення. За допомогою цього різновиду програми трасування можна легко обробляти траси різної ширини, що розташовуються на одному провідниковому шарі. Після здійснення трасування програма розподіляє невикористаний простір на рівні частини. Перевага цього методу полягає у можливості оптимізувати технологічність процесу виготовлення за рахунок підтримування якомога більших проміжків між компонентами. Недоліком цього різновиду програми трасування є те, що зазвичай вона залежить від шару, на якому здійснюється прокладання провідників, що передбачає необхідність розташовувати всі провідники або горизонтально, або вертикально.

Для багатьох сучасних схем необхідно застосовувати дуже потужні програми трасування особливо для тих, де наявні регулярні матриці елементів з дуже великим числом штиркових виводів (процесори). Цей різновид трасувальників є основним робочим засобом для конструювання цифрових пристроїв дуже високої складності, в яких багато регулярних структур, і потрібно реалізувати прогнозовані проміжки і довжини трас, щоб забезпечити необхідну швидкість та продуктивність.

Трасувальник з урахуванням форми. Цей тип трасувальника розпізнає форми вже встановлених на монтажній поверхні елементів і прокладає провідники в обхід. Вільний простір між провідниками та іншими об'єктами, такими як наскрізні отвори, застосовані для переходу на інший шар, і контактні площадки, використовується як простір для трасування. Цей тип трасувальників широко застосовують для конструювання плат за технологією SMT.

Засоби перевірки. За допомогою цих програмних засобів здійснюють пе-

ревірку відповідності трасування друкованої плати правилам резервування вільного простору між трасами, між отворами і трасами шляхом порівняння фактичних проміжків, наявних в готових трафаретах, з тими, які встановлено правилами конструктора плат. Вони також дають змогу перевірити, що всі лінії з'єднання присутні відповідно до списку з'єднань й відсутні з'єднання з об'єктами, з якими з'єднання не передбачено (інші електричні кола або механічні елементи на друкованій платі). Деякі засоби перевірки також забезпечують перевірку дотримання правил прокладання лінії зв'язку і того, що перекриття з сусідніми трасами знаходиться в допустимих межах. Комплект засобів перевірки зазвичай є складовою частиною системи САПР.

Генератори вихідних файлів. Після трасування друкованої плати та перевірки точності всіх з'єднань система САПР містить інформацію про конструкцію плати у формі робочих комп'ютерних записів (файлах). Для того, щоб ці дані можна було використати для виготовлення друкованої плати, їх слід перетворити у файли з форматом, який можна використовувати на технологічному обладнанні, такому як фотоплотери, тестери і монтажне обладнання. Системні модулі, що генерують вихідні файли, виконують необхідні перетворення.

Перелік програмних засобів для проектування друкованих плат доволі великий, тому для прикладу наведемо стислі характеристики кількох з них.

Sprint-Layout – простий, але дуже ефективний програмний пакет для проектування друкованих плат малої і середньої складності. Програма дуже популярна серед радіоаматорів.

Eagle – поштрене програмне забезпечення для креслення електричних схем і подальшого автоматичного трасування друкованих плат. Є версія з певними функціональними обмеженнями, що розповсюджується безкоштовно.

DipTrace – система автоматизованого наскрізного проектування електричних схем і трасування друкованих плат. Програмне забезпечення містить модулі: Schematic і PCB Layout (для розроблення плат за допомогою ручного або автоматичного трасування). Є дві версії програмного пакету: Freeware (безкоштовна з обмеженнями) і Shareware (платна).

ExpressPCB – проста у навчанні і зручна в роботі система ручного проектування друкованих плат. Основними позитивними характеристиками ExpressPCB є: безкоштовне розповсюдження, легкість освоєння, швидкість створення власної бази радіодеталей і мікросхем, коректність роботи програми. Для ExpressPCB характерні кращі якості, що є у програми Sprint Layout.

Altium Designer – професійна система автоматизованого проектування друкованих плат від розробників добре відомої системи P-CAD, що надає найширші можливості для створення електронних пристроїв.

DesignSpark PCB – потужна, зручна і безкоштовна система проектування для професійного створення електронних схем та друкованих плат, має функцію автотрасування. Підтримує експорт в Spice-симулятори.

ТЕМА 8

КОНСТРУЮВАННЯ ГНУЧКИХ І ГНУЧКО-ЖОРСТКИХ ДРУКОВАНИХ ПЛАТ

8.1 Типи гнучких друкованих плат

Гнучкі друковані плати – це всілякі системи гнучких шлейфів, виготовлених у вигляді друкованих плат, які можуть містити одно-, дво- і багатошарові структури, що призначено для з'єднання функціональних вузлів електронної апаратури. Їх конструкції можуть бути повністю гнучкими або комбінацією жорстких і гнучких частин. Збільшення попиту на гнучкі схеми і, особливо, на гібридні жорстко-гнучкі багатошарові друковані плати обумовлено такими чинниками.

Гнучкі схеми надають можливість створювати унікальні конструкції, що дає змогу вирішувати питання міжсхемних з'єднань і монтажу, із забезпеченням їх гнучкості.

За допомогою таких схем виробники друкованих плат можуть виготовляти складні гнучкі шлейфи та інші конструкції з гарантовано високим відсотком виходу придатних до експлуатації пристроїв.

У гнучких платах застосовують найбільш прогресивні адгезійні системи, такі як акрилові, для формування гнучких композиційних матеріалів.

Гнучкі плати забезпечують підвищену ефективність і надійність кінцевих систем. У порівнянні з жорстким монтажем друковані плати, виготовлені з матеріалів на основі поліімідів, акрилатів, поліефірів і епоксидних смол, економічно ефективніші, оскільки їх застосування забезпечує:

- більше творчих можливостей конструктору;
- більш високу продуктивність у процесі виробництва плат та монтажу готових виробів;
- вигаши щодо масогабаритних показників кінцевого виробу;
- простоту безпомилкового монтажу й складання кінцевого виробу.

У міжнародних стандартах ІЕС та ІРС гнучкі плати класифіковано за типом конструкцій на п'ять типів.

Тип 1. Однобічна гнучка друкована плата, що містить один провідниковий шар, зі зміцненням конструкції або без нього (рис. 8.1).

Тип 2. Двобічна гнучка друкована плата, що містить два провідникові шари й наскрізні металізовані отвори, зі зміцненням конструкції або без нього (рис. 8.2).

Тип 3. Багатошарова гнучка друкована плата, що містить три і більше провідникових шарів з наскрізними металізованими отворами, зі зміцненням конструкції або без нього (рис. 8.3).

Тип 4. Гнучко-жорстка друкована плата, що містить три і більше провідникових шарів з наскрізними металізованими отворами (рис. 8.1).

Тип 5. Гнучка або гнучко-жорстка друкована плата, що містить два або більше провідникових шарів без наскрізних металізованих отворів.

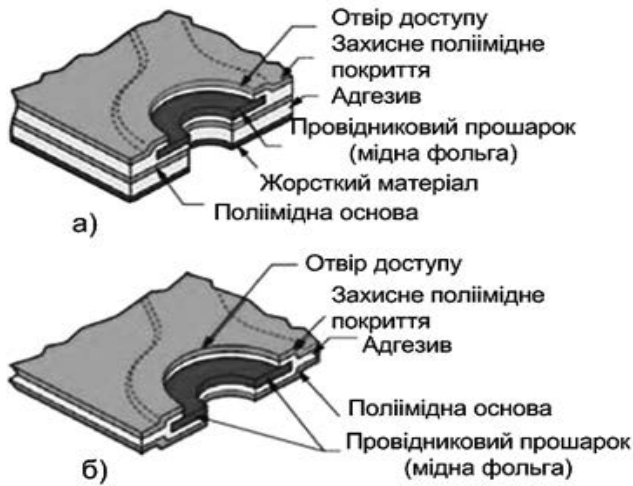


Рисунок 8.1 – Фрагменти однобічних гнучких друкованих плат: а – з механічним підсиленням, б – без підсилення



Рисунок 8.2 – Структура двобічної гнучкої друкованої плати

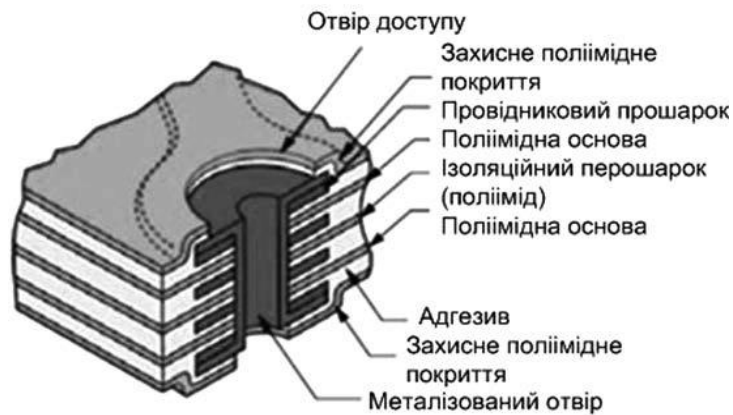


Рисунок 8.3 – Пошарова структура гнучкої багатошарової друкованої плати

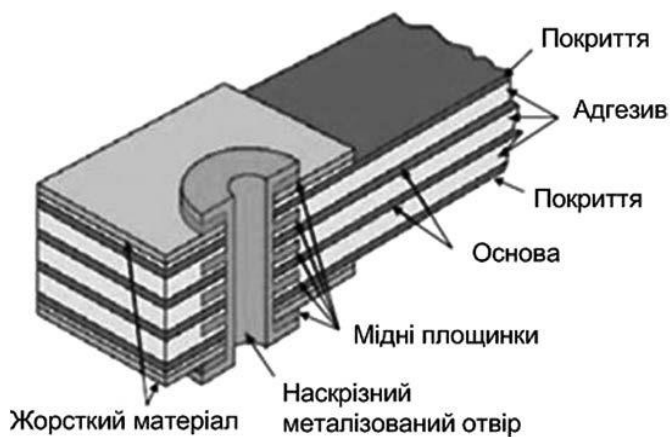


Рисунок 8.4 – Фрагмент гнучко-жорсткої друкованої плати

Гнучкі плати, так само як і жорсткі, класифікують за призначенням, що також необхідно враховувати і вказувати в конструкторській документації. За цією класифікацією плати розподілено на категорії А, В, С, D.

Категорія А. До цієї категорії віднесено гнучкі плати, гнучкість яких проявляється тільки у процесі складання кінцевого виробу (статична стійкість). На рис. 5.5 наведено гібридний вузол для військового приладу спостереження, в якому застосовано багатошарову гнучко-жорстку друковану плату.

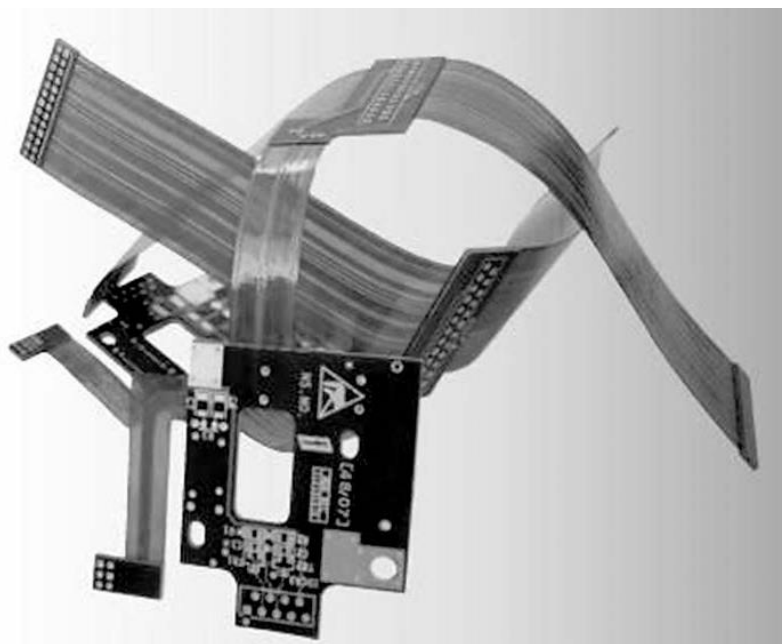


Рисунок 8.5 – Багатошарова гнучко-жорстка плата (6-шарів) для військового приладу спостереження

Тут гнучкість гнучкої частини плати використовують тільки у процесі складання. Перевага таких конструкцій полягає у підвищеній їх надійності внаслідок відсутності рознімних або паяних з'єднань.

Категорія В. До цієї категорії віднесено гнучкі плати, що постійно згинаються у процесі функціонування (динамічно стійкі). Ці плати поділяють на: «періодично» гнучкі (сотні і тисячі циклів перегинів) і «безперервно» гнучкі (мільйони і мільярди циклів перегинів). Для таких плат у конструкторській документації вказують стійкість до певної кількості перегинів і умови (радіуси) перегинів.

Категорія С. Плати цієї категорії – це плати для високотемпературного застосування (більше 105°C).

Категорія D. Плати цієї категорії – це плати, що мають сертифікацію UL, тобто мають підвищену вогнестійкість, зіставну з вогнестійкістю жорстких плат.

8.2 Матеріали для гнучких друкованих плат

Для гнучких плат та гнучких частин гнучко-жорстких плат використовують низку сучасних матеріалів, що суттєво відрізняються від матеріалів для традиційних

жорстких плат. Вибір матеріалу залежить від умов експлуатації. Характеристики матеріалу для гнучких друкованих плат, які обов'язково слід брати до уваги такі:

- розмірна стабільність;
- теплостійкість (можливе паяння без руйнувань і зменшення гнучкості);
- стійкість до розриву;
- прийнятні електричні властивості;
- гнучкість під дією екстремальних температур;
- мале водопоглинання (не призводить до розшарування або відшарування у разі нагрівання);
- хімічна стійкість (у процесі виробництва та експлуатації);
- негорючість.

Крім зазначених спеціальних характеристик до уваги слід брати також загальні характеристики матеріалу такі, як стабільність характеристик, наявність кількох джерел постачання, вартість, витрати матеріалу на одиницю виробу тощо.

Основними конструкційними матеріалами гнучких друкованих плат є базовий матеріал (матеріали основи гнучкої плати), адгезив, металева фольга або фольгований матеріал, покривні плівки.

Адгезив – речовина, здатна з'єднувати матеріали шляхом поверхневого зчеплення. Адгезиви бувають природними та синтетичними. Скріплювальна дія адгезиву обумовлена створенням молекулярних зв'язків між ним і поверхнями з'єднуваних матеріалів. Мікронерівності, що заповнюються адгезивом, збільшують площу контакту між прилеглими поверхнями. Після застигання адгезиву поверхні з'єднано склеюванням.

8.2.1 Матеріали для основи гнучких плат

Найбільш поширеними матеріалами для основи гнучких плат є полієфірні плівки з поліетилентерефталатів (лавсан, майлар, Mylon, Melinex, Luminor, Celanar) і різні системи поліімідів.

Поліімідиди – це термостійкі поліконденсатні полімери на основі ароматичних тетракарбонових кислот і ароматичних діамінів.

У виробництві гнучких друкованих плат поліімідні плівки є домінуючим матеріалом. Є кілька формул поліімідів, що відомі за назвами торгових марок, таких, як Kapton, Arical, Novax, Espanex, Upilex тощо.

До позитивних конструкційних властивостей поліімідних плівок можна віднести такі:

- дуже хороша гнучкість за всіх припустимих температур;
- хороші електричні властивості;
- дуже хороша хімічна стійкість (за винятком взаємодії з гарячими концентрованими лугами);
- дуже хороша стійкість до розриву (але погана стійкість до поширення розриву);
- певні типи поліімідів мають додаткові позитивні характеристики (коефіцієнт

розширення, узгоджений з міддю, зменшену механічну напруженість у ламінатах);

- поліїмід можна хімічно протравлювати в гарячих лугах;
- робочий діапазон температур: $-200...+300^{\circ}\text{C}$.

Недоліки поліїмідів:

- високе вологопоглинання (до 3% від початкової маси);
- відносно висока вартість.

Іншим поширеним матеріалом для основи гнучкої друкованої плати є поліефірні плівки.

Поліефірні плівки (поліетилентерефталат, PETF) також мають низку позитивних властивостей, що й обумовлює їх використання у багатьох електронних пристроях і, зокрема, у пристроях реєстрації інформації.

До позитивних характеристик поліефірних плівок відносять такі:

- відносно низька температура переходу в пластичний стан (можна легко формувати потрібний профіль);
- дуже низька вартість;
- хороша стійкість до розриву і поширення розриву;
- дуже хороша гнучкість;
- хороша хімічна стійкість;
- мале вологопоглинання;
- хороший баланс електричних характеристик;
- широкий робочий діапазон температур ($-60...+105^{\circ}\text{C}$).

Недоліками поліефірних плівок є:

- дуже обмежена здатність до паяння (мають низьку точку плавлення);
- не можна використовувати за дуже низьких температур (стають крихкими);
- недостатня розмірна стабільність.

8.2.2 Адгезиви

Адгезиви використовують для з'єднання мідної фольги з базовою плівкою, а також для об'єднання прошарків у багатошарових і гнучко-жорстких конструкціях друкованих плат. Конструктивні властивості адгезивів є визначальними й водночас критичними для властивостей кінцевого виробу. Часто адгезиви є тим елементом, що обмежує термічні властивості гнучких друкованих плат, коли використовують поліїмід як базовий матеріал.

Широко застосовують акриловий адгезив, клеї на основі модифікованої епоксидної смоли, поліїмідний адгезив. Зазначені адгезиви мають істотно різні властивості.

Акриловий адгезив має найбільше поширення, він добре поєднується з поліїмідними плівками (має такий же коефіцієнт розширення, як поліїмід, і так само, як поліїмід, його можна протравлювати в лузі).

Епоксидні клеї та клеї на основі модифікованої епоксидної смоли не сполучаються з поліїмідними плівками оскільки вони крихкі. Але вони незамінні для склеювання твердої частини гнучко-жорстких друкованих плат.

8.2.3 Фольга

У виробництві гнучких друкованих плат для створення провідникового рисунка переважно використовують мідну фольгу. У рідкісних спеціальних випадках раніше застосовували нікелеву фольгу або нержавіючу сталь, коли передбачалось, що з'єднання виводів компонентів з друкованими провідниками буде здійснено зварюванням. У табл. 5.1 наведено конструктивні параметри різних фольгових матеріалів для провідників гнучких плат.

Виняткове використання міді обумовлено її хорошою провідністю, здатністю добре зчеплюватись з іншими покриттями, хорошою пластичністю і, що дуже важливо, однорідністю з матеріалами металізації різноманітних елементів електричних з'єднань (зокрема наскрізних і закритих отворів), які теж роблять міддю. Отримати тонку мідну фольгу технічно складне завдання.

Для формування фольги застосовують кілька різних технологій. Відносно до цих технологій фольга буває стандартна електролітична, високопластична електролітична, відпалена електролітична, гарячекатана, холоднокатана, відпалена катана, катана з подальшим низькотемпературним відпаленням. Використовують також способи металізації гнучких плівок напильненням і хімічним осадженням.

Фольга зі спеціальних мідних сплавів має більший опір, але і більшу міцність, і забезпечує хорошу стійкість до перегинів, порівнянну з катаною фольгою. Крім того, така фольга більш стійка під час виробництва ламінату – менше дефектів.

Таблиця 5.1. Конструктивні параметри різних фольгових матеріалів для провідників гнучких плат

Метал фольги	Питомий опір, Ом·см·10 ⁻⁶	Теплопровідниковість, Вт/(м·К)	Міцність до розтягування, кг/мм ²	Пластичність, %
Мідь холоднокатана відпалена	1,72	393	38	20
Мідь електролітична	1,77	393	30	12
Алюміній	4,33	225	18	30
Нержавіюча (нікелева) сталь	75	6	100	40
Берилієва бронза	8	83	70-200	35-60 (1-4 – після відпалення)

Останнім часом використовують спеціальні види двошарової фольги для формування на платі резистивних елементів, рисунок 8.6.

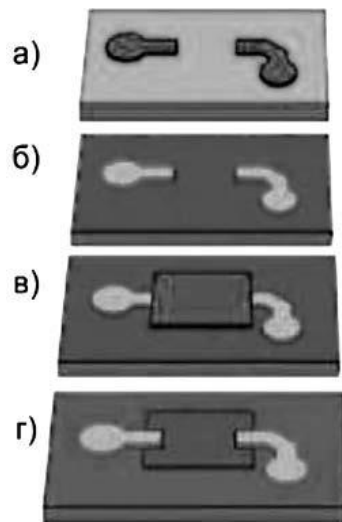


Рисунок 8.6 – Послідовність формування резистивного елемента із застосуванням двошарової мідної

Спрощено процес формування резистивного елемента можна подати такою послідовністю операцій: на верхньому шарі мідної фольги формують провідникові лінії як для забезпечення безпосередніх електричних зв'язків, так і для забезпечення контакту з відповідним резистивним елементом (рис. 8.6 а,б) потім за допомогою фотошаблону формують тіло резистивного елемента (рис. 8.6 в,г).

8.2.4 Покривні плівки

Покривні плівки або захисні шари – аналоги паяльної маски для жорстких друкованих плат, але вони мають бути гнучкими. Правильне використання покривних плівок збільшує стійкість гнучких плат до перегинів.

Матеріали покривних плівок – не повністю полімеризовані полімери на основі акрилатів, поліуретанів, акрілепоксидів тощо.

Якщо для оголення монтажних поверхонь застосовують фотолітографічні процеси, у плівки вводять фотоініціатори, що призводять до вибіркового затвердіння плівок під дією ультрафіолетового випромінювання. Іншими методами забезпечення доступу до монтажних поверхонь є свердління або висікання плівок, тобто механічне оброблення.

Захисний шар – це гнучке діелектричне покриття, нанесене на гнучку друковану плату після створення на ній рисунка всіх провідників і контактних площинок. Захисний шар використовують для того, щоб захистити провідники на поверхні гнучкої друкованої плати від агресивного впливу навколишньої атмосфери і можливих коротких замикань провідників між собою та з іншими навколишніми металевими конструкціями.

Захисний шар виготовляють з гнучкого матеріалу, який може набувати форми, необхідної для функціонування пристрою. Існують два типи захисних покриттів: плівкові та маскові.

Суцільна захисна плівка складається з адгезиву і діелектричної плівки, послідовно нанесених на гнучку друковану плату. Для динамічних конструкцій важливо

витримувати баланс механічних властивостей між провідниковими шарами та захисною плівкою.

Захисна маска – це діелектричне покриття, яке наносять на ділянки гнучкої плати ламінуванням сухої плівки, шовкографією, напиленням або поливом.

Шовкографія – трафаретний метод нанесення малюнка за допомогою сітчастого трафарету, через капіляри якого фарбу продавлюють спеціальним інструментом (ракелем).

Для більш точної реалізації захисного малюнка для покриття може бути використано фоточутливий матеріал.

На поверхню захисного шару, а також на діелектричну основу гнучкої друкованої плати для екранування провідників від впливу зовнішніх електричних полів може бути нанесено провідникові фарби на основі срібла, міді або полімерів зі значним вмістом вуглецю.

8.3 Покриття монтажних поверхонь (покриття для паяння)

Поверхні, призначені для паяння повинні мати здатність до змочування припоєм і довгостроково зберігати цю здатність. Для успішного паяння електронних модулів покриття компонентів і друкованих плат (фінішні покриття) мають бути добре узгодженими за своїми властивостями оскільки під час паяння вони знаходяться в однакових умовах відносно припою, флюсу й стосовно температурно-часового режиму. Сформовані традиції щодо покриттів для паяння сьогодні доводиться змінювати у зв'язку із застосуванням у виробництві побутової апаратури безсвинцевих технологій паяння.

Велика розмаїтість фінішних покриттів віддзеркалює той факт, що всі вони мають певні вади і не задовольняють одночасно вимоги щодо вартості, змочуваності, здатності зберігати свої властивості протягом тривалого часу тощо.

Серед фінішних покриттів, що використовують у процесі виготовлення гнучких плат, такі:

OSP (Organic Solderability Preservative);

NiAu (ENIG – Electroless Ni & Immersion Gold – хімічний нікель і іммерсійне золото);

ImmAg (Immersion Ag);

ImBi (Immersion Bi);

Pd (Electroplate or Electroless Pd – хімічний або гальванічний паладій);

NiPd (Electroless Ni & Immersion Pd);

NiPdAu (Electroless NiPd & Immersion Au);

ImmSn (Immersion Sn);

NiSn (Electroplate Ni & Sn);

SnAg (Electroplate Sn & Ag);

HASL (Hot-Air Solder Leveling).

У цьому переліку найбільш уживаними фінішними покриттями друкованих плат є OSP, ENIG, ImmSn, ImmAg та HASL.

Оскільки більшість із зазначених фінішних покриттів використовують й у процесі виготовлення жорстких друкованих плат розглянемо характеристики окремих покриттів із наведеного списку.

Покриття ENIG (~ 4 мкм Ni + ~ 0,1 мкм Au) є певною альтернативою HASL-процесам. ENIG не призводить до іонних забруднень і придатне до багаторазового паяння за високих температур. Функція тонкого шару золота – захист нікелю від окислення, а сам нікель є бар'єром, що запобігає взаємній дифузії золота й міді.

Характерний для покриття ENIG дефект – чорні контактні площинки. Вони з'являються на поверхні внаслідок оголення нікелю і виділення фосфору, якщо тонкий шар золота розчиняється у припої раніше, ніж припій змочить нікель. Фосфор неминуче занурюється в нікель у процесі його хімічного осадження. Припій скочується з фосфорованої і окисленої поверхні нікелю, через що і проявляється ефект чорної контактної площинки. Чорні контактні площинки можуть виникати також у разі перевищення нормативного часу паяння або як наслідок неправильного вибору флюсу. Перетримка інтенсифікує утворення інтерметалідів олова з нікелем і олова з фосфором, що є в нікелі. Виділення фосфору на поверхні нікелю може спричинити також процес золочення. Осадження золота з нейтральних електролітів зменшує ймовірність цих явищ.

Для ENIG важко підібрати флюси, а його ціна приблизно на 25% вище, ніж у OSP. Позитивні характеристики ENIG:

- життєздатність більше року;
- пласка контактна поверхня;
- хороша змочуваність припоєм за умови правильного вибору флюсу;
- не окислюється у разі застосування для натискних та ковзних контактів.

Імерсійне олово (ImmSn) – ще одна альтернатива HASL-процесам.

Популярність ImmSn зростає внаслідок забезпечення доброї змочуваності і простоти процесу осадження. ImmSn забезпечує безпроблемне і краще паяння, ніж ENIG.

Раніше існували обмеження для застосування ImmSn через утворення інтерметалічних сполук CuXSnY. У такому випадку здатність до паяння зникала через два тижні, оскільки товщина імерсійного олова не перевищує 1 мкм і CuXSnY швидко поглинає цей тонкий шар.

Останнім часом технологію удосконалили і можливість зазначеного вище явища усунуто введенням бар'єрного металевого прошарку. Тепер здатність до паяння ImmSn (0,5-0,8 мкм) з бар'єрним прошарком (0,08-0,1 мкм) зберігається не менше року.

Переваги ImmSn з бар'єрним прошарком:

- відносно низька вартість процесу осадження;
- хороша і тривала здатність до паяння;
- плоска поверхня покриття (на відміну від HASL);
- хороші умови для забезпечення непаяних гальванічних з'єднань Press-Fit (запресовування штирів з'єднувачів у металізовані отвори плат).

Імерсійне срібло (ImmAg). Товщина ImmAg не перевищує 200 нм, тому витрати на реалізацію цього покриття незначні. Життєздатність ImmAg набагато вище, ніж OSP, але трохи менше, ніж ENIG. Може відбуватись зміна кольору покриття у процесі зберігання, складання та паяння, що є результатом забруднення повітряного середовища сульфатами і хлоридами. Пожовтіння не позначається на властивостях ImmAg. Застосування протиокислювальних покриттів гальмує процес пожовтіння і збільшує життєздатність покриття. ImmAg менш популярне в Європі, ніж у США, де воно більш доступне.

Для гнучких плат, якщо не задано інше, застосовують покриття олово-свинець з оплавленням.

Покриття нікелем на гнучкій частині застосовувати не рекомендовано внаслідок його крихкості. Через руйнування нікелю тріщини в захисному покритті будуть поширюватись по поверхні контактних площинок, що призведе до руйнування мідних провідників.

Особливості проектування гнучкої частини плати, обґрунтованість використання багатосарової структури

Під час проектування гнучких друкованих плат слід брати до уваги різні аспекти, зокрема, економічні, технічні, технологічні. Вартість матеріалів є визначальним чинником вартості жорстких друкованих плат, а для гнучких плат ця залежність значно посилюється оскільки вартість матеріалів для гнучких плат у два-три рази більше. У результаті аналізу чинників, що визначають функціональні та економічні показники гнучких друкованих плат загальною вимогою є забезпечення мінімальної кількості прошарків гнучкої частини друкованої плати.

На прийняття рішення стосовно кількості прошарків гнучкої частини впливають:

- кількість сигнальних провідників, які мають пройти через гнучку частину;
- ширина провідника, необхідна для протікання заданого струму;
- відстань між провідниками, необхідна для забезпечення електричної ізоляції;
- необхідність екранування електромагнітного випромінювання;
- імпеданс (хвильовий опір узгоджених ліній зв'язку);
- вимоги до напруги електричного пробоя;
- механічна форма гнучкої частини, що дозволяє прокласти усі необхідні провідники.

У процесі проектування гнучкої плати доводиться мати справу з деякими конструктивними елементами, що відсутні у жорстких друкованих плат. Такими елементами є округлення, вирізи, розрізи, елементи підсилення конструкції тощо. Приклади особливих елементів конструкції гнучких плат наведено на рис. 5.7.

Гнучкі друковані плати можуть мати доволі складну конфігурацію, необхідну для забезпечення бажаних функціонально-конструктивних властивостей кінцевого електронного пристрою. Приклад такої плати зокрема наведено на рис. 5.5. Крім прямих ділянок гнучких шлейфів можуть бути різноманітні відгалуження і з'єднання з сегментами жорстких друкованих плат. У місцях відгалужень та з'єднань плівки

основи та друковані провідники зазнають механічних впливів, що можуть призвести до їх руйнування. Тому, важливою процедурою є проектування контуру гнучкої плати.

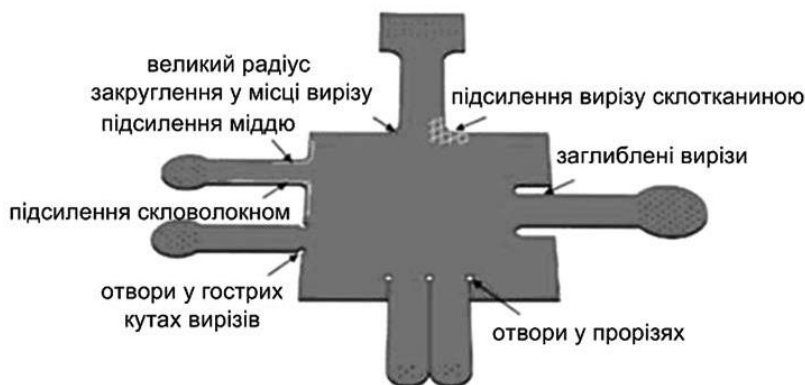


Рисунок 8.7 – Додаткові елементи конструкції гнучких друкованих плат

Для забезпечення необхідної міцності та довготривалості в експлуатації гнучкої друкованої плати необхідно усі відгалуження робити з урахуванням рекомендацій, сформованих на підґрунті накопиченого досвіду.

Мінімальний радіус у внутрішніх кутах контуру плати має становити 1,6 мм. Проте, більший радіус забезпечує більш високу надійність виробу і має кращу стійкість до розриву (рис. 5.7).

Для забезпечення підвищеної стійкості до розриву може бути необхідним використати додаткові матеріали у внутрішніх кутах. Найбільш ефективно використовувати не витравлену мідну фольгу і додаткове кріплення шлейфів у місцях, де не використовується їх гнучкість. Усі розрізи і вирізи треба закінчувати отвором діаметром 1,5 мм або більше, як наведено на рис. 5.7. Це особливо важливо, якщо сусідні частини гнучкої плати мають рухатись незалежно.

Світовий досвід виготовлення та експлуатації гнучких друкованих плат дозволив сформувані нижченаведені рекомендації щодо розташування конструктивних елементів поблизу контурів плати.

Мінімальна відстань між зовнішнім краєм плати і внутрішнім краєм не металізованих отворів (або внутрішніх вирізів) має бути не менше 0,5 мм.

Мінімальна відстань від краю переходу (між гнучкою і жорсткою частинами) до внутрішнього краю металізованого отвору має бути не менше 1,9 мм.

Товщина різних частин плати жорсткої частини багатопшарових гнучких і гнучко-жорстких плат мають бути однакової товщини для забезпечення коректної металізації отворів.

Вкрай небажано закладати різну товщину для кількох жорстких частин. Це може не тільки підвищити вартість виготовлення проекту, але і призвести до неможливості його практичної реалізації. Найкращим рішенням є однакова структура для всіх жорстких частин гнучко-жорсткої плати.

Провідники гнучкої частини. Для забезпечення максимального динамічного часу життя (тип використання – категорія В) і максимальної надійності із

забезпеченням статичної гнучкості (тип використання – категорія А) провідники у гнучкій частині (рис. 8.8) слід проектувати з дотриманням таких умов:

- перпендикулярність до напрямку вигину;
- рівномірний розподіл в зоні вигину;
- максимальна ширина в зоні вигину;
- відсутність додаткової нарощеної металізації;
- постійна ширина;
- «шахове» розташування в сусідніх шарах (рис. 8.9);
- кількість шарів в гнучкій частині має бути зведено до мінімуму;
- металізовані наскрізні отвори робити не можна;
- «нейтральна вісь вигину» повинна проходити через центр перетину провідника (рис. 8.9).

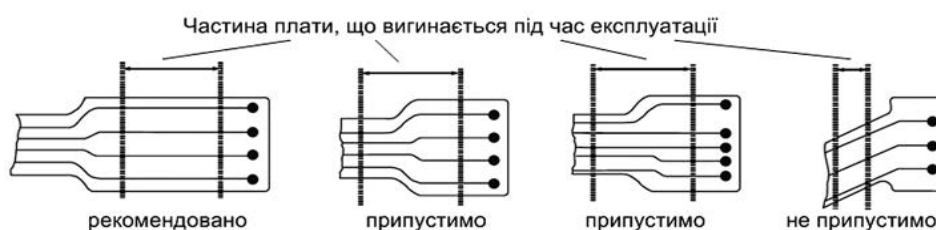


Рисунок 8.8 – Приклади конструкції гнучкої зони

Збалансованою є конструкція, в якій застосовано матеріали однакової товщини, що мають однаковий модуль жорсткості з обох сторін провідника. Це особливо важливо для гнучких друкованих плат призначених для застосування в динамічному режимі (рис. 8.9).

Розрахунок мінімального припустимого радіусу перегину (рис. 8.10) для однієї гнучкої плати слід робити із застосуванням формули

$$R = C (100 - EB) / 2EB - D, \quad (5.1)$$

де R – мінімальний радіус перегину, мм;

C і D – товщина міді і діелектрика відповідно, мм;

EB – величина деформації міді, %.

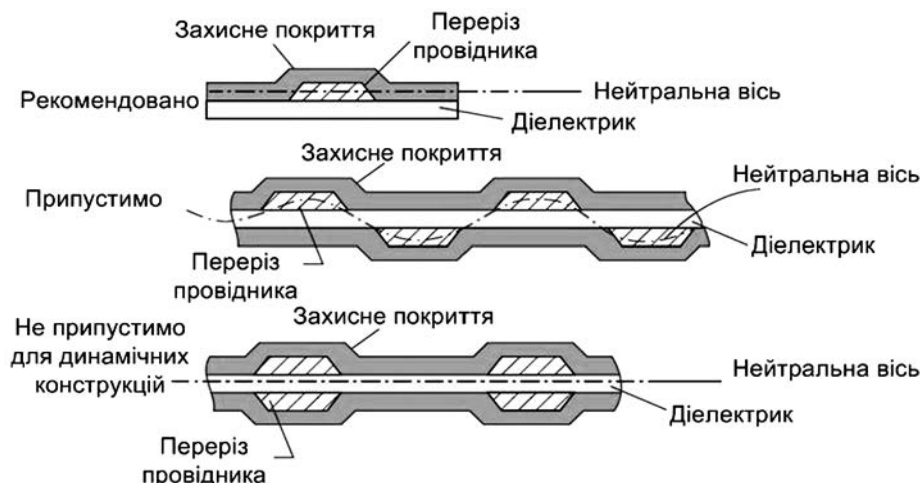


Рисунок 8.9 – Схема розташування провідників у перерізі гнучкої плати

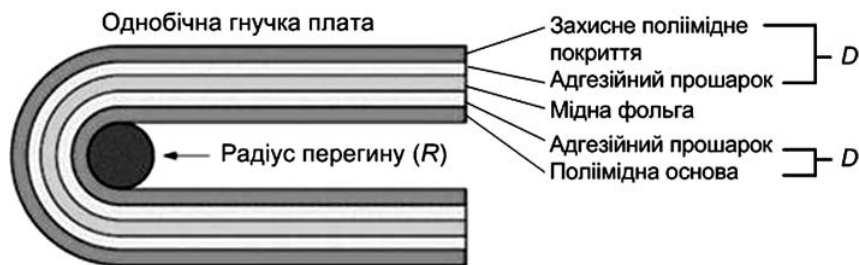


Рисунок 8.10 – Схематичне зображення гнучкої плати у місці перегину

На підставі припустимої величини деформації міді, можна визначити мінімальний радіус перегину. Для проектів з одноразовим згинанням використовують граничне допустиме подовження міді на розрив 16%, зі згинанням плати під час її встановлення – 10%, а для динамічних гнучких застосувань – 0,3%.

Приклад. Обчислимо радіуси перегину для однобічної плати. Для розрахунку візьмемо такі значення товщини прошарків різних матеріалів: поліімід 50 мкм, адгезив 25 мкм, мідь 35 мкм. Отже, $D = 75$ мкм, $C = 35$ мкм.

Розв'язання. Загальна товщина гнучкої плати $T = 185$ мкм. Для плати з одноразовим згинанням ($EB = 16\%$) мінімальний радіус перегину за формулою (5.1) – $R = 16,9$ мкм, а відношення $R/T = 0,09$. Для гнучкої друкованої

плати, для якої передбачено перегин для установаження ($EB = 10\%$) $R = 0,08$ мм, $R/T = 0,45$. Для гнучкої друкованої плати призначеної для багаторазових перегинів ($EB = 0,3\%$) $R = 5,74$ мм, $R/T = 31$.

Щоб оцінити, як змінюються вимоги до радіуса перегину у разі збільшення кількості провідникових шарів, розглянемо вимоги до радіусу перегину двобічної гнучкої друкованої плати. Під час розрахунку вважаємо, що товщина окремих прошарків має такі значення: поліімід 50 мкм, адгезив $25 \cdot 2 = 50$ мкм, мідна фольга $35 \cdot 2 = 70$ мкм. Таким чином, товщина ламінованого діелектрика становить $d = 100$ мкм, товщина одного шару мідної фольги $C = 35$ мкм. Загальна товщина гнучкої друкованої плати становитиме $T = 2D + d + 2C = 320$ мкм.

Радіус перегину для двобічної плати буде

$$R = (d/2 + C) \cdot (100 - EB) / (EB - D). \quad (8.2)$$

Мінімальний радіус перегину для двобічних плат різного призначення, визначений за формулою (5.2) становитиме:

– для плати, розрахованої на одноразове згинання ($EB = 16\%$) – $R = 0,371$ мм, $R/T = 1,16$;

– для плати, гнучкість якої розраховано для установаження в апаратурі ($EB = 10\%$) – $R = 0,69$ мм, $R/T = 2,15$.

– для плати, призначеної для багаторазових перегинів ($EB = 0,3\%$) – $R = 28,17$ мм, $R/T = 88$.

З наведених прикладів випливає, що збільшення кількості провідникових шарів у гнучкій платі призводить до значного збільшення мінімального радіусу перегину. У

разі проектування гнучкої друкованої плати з кількома про-відниковими прошарками для забезпечення необхідної гнучкості може бути використано конструкцію без склеювання окремих прошарків у гнучкій зоні друкованої плати.

Важливе значення для забезпечення надійності гнучкої та гнучко-жорсткої друкованої плати має правильне виконання безпосереднього з'єднання гнучкої та жорсткої частин.

Край жорсткої плати (елемент зміцнення конструкції), що безпосередньо контактує з гнучкою частиною, необхідно спроектувати зі скошеною фаскою або радіусом, або його слід пом'якшити нанесенням додаткового шару адгезиву для запобігання пошкодження гнучкої частини (рис. 5.11).



Рисунок 8.11 – Конструктивні елементи для з'єднання гнучкої та жорсткої частин друкованої плати

Іноді використовують адгезивні потовщення (антидеформаційне підсилення) на межі переходу між жорсткою і гнучкою частинами плати типу 4 або по краю елемента підсилення, а для плат типів 1, 2, 3 з частковим підсилення. Як матеріал для потовщення (елементи підсилення) може бути використано гнучкі епоксидні композиції, акрили, силікони, полісульфіди та інші матеріали. Потовщення від краю твердої частини зазвичай роблять завбільшки 1,0...2,5 мм. Такі потовщення рекомендовано використовувати з метою зменшення різких навантажень на матеріали в точці переходу.

ТЕМА 9

УСТАНОВКА КОМПОНЕНТІВ НА ДРУКОВАНИХ ПЛАТАХ

Головним напрямом при виробництві електронних модулів залишається зниження собівартості зборки і монтажу друкованих плат при підтримці стабільно високого рівня якості. Операція установки компонентів на друковану плату багато в чому визначає економічність і продуктивність цього процесу. Автоматичні системи для зборки електронних модулів у все більшій мірі орієнтуються на програмне забезпечення. Це комп'ютеризована техніка, керована потужними контролерами, здатними обробити великий об'єм інформації в реальному часі, з широким спектром функцій. Безумовно, як механічні, так і програмні функції устаткування стають складнішими, але завдання полягає в тому, щоб забезпечити навіть простіше управління як окремою машиною, так і комплексною лінією на рівні оператора.

Виробництво друкованих плат на стадії складально-монтажних операцій включає наступні основні етапи:

- підготовка компонентів і матеріалів;
- нанесення адгезиву (клеївши) і паяльної пасти;
- установка компонентів;
- затвердіння клею.

9.1 Компоненти для установки на друкованих платах

Відомі два основні варіанти конструкцій вузлів на ДП:

з використанням монтажних отворів на ДП для установки компонентів, що мають виводи (традиційний монтаж) з установкою компонентів на поверхні ДП без застосування монтажних отворів (поверхневий монтаж).

На практиці зустрічається декілька різних варіацій конструкцій вузлів, серед яких можна виділити характерні групи (рис. 9.1):

Тип I – на двох сторонах плати розміщуються тільки поверхнево-монтовані компоненти, тип пайки на обох сторонах - оплавлення дозованої нанесеної пасти припою;

Тип II – з використанням на лицьовій стороні поверхнево-монтованих і вивідних, встановлюваних в отвори, на зворотному боці розміщуються тільки пасивні чип-компоненти, зворотна сторона паяється хвилею припою;

Тип III – на лицьовій стороні тільки вивідні компоненти, на зворотній – тільки пасивні чип-компоненти, уся плата паяється хвилею припою.

Для того, щоб забезпечити таку можливість, треба друковану плату сконструювати відповідним чином.

За складністю монтажу плати поділяють на кілька класів:

A – друковані плати призначені тільки для монтажу компонентів з виводами для монтажу;

B – друковані плати призначені тільки для монтажу SMD компонентів;

С – друковані плати призначені для монтажу електронних компонентів двох попередніх класів (найпростіший монтаж);

Х – друковані плати призначені для монтажу електронних компонентів попередніх класів та нових груп (складний монтаж із застосуванням технологій TH, SM, fine pitch та BGA);

У – друковані плати призначені для монтажу електронних компонентів попередніх класів та нових груп (складний монтаж із застосуванням вивідних компонентів, SMD компонентів, ultrafine pitch та CSP);

Z – друковані плати призначені для монтажу електронних компонентів попередніх класів та нових груп (складний монтаж із застосуванням вивідних компонентів, SMD компонентів, ultrafine pitch, COB, flip-chip та TAB).

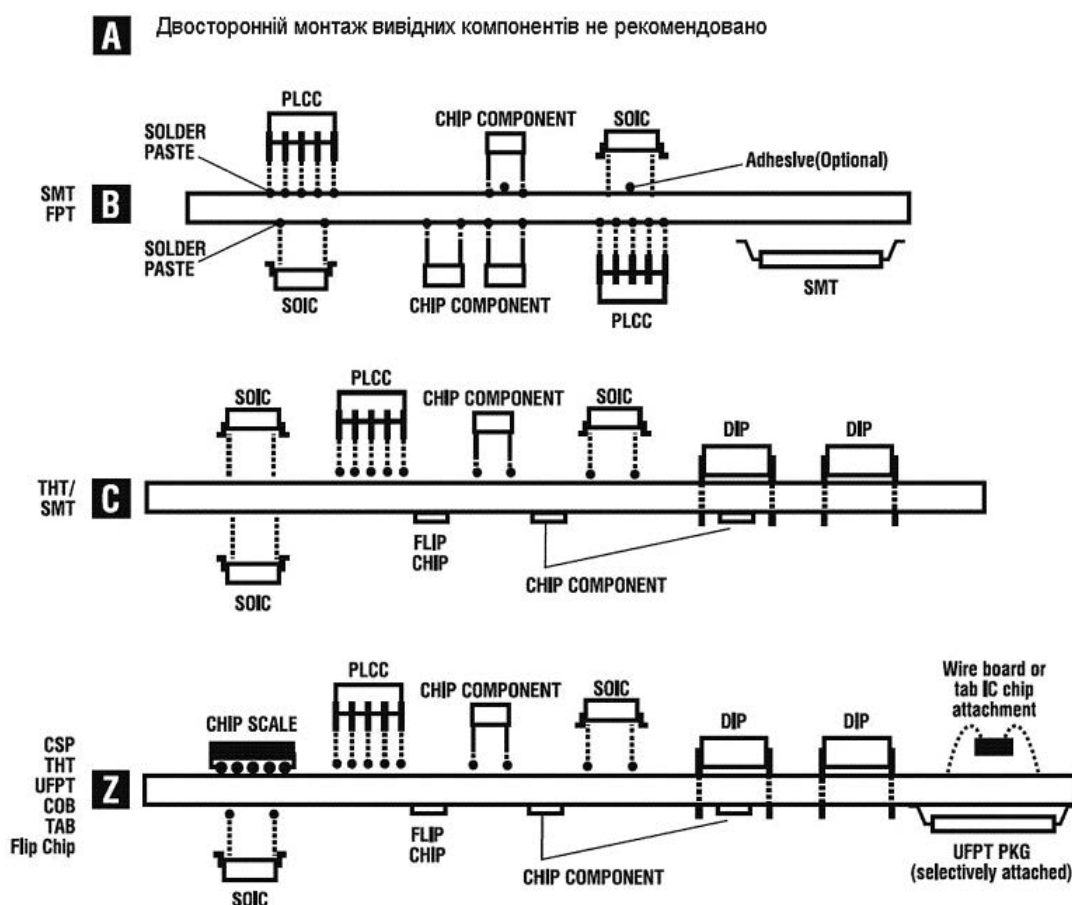


Рисунок 9.1 – Приклади класів плат за складністю монтажу

Друковані плати (а також комплектація, технологія складання електронних блоків, їх ремонт тощо) може бути віднесено до одного з трьох класів виробів:

1 клас. Електронні вироби загального призначення (побутова електроніка). До цього класу віднесено товари широкого вжитку, деякі комп'ютери та комп'ютерну периферію. У друкованих платах, призначених для цього класу виробів, незначні недосконалості не грають великої ролі, і головною вимогою є нормальне функціонування кінцевого електронного блоку.

2 клас. Спеціалізовані електронні вироби (промислова електроніка). До цього класу належить телекомунікаційне обладнання, складні промислові комп'ютери та

інструменти, де потрібні високі експлуатаційні характеристики і тривалий термін використання. У цих пристроях безперебійна робота бажана, але не обов'язкова. Певні косметичні недосконалості допустимі.

3 клас. Електронні вироби високої надійності (спецтехніка). До цього класу віднесено обладнання, для якого безперебійна робота є вирішальною. Вимушена зупинка обладнання є неприпустимою, воно має функціонувати весь час, коли потрібно. Наприклад, це системи підтримки життєзабезпечення або система контролю за польотами. У цьому класі необхідно забезпечити високий рівень надійності, безперебійне функціонування, експлуатаційні вимоги є дуже жорсткими.

9.2 Параметри сучасних пасивних електронних компонентів

Залежно від конструкції корпусу компонента і форми виводів можна виділити три основні групи компонентів :

Поверхнево-монтовані компоненти (surface mount component - SMC або surface mount device – SMD). До цієї групи відносяться пасивні компоненти (резистори, конденсатори, індуктивності) в корпусах, що не мають виводів (0805, 0603, MELF), НИМ і інші напівпровідникові прилади у базових технологічних корпусах SO, PLCC, OFP, BGA, TAB, flip - chip, COB, DCA, а також компоненти, аналогічні по виконанню.

Вивідні компоненти (Pin Through Hole - PTH або Through Hole Assembly - THA). Група включає традиційні пасивні і активні компоненти з осьовими (аксіальними) і радіальними виводами, а також інтегральні схеми в корпусах типу DIP (Dual in - line Package).

Нестандартні компоненти (Odd Form Component – OFC). До цієї групи відносяться вивідні компоненти, що не увійшли до 2 групи, і що включає з'єднувачі, роз'єми, трансформатори, колодки, утримувачі, екрани і так далі. Група є найдинамічнішою, оскільки зусиллями виробників ряд нестандартних компонентів або стає поверхнево-монтованими, або переходить в категорію стандартних аксіально-радіальних.

У складі сучасної апаратури реєстрації інформації пасивні електронні компоненти становлять трохи більше 2% за вартістю, але приблизно 70% за кількістю (а в деяких пристроях – до 90...95%).

За класифікацією Європейської асоціації промисловості пасивних компонентів (European Passive Components Industry Association – EPCIA) до пасивних електронних компонентів (ПЕК) віднесено:

- конденсатори;
- резистори;
- варистори;
- терморезистори і датчики;
- котушки індуктивності, дроселі та трансформатори;
- фільтри електромагнітних завад (протизавадні фільтри);
- високочастотні фільтри (на поверхнево-активних хвилях або мікрохвильовій

кераміці).

До ПЕК належать також п'єзоелектричні компоненти, електронні з'єднувачі, реле, перемикачі. Проте частіше ці комплектуючі виокремлюють в окрему групу електромеханічних компонентів.

Геометричні параметри найбільш поширених пасивних електронних компонентів для поверхневого монтажу наведено на рисунку 9.2.

Позначення корпусів резисторів для поверхневого монтажу та значення геометричних величин наведено в таблиці 9.1.

Стандартне позначення пасивних чіп-компонентів складається з 4 цифр, що несуть інформацію про розмір компонента, наприклад: 0402 – довжина компонента 4 мілідюйми, ширина 2 мілідюйми. Для більшості пасивних компонентів прийнята дюймова система позначення їх корпусів. Загальносвітове споживання чіп-компонентів швидко росте. Основна тенденція – зменшення розмірів, проте прогрес в цьому напрямі поступово сповільнюється із-за збільшення вартості компонента зі зменшенням його розміру, а також із-за втрати коефіцієнта відтворюваності багатьох складальних систем при переході, приміром, від чіпів 0402 до 0201.

Мініатюризація РЕА примушує виробників ПЕК налагоджувати виготовлення все менших за розмірами компонентів і зміщує структуру попиту на чіп-компоненти в бік малих розмірів. Зокрема, на тепер серед керамічних чіп-конденсаторів найбільш широко застосовують елементи типорозмірів 0201 (0,6x0,3 мм), 0402 (1x0,5 мм) і 0603 (1,6x0,8 мм).

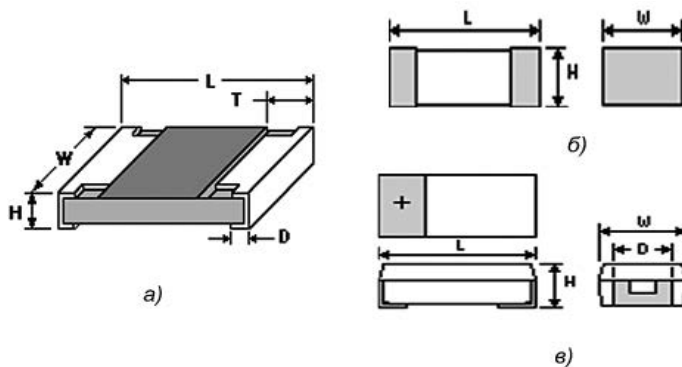


Рисунок 9.2 – Найбільш поширені пасивні компоненти для поверхневого монтажу: а – резистор, б – керамічний конденсатор, в – танталовий конденсатор



Рисунок. 9.3 – Зовнішній вигляд чіп-резистора

Таблиця 9.1 – Типорозміри резисторів для поверхневого монтажу

Типорозмір EPCIA	Типорозмір метричний	L (мм)	W (мм)	H (мм)	D (мм)	T (мм)
0402	1005	1,0±0,1	0,5±0,05	0,35±0,05	0,25±0,1	0,2±0,1
0603	1608	1,6±0,1	0,85±0,1	0,45±0,05	0,3±0,2	0,3±0,2
0805	2012	2,1±0,1	1,3±0,1	0,5±0,05	0,4±0,2	0,4±0,2
1206	3216	3,1±0,1	1,6±0,1	0,55±0,05	0,5±0,25	0,5±0,25
1210	3225	3,1±0,1	2,6±0,1	0,55±0,05	0,4±0,2	0,5±0,25
2010	5025	5,0±0,1	2,5±0,1	0,55±0,05	0,4±0,2	0,6±0,25
2512	6332	6,35±0,1	3,2±0,1	0,55±0,05	0,4±0,2	0,6±0,25

Розпочато серійне виготовлення дуже малих керамічних конденсаторів і резисторів типорозміром 01005 (0,4x0,2 мм), які, наприклад, встановлюють в проміжку між выводами мікросхеми з кроком 0,5 мм із зазорами між ламелями і чіпкомпонентом 15 мкм. Зараз виробники вивчають питання про можливість використання ще менших мініатюрних компонентів – 0,24x0,12 мм.

Геометричні розміри найбільш уживаних керамічних та танталових конденсаторів наведено у таблицях 9.2 та 9.3 відповідно.

Таблиця 9.2 – Типорозміри керамічних конденсаторів поверхневого монтажу

Типорозмір EIA	Типорозмір метричний	L (мм)	W (мм)	H (мм)
0402	1005	1,0	0,5	0,55
0603	1608	1,6	0,8	0,9
0805	2012	2,0	1,25	1,3
1206	3216	3,2	1,6	1,5
1210	3225	3,2	2,5	1,7
1812	4532	4,5	3,2	1,7
1825	4564	4,5	6,4	1,7
2220	5650	5,6	5,0	1,8
2225	5664	5,6	6,3	2,0

Таблиця 9.3 Типорозміри танталових конденсаторів для поверхневого монтажу

Типорозмір	Типорозмір метричний	L (мм)	W (мм)	H (мм)	D (мм)
A	3216	3,2	1,6	1,6	1,2
B	3528	3,5	2,8	1,9	2,2
C	6032	6,0	3,2	2,5	2,2
D	7343	7,3	4,3	2,9	2,4
E	7343H	7,3	4,3	4,1	2,4

Пасивні компоненти для поверхневого монтажу виготовляються в двох модифікаціях: у вигляді циліндра (тип MELF – Metal Electrode Face bonding) і чіпа (паралелепіеда).

Керамічні чіп-конденсатори є структурою з діелектричних шарів кераміки і металевих плівок, що замикаються на бічні виводи-електроди, що чергуються. Зовні вони мало відрізняються від чіп-резисторів. Із-за багат шарової структури керамічні конденсатори сприйнятливі до теплового удару, тому швидкість попереднього нагріву при пайці не повинна перевищувати 2 °З/сек., а різниця температур між конденсатором і ванною з розплавленим припоєм не повинна перевищувати 100°C.

Приблизно у такому ж виді виготовляються і інші компоненти: індуктивності, танталові конденсатори, а також деякі типи діодів. Велику різноманітність видів і номіналів компонентів при невеликій відмінності конструкцій їх корпусів має найважливіше значення, оскільки дозволяє використовувати уніфіковане устаткування для установки компонентів на поверхню ДП.

Інтегральні компоненти. Значна більша різноманітність конструкцій корпусів спостерігається у мікросхем. Можна виділити 4 типи корпусів :

З вертикальними виводами, розташованими перпендикулярно площини корпусу НІМ (DIP, PGA).

З плоскими виводами, що виходять паралельно корпусу НІМ (Flat Pack - SO, PLCC, QFP, TAB).

Безвивідні корпуси (металізація контактних майданчиків на бічних стінках корпусу - LCCC).

З кульковими виводами на нижній площині корпусу (BGA - Ball Grid Array, flip - chip).

Конструкція корпусів ІМ першої групи характерна для традиційного монтажу, оскільки вимагає наявності на платі настановних отворів, в які мікросхема запаюється, або так званих «ліжечок» – настановних панелей, в які мікросхема вставляється без пайки.

Корпуси DIP виготовляються з кроком виводів 2,5 мм, кількість виводів від 16 до 64, маса від 1 до 12 р. Корпусу PGA застосовуються для мікропроцесорів і НІМ високій мірі інтеграції. Як правило, вони дуже дорогі і встановлюються в «ліжечка» (socket). Крок між виводами не менше 2,5 мм, кількість виводів від 68 до 387. На корпусі можуть розташовуватися пасивні чіп-компоненти для розв'язки електричних ланцюгів. Корпуси PGA виготовляються з кераміки або пластмаси і використовуються, як правило, з примусовим охолодженням (вентилятор на верхній кришці). При великій кількості виводів мікросхеми мають істотні масо-габаритні показники (маса до 84 г, розміри до 66x66 мм).

Друга група корпусів (рис. 9.4) – найпоширеніша, має багато підвидів. Відмітимо два різновиди групи.

Власне FP – прямокутна або квадратна плоска упаковка (QFP). Виводи розташовані з двох або чотирьох сторін, кількість виводів – від 6 до 304, крок виводів – від 1,27 мм до 0,25 мм, габарити корпусу на платі (довжина і ширина) – від 5x5 мм (32 виводи при кроці 0,5 мм) до 40x40 мм (304 виводи, крок 0,5 мм).

Для QFP процес нанесення паст припоїв методами трафаретного друку на контактні майданчики ДП залишається найкритичнішим процесом, що викликає

зниження коефіцієнтів відтворюваності складальної системи. Це призводить до ускладнення відносно простих автоматичних верстатів для трафаретно-го друку, оскільки в таких автоматах не обійтися без автоматичного оптичного контролю кількості і якості нанесення пасти припою. Особлива увага для цих корпусів приділяється акуратному зверненню при формуванні його виводів, тестуванні і транспортуванні на зборку: для кроків виводів 0,635 мм і менш товщина виводів невелика і вони легко деформуються.

ТАВ (Tape Automated Bonding, або TSP – Tape Carrier Package) – в технології ТАВ кремнієві кристали кріпляться до полімерної стрічки, на яку нанесені металеві плівкові провідники, що формують внутрішні з'єднання виводів кристала. Приєднання виводів чіпа до зборки наступного рівня (друкованої платі) досягається за допомогою зовнішніх виводів полімерної стрічки. Для з'єднання зовнішніх виводів ТАВ з підкладкою зазвичай використовуються методи контактної пайки, пайки гарячим газом або лазерного мікрозварювання. Зборка дуже компактна, висота не перевищує 0,75 мм. 320-вивідний корпус з кроком виводів 0,25 мм важить не більше 0,5 г і має габарити 24x24 мм. Для порівняння: 296-вивідний пластиковий QFP корпус важить 9,45 р. Технологія ТАВ освоєна обмеженим колом провідних технологічних фірм світу.

Третій тип корпусів – LCCC (безвивідні кера-мічні або пластикові кристаллоносители, рисунок 9.4). Виконується корпус з пластика або кераміки. Кількість виводів – від 5 до 84. Крок виводів від 1,27 мм до 0,5 мм. Відсутність виводів дозволяє збільшити щільність компонування вузлів. Дещо більше ускладнений контроль паяних з'єднань корпусу з контактними майданчиками ДП, оскільки частина паяного з'єднання знаходиться під корпусом мікросхеми. Крім того, для корпусів великих розмірів актуальними стають дефекти паяних з'єднань, викликані втомним руйнуванням металу припою із-за термоцикування в процесі експлуатації виробу.

Четвертий тип корпусів для ІМ – компоненти BGA (Ball Grid Array – кулькові виводи з матричним роз-ташуванням) і технологія CSP (Chip - Scale Packages), фліп-чіп (flip chip). Відмінною рисою корпусів є наявність кон-тактів на нижній площині корпусу у ви-гляді кулькових виводів. Така конст-рук-ція корпусу дозволила збільшити крок виводів, і для більшості корпусів він складає 1,0 або 1,27 мм, що спрощує розводку провідників на ДП. Кількість виводів корпусу від 36 до 2401, при цьому габарити від 7x7 до 50x50 мм. Висота корпусу не перевищує 3,5 мм. Крім того, кулькові виводи на основі SnPb сплаву дали дивне послаблення технологам при виконанні операцій установки корпусу на плату: неточність попадання виводів на контактний майданчик ДП може скласти до 50%! Вся річ у тому, що при оплавленні пасти припою на контактних майданчиках під час пайки за рахунок сил поверхневого натягнення розплавленого припою відбувається самоцентрування корпусу мікросхеми.

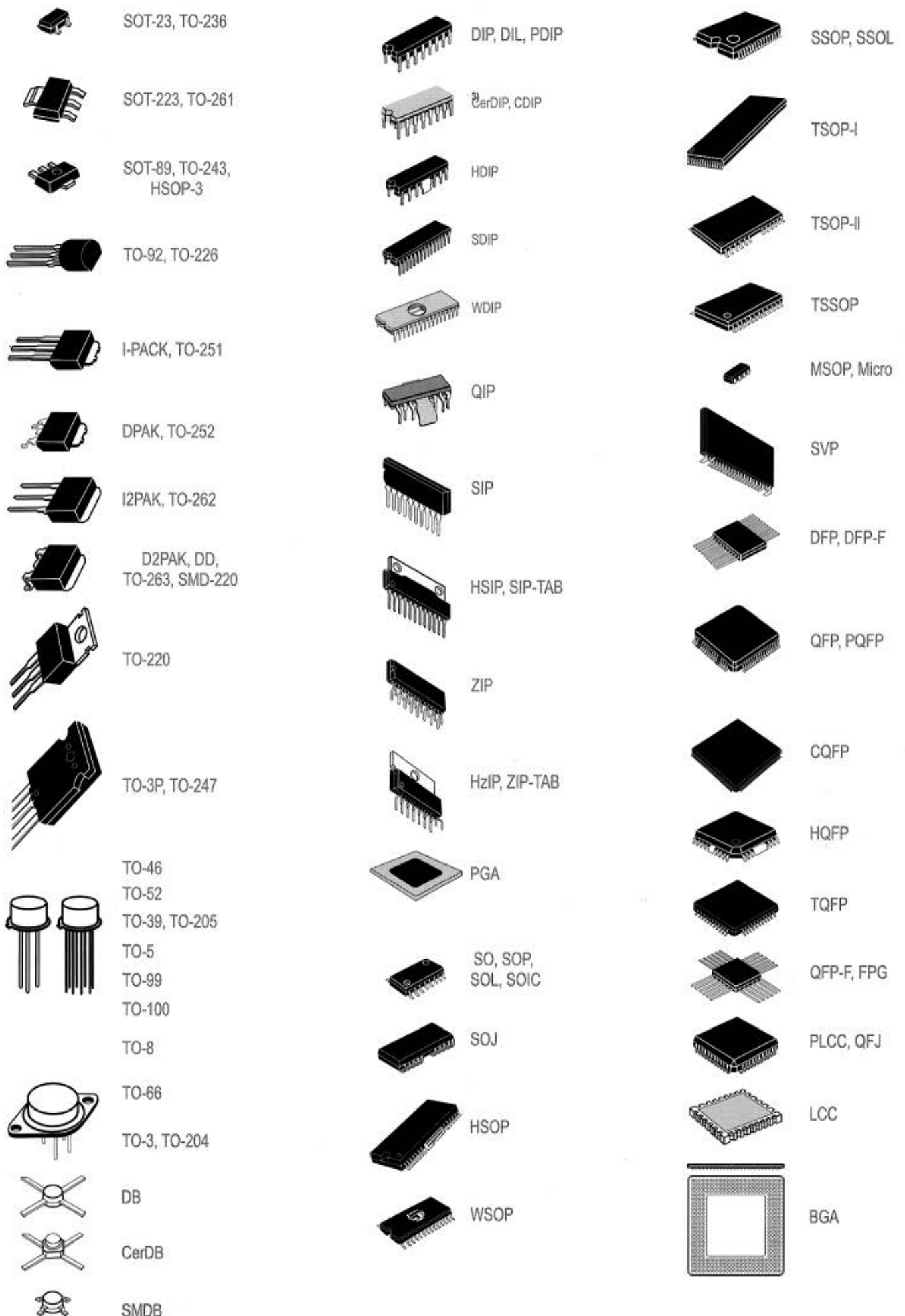


Рисунок 9.4 – Корпуси сучасних активних електронних компонентів

Недоліком корпусів типу BGA є ускладнений контроль операції пайки і ремонт вузлів. Для контролю з'єднань BGA у вузлі використовуються найчастіше рентгенівське устаткування. Останніми роками інфраструктура BGA розвивалася нестримно, і зараз відомі багато видів цього типорозмера, включаючи пластикові, керамічні, металеві, і інші, а також мікро-BGA, відкриті кристали, що нагадують собою. BGA прийнятніше там, де кількість каналів введення/виводу ІС перевищує 256.

CSP зазвичай визначається як компонент, розміром не більше ніж на 20 % розмір самого кристала (мал. 10.1.7), що перевищує. Першочерговими сферами застосування цих компонентів є мікросхеми пам'яті (особливо флеш), аналого-цифрові перетворювачі, процесори цифрової обробки сигналу, а також мікросхеми спеціального застосування (ASIC) і мікропроцесори.

Технологія фліп-чип є Si -кристалл, безпосередньо встановлюваний на комутаційну підкладку вузла (наприклад, ДП) лицьовою стороною вниз, на якій виконані зовнішні контакти у вигляді кульок припоїв з більше тугоплавкого сплаву, ніж SnPb. Через те, що виводи формуються на кремнієвому кристалі мікросхеми, крок виводів є дуже малим і складає 0,152 мм, що призводить до ускладнення ДП. Переваги технології :

- економія місця на ДП;
- малі габарити і вага вузла з такими компонентами;
- зниження вартості матеріалів (у кристала немає корпусу);
- скорочення довжини електричних з'єднань, що забезпечує кращі електричні параметри;
- менша кількість з'єднань, що скорочує кількість потенційних точок відмови і забезпечує ефективніше відведення тепла.

Технологія популярна останніми роками, але має і свої недоліки:

- дорожня технологія формування кулькових виводів у кристала;
- надзвичайно щільна розводка плати під посадочне місце для фліп-чипа, що призводить до підвищення витрат на виготовлення плати;
- більший об'єм роботи технологів по оптимальному вибору флюсуєчих речовин і адгезивов залежно від виду фліп-чипа, підкладки і процесу;
- труднощі контролю якості в технології фліп-чипов, а також ремонту плат з їх застосуванням.

Нестандартні і вивідні компоненти. Автоматизація зборки на плати нестандартних компонентів дуже дорога через їх малу кількість на платі і велику різноманітність типів конструкцій. Проте останні роки автоматизація процесів, пов'язаних з нестандартними компонентами, розвивається дуже активно, що приносить виробникам електронних модулів істотні переваги. Швидко розвивається інфраструктура підтримки цього напрямку технології. Розробляються нові типи корпусів, близькі по формах до стандартних, які здатні витримувати високі температури при пайці оплавленням паст припоїв. Останнім часом електронна промисловість світу швидко рухається до встановлення єдиних стандартів

складально-монтажних технологій при використанні нестандартних компонентів.

Складально-монтажні технологічні процеси із застосуванням традиційних вивідних компонентів стояли у витоків автоматизації зборки вузлів РЗА. У свою чергу, зародження технології монтажу на поверхню і її бурхливий ріст в 80-90-і роки породили думку про те, що компоненти з традиційними виводами доживають свій вік. Проте технологія зборки вивідних компонентів вижила перед лицем монтажу на поверхню, показавши себе досить конкурентоздатній по ряду найважливіших чинників.

Інфраструктура технології монтажу в отвори набагато простіша і ефективніша, ніж технології монтажу на поверхню. Це призводить до того, що у виробництві галузевого технічного забезпечення, що розвивається, складальні процеси завжди починають з технології вивідних компонентів, що вигідно і з економічних причин, оскільки електронні вироби спеціального призначення у кращому разі є малосерійними з пригнічуючим застосуванням вивідних компонентів.

У сучасній технології зборки вивідних компонентів можна відмітити наступні тенденції:

– вона розвивається в тих галузях, де відчувається недолік інвестицій, де низька вартість робочої сили, і де кваліфікація операторів, обслуговуючого персоналу і технологів знаходиться в стані розвитку;

– у ряді випадків повністю відсутні компоненти в поверхнево-монтажному виді або вони занадто дорогі. Це силові пристрої (регулятори напруги, транзистори, діоди, резистори), а також ряд електролітичних конденсаторів, потенціометрів, індуктивностей, реле і оптоелектронних пристроїв.

Провідні виробники устаткування для складально-монтажних процесів в технології вивідних компонентів бачать своїм головним завданням в найближчому майбутньому значне поліпшення технології зборки і розробки машин і систем нового покоління. Підтримка і інвестиції цього напрямку гарантовані, оскільки навіть зараз технологія монтажу в отвори забезпечує найбільш низьку вартість і найбільш високу продуктивність (у перерахунку на 1 м² займаної площі), а тому має дуже міцні позиції в значній кількості складальних виробництв.

ТЕМА 10

ЗБІРКА МОДУЛІВ ТА ПАЙКА НА ДРУКОВАНИХ ПЛАТАХ

10.1 Установка компонентів на ДП

Установка компонентів на ДП є найбільш важливою і складною операцією в технологічному циклі. Продуктивність установки компонентів на плату визначає загальну продуктивність монтажної ділянки.

Найбільш простий, але малопродуктивний метод установки компонентів – ручний, за допомогою відповідного інструменту. В цьому випадку велику роль грають суб'єктивні чинники, рівень професіоналізму і досвід оператора. Установка складних і дрібних компонентів віднімає у оператора багато часу, а для установки компонентів в корпусах BGA потрібне спеціальне устаткування. Зменшення кроку компонентів і розмірів контактних майданчиків призводить до підвищення необхідної точності установки компонента на плату. Якщо для DIP компонента з кроком 2,5 мм достатня точність $\pm 0,25$ мм, то для кроку 0,63 мм вона зростає до $\pm 0,05$ мм, а для кроку 0,5 і менше ± 25 мкм. Витримувати і зберігати таку точність впродовж робочої зміни операторові у край складно, тому для поверхневого монтажу характерніша напівавтоматична або автоматична збірка.

Напівавтоматична збірка. З практики склалися наступні вимоги по точності позиціонування компонентів. На контактний майданчик (КП) повинні доводитися не менше 60% ширини виводу і виступ за межі КП не повинен перевищувати 25 мкм. Розміри КП і відстані між компонентами найбільш важливі з точки зору технологічності. Щільність компонування визначає і цінові критерії установки компонентів, пайки, очищення, перевірки і ремонтпридатності.

Найпростішими пристроями для установки поверхнево монтованих компонентів є ручні маніпулятори, які зазвичай складаються з наступних вузлів:

- базовий пристрій з пантографом;
- голівка з автоматичним вакуумним захопленням;
- вбудована вакуумна помпа або зовнішній компресор;
- набір вакуумних наконечників;
- карусельний живильник для подачі компонентів з розсипу.

Установка полягає, як правило, з робочого поля, на якому закріплюється плата. Над нею в напівавтоматичному режимі переміщається вакуумна присоска, призначений для захоплення і переміщення компонента з накопичувача на його місце на платі. Устаткування комплектується набором різних накопичувачів для компонентів (стрічки, пенали або піддони). Напівавтомати по установці компонентів дозволяють монтувати до 400÷500 компонентів в годині.

Автоматична зборка. Найбільш складним, дорогим і високопродуктивним устаткуванням є автоматичні установники. Принцип їх роботи полягає в наступному. Файли САПР транслуються в старанні програми, за допомогою яких монтажна голівка пристрою автоматично переміщає компонент з накопичувача на місце його монтування на платі. Продуктивність автоматичних установників компонентів може

доходить до 100 тис. компонентів в годину. Номенклатура встановлюваних компонентів від обмеженого числа чіпів і мікросхем, найбільш простих для установки, до складних компонентів, таких як чіпи 0402 і 0201, НІМ з кроком виводів менше 0,6 мм і корпусів з кульковими виводами (BGA). Найбільш дороге устаткування дозволяє монтувати і деякі вивідні компоненти. Максимальна величина формату плат може досягати значення 457x508 мм. Формат голівок для захоплення і установки компонентів диктує обмеження на максимальну щільність монтажу плати. Обмеження на розміщення компонентів (проміжок між сусідніми корпусами, висота поруч розташованих корпусів) накладають також установки оптичного контролю якості нанесення паяльної пасти і пайки.

У автоматах установників велике значення має використовуване ПО. Бажано, щоб воно мало наступні можливості:

- оптимізації старанної програми установки компонентів з точки зору найбільш короткого переміщення голівки;
- моделювання роботи устаткування, що дозволяє обчислювати час збірки продукту без реального запуску автомата;
- збір статистичної інформації про параметри роботи устаткування;
- можливість відбракування помічених бракованих плат;
- захист від несанкціонованого або некваліфікованого доступу.

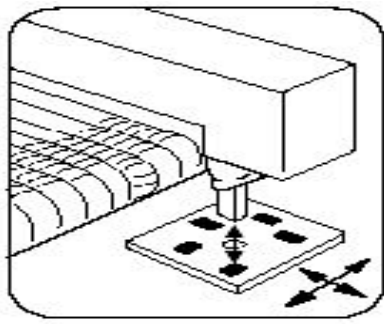
Вибір устаткування необхідно проводити виходячи з особливостей конструкції плати і продуктивності ділянки. При лабораторному виробництві оптимальне використання напівавтоматів. При великих обсягах виробництва потрібне використання автоматів, які окрім збільшення продуктивності підвищують якість виробу і знижують вірогідність помилок.

Способи позиціонування. У технології поверхневого монтажу компонентів розрізняють чотири способи позиціонування компонентів.

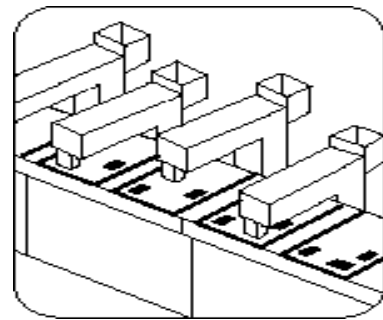
Конвеєрне позиціонування («потоково-послідовне»). Плата рухається по конвеєру уздовж декількох модулів позиціонування. Кожен модуль здійснює розміщення одного типу корпусів (рис. 10.1а).

Послідовне одиничне або групове позиціонування. Одна або дві керовані від ЕОМ монтажні голівки вибирають компоненти з живильників і встановлюють їх на платі. У деяких автоматах рухлива голівка переміщається в двох напрямках (X і Y). Більше за частоти застосовуються автомати, де під нерухому голівку підводиться рухливий стіл для позиціонування компонентів (рис. 10.1б).

Послідовно-паралельне позиціонування. Послідовно-паралельне позиціонування називають також синхронно-послідовним, оскільки воно здійснюється в декілька прийомів, причому за один прийом встановлюється відразу декілька компонентів в корпусах різної складності. В цьому випадку автомати мають координатний столик, на якому кріпиться плата і послідовно розташовані монтажні багатозахватні голівки. Столик за програмою може переміщатися по осях X - Y. Кожна голівка встановлює свій тип компонента або послідовно, або одночасно (рис. 10.2).



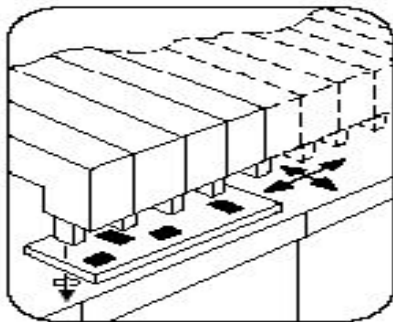
а)



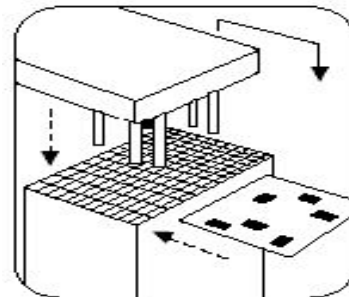
б)

Рисунок 10.1 – Послідовне одиничне або групове позиціонування

Масове або потоково-паралельне позиціонування. Багатозахватні голівки за один прийом встановлюють на плату великий набір компонентів. За одну операцію ними заселяється частина або уся плата (рис. 10.2б).



а)



б)

Рисунок 10.2 – Послідовно-паралельне позиціонування

Метод масового розміщення понад усе застосований до дуже високих об'ємів продукції, що випускається, з низькою мірою змішаної компонентів для різних типів монтажу. Автомати-укладальники, що використовують метод послідовного групового розміщення, можуть забезпечити високий рівень гнучкості виробництва, але з нижчою швидкістю позиціонування. Вони застосовуються у разі низького або середнього обсягу виробництва виробів з високою мірою змішаної монтажу. Послідовно-паралельні автомати якнайкраще пристосовані для середніх і високих об'ємів робіт при низькій мірі змішаної монтажу. У деяких автоматах передбачена можливість зміни монтажних голівок і захоплень. Це збільшує гнучкість виробничих ліній, хоча і знижує продуктивність.

Системи подачі компонентів. При розробці автоматів-укладальників використовують принцип довільного доступу, що полягає в тому, що компонент вибирається з живильника безпосередньо перед позиціонуванням. Існує декілька способів подачі компонента в монтажну голівку:

- компонент переноситься з живильника на місце установки за допомогою поворотної голівки вежі.

- монтажна голівка сама захоплює компонент безпосередньо з живильника і розміщує його на платі.

– живильники встановлюються на каретку, керовану ЕОМ, яка в потрібний момент подає на зборку необхідний компонент.

Від методу подачі компонентів залежить конструкція живлячих механізмів. Застосування поворотних голівок веж і рухливих кареток обмежене конструкцією і типоразмерами корпусів, що поставляються на стрічках - носіях. Живильники цього типу дозволяють робити високошвидкісну зборку. Автомати з такими системами живлення, як стрічки-носії компонентів, магазини-шини і комірчасті магазини, роблять захоплення кожного компонента окремо і мають низьку продуктивність, але вони мають велику гнучкість стосовно різних типів конструкцій компонентів.

Продуктивність автоматів-укладальників компонентів може складати від 500 до більш ніж 100000 компонентів в годині. Автомати сильно відрізняються один від одного по своїй гнучкості, методам позиціонування, рівню конструктивної складності, і підрозділяються на чотири групи:

А Автомати з продуктивністю менше 4000 компонентів в годині. Призначено для випуску невеликих партій виробів в науково-дослідних лабораторіях або досвідчених партій на етапі освоєння техніки поверхневого монтажу. Їх конструкція розробляється з урахуванням зручності роботи в період навчання фахівців. Сюди також входять високопрецизійні автомати для позиціонування PLCC.

Б Автомати з середньою продуктивністю 4000-6000 компонентів в годині. Велика частина цих машин має здатність до гнучкого перенастроювання.

В Високопродуктивні автомати: 9000-20000 компонентів в годині. Призначено для позиціонування чіп-компонентів в прямокутному корпусі або в корпусі типу MELF, а також компонентів в корпусі типу SO.

Г Автомати для масового виробництва: більше 100000 компонентів в годину. Вони можуть встановлювати тільки прості чіп-компоненти.

Продуктивність і рівень гнучкості автомата-укладальника обумовлюють потенційні можливості його застосування. Гнучкість укладальника визначається кількістю типоразмірів корпусів компонентів і конструкцій живильників, з якими він в змозі працювати. Малопродуктивні укладальники, що мають високу гнучкість, можуть працювати з усіма форматами упаковки компонентів (стрічка-носій, магазин-шина, комірчастий магазин), що поставляються. Гнучкість устаткування пов'язана з наступними чинниками:

А Обмеженою кількістю входів завантажуваних компонентів різних типоразмірів, зазвичай менше 60 (збільшення числа типоразмірів корпусів компонентів, з якими може працювати технологічна лінія, вимагає спільного використання декількох складальних модулів).

Б Високоточним позиціонуванням з використанням системи технічного зору, рекомендованої для установки компонентів з малим кроком виводів (менш 0,635мм).

В Перспективною концепцією для монтажних автоматів є концепція, де кожна одиниця устаткування вирішує як можна ширший круг завдань, а застосування окремого верстата для кожного окремого завдання буде неекономічним.

10.2 Пайка на друкованих платах

Пайка є поширеним способом монтажу компонентів у виробництві радіоелектронних вузлів. При цьому забезпечується і механічне кріплення виводів компонентів, і електричний контакт відповідно до електричної принципової схеми. При пайці дві металеві деталі (чи деталі з металевим покриттям) з'єднуються за допомогою припою – третього металу або сплаву. Деталі, що сполучаються, не розплавляються самі, розплавляється тільки припій. Тому пайка має більше щадний тепловий режим для деталей, ніж зварювання. Для отримання якісного паяного з'єднання, що має хороші характеристики міцності та електропровідності, необхідно забезпечити декілька наступних умов.

1. Отримати чисті металеві поверхні у деталей (видалити забруднення і плівки оксидів), що сполучаються, за допомогою технологічного флюсу.
2. Нагрівати припій вище за точку плавлення.
3. Забезпечити витіснення флюсу за допомогою припою.
4. Забезпечити розтікання рідкого припою по металевій поверхні;
5. Забезпечити дифузію атомів з твердої металевої фази в рідкий припій і навпаки – утворення сплавних зон.

Серед припоїв в радіоелектроніці найбільш широке поширення отримали припої на основі композиції олова і свинцю (ПОС). Сплав має особливу точку, звану точкою евтектики. У цій точці температура кристалізації припою складає 183°C , що значно нижче за точки плавлення Sn і Pb (232°C і 327°C).

Флюс є матеріалом, під впливом якого відбувається швидке і досконале змочування металевої поверхні деталей, що сполучаються, розплавленим припоєм завдяки впливу сил поверхневого натягнення (рис. 10.3). Крім того, флюс має властивість розчинення і видалення окисних шарів на металах, що контактують і захисту очищеної поверхні від нового окислення. Залишки флюсу повинні легко віддалятися, бути не змінювати електричні параметри початкового матеріалу і не викликати корозії. Поширені флюси на основі органічних кислот із смол хвойних порід дерев (каніфоль). Відома і велика кількість синтетичних матеріалів.



Рисунок 10.3 – Змочування металевої поверхні деталей, що спаюються

Змочування, як вирішальний чинник процесу пайки, може покращуватися за допомогою поверхнево-активних речовин флюсів. Якість змочування можна

визначити по крайовому куту змочування. Зменшення поверхневого натягнення припою в розплавленому стані призводить до зменшення кута змочування. Саме в процесі змочування створюються умови (разом з високою температурою) для створення дифузійних сплавних зон на межах розділу припою і металів, що сполучаються, які визначають характеристики міцності паяного з'єднання. Частенько міцність дифузійних сплавних зон перевищує міцність металів, що сполучаються. Останнім часом набирає силу рух за виключення свинцю як токсичного металу з електронних складок. У пошуках сплавів на заміну традиційної композиції SnPb досліджена велика кількість матеріалів, проте абсолютно рівноцінної заміни доки не знайдено. ПОС має практично оптимальні властивості для РЕА: хорошою змочуваністю, міцністю, пластичністю, зручною точкою плавлення, корозійною стійкістю, втомною міцністю, і, нарешті, вартістю.

Поява на ПП поверхнево монтованих компонентів істотно змінила технологію пайки. Пайка хвилею припою була впроваджена в середині минулого століття і до теперішнього часу є єдиним груповим методом пайки компонентів, що встановлюються в отвори Пп. Вона виконується найчастіше зануренням зворотної сторони плати з виступаючими выводами у ванну з припоєм. Для пайки плат зі змішаним монтажем (компоненти, що монтуються в отвори з одного боку плати і прості, монтовані на поверхню з іншою) був розроблений метод пайки подвійною хвилею припою.

Для пайки поверхнево монтованих компонентів була розроблена технологія оплавлення дозованого припою. Методами трафаретного друку припій у вигляді пасти наноситься на контактні майданчики ПП, потім на нього встановлюються компоненти. У ряді випадків пасту припою просушують після нанесення з метою видалення з її складу летких інгредієнтів або запобігання зміщенню компонентів безпосередньо перед пайкою. Оплавлення припою і отримання паяних з'єднань відбувається в нагрівальному пристрої.

У 1973 р. з'явилася пайка в парогазовій фазі (ПГФ), коли фірма DuPont розробила і запатентувала спеціальні рідкі матеріали, що мають температуру кипіння 215 °С. З 1983 р. основним конкурентом пайки в ПГФ стала пайка роз- плавленням дозованого припою за допомогою інфрачервоного нагріву (ИК- пайка). Приблизно з цього ж часу розвивається пайка в конвекційних печах. У Японії пайка компонентів, що встановлюються на поверхню недорогих плат з низькою щільністю монтажу, робиться із застосуванням нагрітого інструменту. Для чутливих до теплової дії і складних мікрозбірок з поверхневим монтажем провідними японськими компаніями була розроблена лазерна пайка. Провідні постачальники складально-монтажного устаткування зазвичай включають установки для пайки до складу виробничих ліній, що випускаються.

Пайка хвилею припою застосовується тільки для пайки компонентів в отворах плат (традиційна технологія), хоча деякі виробники стверджують, що з її допомогою можна робити пайку поверхнево монтованих компонентів з нескладною конструкцією корпусів, що встановлюються на одній із сторін ПП.

Процес пайки простий. Плати, встановлені на транспортері, піддаються попередньому нагріву, що виключає тепловий удар на етапі пайки. Потім плата проходить над хвилею припою. Сама хвиля, її форма і динамічні характеристики є найбільш важливими параметрами устаткування для пайки. За допомогою сопла можна міняти форму хвилі. Нині кожен виробник використовує свою власну форму хвилі (у вигляді грецької букви «омега», Z-подібну, T-подібну тощо.). Можуть варіюватися напрям і швидкість руху потоку припою, що досягає плати, але вони мають бути однакові по усій ширині хвилі. Регулюється також кут нахилу транспортера для плат. Деякі установки для пайки обладналися дешунтуючим повітряним ножом, який забезпечує зменшення кількості перемичок припою. Ніж розташовується відразу ж за ділянкою проходження хвилі припою і включається в роботу, коли припій знаходиться ще в розплавленому стані на Пп. Вузкий потік нагрітого повітря, що рухається з високою швидкістю, відносить з собою надлишки припою, тим самим, руйнуючи перемички і сприяючи видаленню надлишків припою.

Коли з'явилися ПП, із зворотного боку яких встановлювалися поверхневі компоненти, їх пайка робилася хвилею припою. При цьому виникла безліч проблем, а саме: непропаї і відсутність галтелів припою із-за ефекту затінювання іншими компонентами, що перегороджують доступ хвилі припою до відповідних контактних майданчиків, а також наявність порожнин із захопленими газо- подібними продуктами розкладання флюсу, що заважають доступу припою. Потрібно було змінити технологічний процес пайки хвилею, впровадивши другу хвилю припою. Перша хвиля робиться турбулентною і вузькою, виходить з сопла під великим тиском. Турбулентність і високий тиск потоку припою виключає формування порожнин з газоподібними продуктами розкладання флюсу. Проте турбулентна хвиля все ж утворює перемички припою, які руйнуються другою, пологішою хвилею з малою швидкістю витікання. Друга хвиля усуває перемички припою, а також завершує формування галтелів. Для забезпечення ефективності пайки параметри кожної хвилі мають бути регульованими, хвилі повинні мати окремі насоси, сопла і блоки управління.

Пайка подвійною хвилею припою застосовується нині для одного типу ПП : з традиційними компонентами на лицьовій стороні і простими компонентами (чіпами і транзисторами) на зворотній. Деякі компоненти (навіть пасивні) можуть бути пошкоджені при зануренні в припій під час пайки. Тому важливо враховувати їх термостійкість і вживати заходи обережності : застосовувати поверхнево монтвані ІС, не чутливі до теплової дії; понизити швидкість транспортера; проектувати ПП так, щоб виключити ефект затінювання. Добре рознесені, не загороджуючі один одного компоненти сприяють попаданню припою на кожну необхідну ділянку плати, але при цьому знижується щільність монтажу. При високій щільності монтажу за допомогою цього методу практично неможливо пропоїти поверхнево монтвані компоненти з чотирьохсторонньою розводкою виводів.

Пайка в парогазовому середовищі (ПГФ) з розплавленням дозованого припою застосована тільки до складок з поверхневим монтажем. Суть процесу : спеціальна

рідина нагрівається до кипіння, потім її пари конденсуються на ПП, віддаючи приховану теплоту пароутворення відкритим ділянкам зборки. При цьому паста припою розплавляється і утворюється паяне з'єднання між виведенням компонента і контактним майданчиком плати. Коли температура плати досягає температури рідини, процес конденсації припиняється, тим самим закінчується і нагрів пасту. Підвищення температури плати від її початкової температури до температури розплавлення припою здійснюється дуже швидко і не піддається регулюванню. Тому потрібне попереднє підігрівання плати з компонентами для зменшення термічної напруги в компонентах і місцях їх контактів з платою. Температура розплавлення припою також не регулюється і дорівнює температурі кипіння використовуваної при пайці рідини. Такою рідиною є інертний фторкарбон (наприклад, FC - 70).

У перших установках для пайки в ПГФ застосовувалися дві робітників рідини. З метою запобігання витоку пари дорогого фторкарбона і припою поверх основного технологічного середовища з інертного фторкарбона створювалося додаткове технологічне середовище з дешевого фреону. Основний недолік цих установок полягав в тому, що на межі двох технологічних середовищ відбувалося утворення різних кислот і для захисту ПП були потрібні системи їх нейтралізації. Потім стали випускатися установки для пайки в ПГФ конвеєрного типу, вбудовувані в технологічні складально-монтажні лінії. Такі установки мають відносно невеликі вхідне і вихідне отвори, що дозволяють реалізувати систему з одним технологічним середовищем.

Пайка інфрачервоним нагрівом (ІК-пайка) аналогічна пайці в ПГФ, за винятком того, що нагріваючи плати з компонентами робиться не парами рідини, а ІЧ-випромінювання. Основним механізмом передачі тепла, використовуваним в установках пайки з ІК-нагрівом, є випромінювання. На відміну від пайки в ПГФ, в процесі пайки з ІЧ-випромінювання швидкість нагріву регулюється зміною потужності кожного випромінювача і швидкості руху транспортера з Пп. Тому термічна напруга в компонентах і платах може бути понижена за допомогою поступового нагріву складок.

Інфрачервоні печі застосовуються при виготовленні нескладних плат. Обумовлено це тим, що інфрачервоний тип нагріву має ряд негативних ефектів. Найсуттєвіше впливають на роботу наступні:

- кількість енергії випромінювання, що поглинається компонентами і платами, залежить від поглинаючої здатності матеріалів, з яких вони виготовлені. Тому нагрів здійснюється нерівномірно в межах монтованого пристрою;
- високі елементи можуть закривати нижчі, створюючи «тінь», де висока вірогідність непропаяння;
- деякі елементи корпусом можуть закривати свої власні виводи.

У деяких установках для пайки з ІЧ-нагрівом замість ламп ІЧ-випромінювання застосовуються панельні випромінюючі системи. Випромінювання такої системи не нагріває безпосередньо компоненти на зборці, а поглинається технологічним середовищем (повітря або газ), яке у свою чергу передає тепло на ПП за рахунок

конвекції. Цей спосіб пайки усуває ряд недоліків, властивих пайці з ІК-нагрівом, таких, як нерівномірне прогрівання окремих частин збірки і неможливість пайки компонентів в корпусах, непрозорих для ІЧ-випромінювання. Панельні випромінювачі забезпечують набагато меншу швидкість нагріву, чим традиційні джерела ІЧ-випромінювання.

Конвекційна пайка позбавлена недоліків, пов'язаних з теплопередачею випромінюванням. Але управляти гарячим повітрям важче і технічно складніше. Конвекційна пайка реалізується в камерних або конвеєрних печах. Камерні печі використовуються в лабораторних умовах, в одиничному або дрібносерійному виробництві. Конвеєрні печі вбудовуються в складальні лінії і використовуються, як правило, у великосерійному виробництві.

У камерних печах відрізок профілю пайки здійснюється шляхом зміни температури усередині камери з часом, в конвеєрних – переміщенням плати по конвеєру через декілька зон печі (зони нагріву і охолодження). Як правило, максимальна температура, при якій відбувається безпосередньо оплавлення пасти, складає 210÷220 °С. Плата знаходиться в печі при максимальній температурі впродовж усього декількох секунд, після чого робиться її охолодження.

У ряді випадків застосовується пайка в інертному середовищі, при якому здійснюється впускання азоту в робочу область печі. Ця операція використовується для зведення до мінімуму окислювального процесу. Проте необхідно оцінювати необхідність цієї операції. У випадку якщо процес пайки триває невеликий проміжок часу, припій не встигне окислюватися, оскільки до його складу входить флюс, що забезпечує розчинення оксидів на поверхні часток порошку припою. Пайка в інертному середовищі зажадає великої витрати азоту, що спричинить використання азотної станції з істотними додатковими витратами. Використання азотного середовища при конвекційній пайці виправдане тільки в умовах серійного виробництва при виготовленні складних модулів, що вимагають високої якості виконання.

Інші методи пайки. Метод пайки розплавленням дозованого припою за допомогою нагрітого пристосування розроблений в Японії стосовно виробів побутової електроніки з невисокою щільністю монтажу. ПП з компонентами поміщається на теплопровідний транспортер, що містить набір спеціальних пластин, температура яких контролюється. Пластини підбираються по габаритах компонента, притискають виводи до контактних майданчиків і передають тепло для оплавлення припою. Метод рекомендований до застосування для пайки ТАВ корпусів і flat - pack, що мають дуже тонкі виводи, схильні до вигинання. Під час притиску здійснюється розігрівання з'єднання до точки оплавлення припою по запланованому графіку, а потім йде процес охолодження паяного контакту, і тільки тоді забирається інструмент. Процес послідовний, досить повільний, проте забезпечує надійну пайку для відповідальних і дорогих деталей.

Пайка розплавленням дозованого припою за допомогою лазерного випромінювання також є послідовним процесом. Для нагріву з'єднань

застосовуються твердотілі або газові лазери. Головне достоїнство лазерної пайки полягає в тому, що пучок лазерної енергії добре фокусується. Метод особливо ефективний для пайки термочутливих компонентів і компонентів з малим кроком виводів. Деякі з найбільш складних складок на платах (наприклад, центральні процесори обчислювальних машин) розміром 254x305 мм можуть мати до 10000÷15000 паяних з'єднань. Головним тут являється якість і надійність паяних з'єднань, а не продуктивність установки.

На якість паяних з'єднань вузла впливає безліч чинників, у тому числі і вибраний конструктором варіант розміщення компонентів. Корпуси для великих і надвеликих інтегральних мікросхем виготовляються з матеріалів, які повинні забезпечувати хороший тепловідвід від корпусу НІМ в процесі експлуатації. Низький тепловий опір корпусу, велика маса і теплоємність великих корпусів не дозволяють отримати однакову температуру в області виводів при пайці малих і великих корпусів, розташованих на платі у безпосередній близькості. Такий ефект необхідно мати на увазі і технологів, і конструктору.

Паста припою. Для нанесення методом трафаретного друку через металевий трафарет або для нанесення дозатором розробляються різні варіанти паяльних паст. Характеристики паст припоїв в першу чергу визначаються їх складом.

Паста припоїв є сумішшю мелкодисперсного порошку матеріалу припою з єднальною рідкою основою, в яку входить флюс. Зміст порошку припою складає приблизно 88% від ваги паста. Склад паст виражають через співвідношення інгредієнтів матеріалу припою. Так, наприклад, 63/37 означає зміст у складі матеріалу припою 63% олова і 37% свинцю.

Характеристики часток матеріалу припою в пасті чинять істотний вплив на якість паяного з'єднання. Найбільш важливим параметром є розмір часток припою. Якщо паста припою наноситься на ПП через сітковий трафарет, рекомендується застосовувати пасту припою, у якої максимальний розмір часток припою складає половину розміру осередку трафарету. Форма часток матеріалу припою також чинить вплив на процес трафаретного друку. Частки припою сферичної форми полегшують процес трафаретного друку і дозволяють отримувати хорошу відтворюваність технологічного процесу від однієї партії виробів до іншої при формуванні малюнка паста припою. Наявність в пасті часток іншої форми може сприяти появі забруднень, що утрудняють процес друку, і прискоренню процесів окислення матеріалів припою. Пульверизація розплавленого припою, за допомогою якої найпростіше отримати порошкоподібні припої, утворює частки переважно сферичної форми.

Флюс у складі паст-припоїв служить не лише для активації металевих поверхонь, видалення з них оксидів і запобігання окисленню припою в процесі пайки, але і забезпечує необхідну текучість і зміну в'язкості з часом при нанесенні паста припою на ПП. Якщо склад паста припою має недостатню в'язкість, вона розтікатиметься, що приведе до втрати точності малюнка. Для зменшення розтікання паста можна збільшити відсотковий вміст в ній порошку припою або змінити хімічний склад флюсу шляхом введення в нього спеціальних терпких добавок

(загусників). Але тут треба дотримувати міру, бо інакше може статися закупорка сопла дозатора або осередків трафарету.

Флюс повинен видаляти оксиди з металевих поверхонь при пайці. Для ефективного протікання цього процесу дуже важливо правильно вибрати необхідний температурно-часовий режим пайки (температурний профіль). Якщо під час розігрівання плати температура підвищується занадто швидко, то розчинник, що входить в пасту припою у складі флюсу, швидко випаровується, що призводить до втрати активності флюсу, нерівномірного розплавлення припою, розкладання або вигорання його компонентів. Якщо ж нагрівальний цикл завершений передчасно, то оксиди в місцях паяних з'єднань можуть бути не повністю видалені.

Для уникнення окислення припою формування шару пасти припою рекомендується робити в хімічно інертній атмосфері. Зберігання пасти рекомендується здійснювати в прохолодному місці з температурою від +5 до +10 °С. Мінімальний термін зберігання паяльної пасти з флюсом при такій температурі складає 6 місяців з дати виробництва. Перед застосуванням ємність з пастою необхідно витримати при кімнатній температурі до повної стабілізації впродовж 2÷8 годин. Не рекомендується відкривати холодну місткість, це може викликати конденсацію вологи і погіршення параметрів паяльної пасти. Категорично не допускається підігрівання пасти нагрівальними приладами.

Як правило, паяльні пасти з флюсом повністю готові до застосування і не вимагають додаткових розчинників. Паяльна паста, яка не була використана впродовж робочої зміни, не повинна змішуватися зі свіжою пастою. Залишки пасти рекомендується складати в окрему тару і використовувати на початку наступної зміни. Не рекомендується використовувати пасту, яка знаходилася на трафареті дві робітників зміни. Якщо пристрій трафаретного друку не використовувався впродовж чотирьох годин, рекомендується зробити повне очищення трафарету від залишків паяльної пасти.

Поширеними матеріалами виводів і зовнішніх контактів електронних компонентів є золото, срібло, паладій-срібло, мідь, лужена мідь, і паста припою повинна вибиратися так, щоб виключити вилугування цих матеріалів. Більшість паяльних паст з флюсом мають хороші склеювальні властивості, достатні для утримання компонентів після установки до пайки в течію до 8 годин. Склеювальні властивості пасти залежать від температури і вологості, тому рекомендується зробити випробування для визначення максимального часу утримання пастою компонентів в умовах реального виробництва. Друковані плати можуть бути запаєні впродовж 24 годин після нанесення паяльної пасти без погіршення якості пайки, висока температура і вологість можуть скорочувати цей час.

Рекомендовані режими процесу пайки для найбільш популярних сплавів Sn63/Pb37 і Sn62/Pb36/Ag2, що входять до складу паст, такі:

- стадія попереднього нагріву від 20 до 140 °С, швидкість нагріву 1 °С/сек;
- стадія попередньої сушки від 140 до 160 °С, швидкість нагріву 0,5 °С/сек;
- стадія пайки від 160 до 215 °С, швидкість нагріву 2 °С/сек.

Більше тривалий час стадії пайки може поліпшити якість паяного з'єднання, зменшити кількість і зробити більше інертними залишки флюсу після пайки. Коротший час пайки може також дати добрі результати, проте в цьому випадку можливе збільшення кількості залишків флюсу після пайки. Рекомендується забезпечити час витримки вище температури плавлення (+183 °C) в межах від 30 до 60 сек. Мінімальна пікова температура в зоні пайки має бути не менше 210 °C впродовж 5 сек. Збільшення швидкості підвищення температури на стадії попереднього нагріву може привести до збільшення залишків флюсу після пайки і погіршення зовнішнього вигляду паяного з'єднання. Цей косметичний дефект повністю усувається при відмиванні залишків флюсу.

Вищезгадані рекомендації служать для первинної установки режимів пайки. Конкретні режими пайки визначаються технологом виходячи з конструкції друкованої плати і устаткування для пайки.

Технологія нанесення пасти припою. Процес нанесення паяльної пасти залежить від великого числа складових:

- від характеристик устаткування – принтерів, утримувачів плат тощо;
- від трафаретів – форми і розмірів отворів, якості стінок отворів, товщини трафарету;
- від параметрів процесу нанесення пасти – швидкості, кута атаки, тиску і жорсткості ракеля, швидкості відділення трафарету, проміжку між трафаретом і платою;
- від пасти припою – розміру часток, об'ємного вмісту металу, в'язкості пасти, рухливості флюсу;
- від параметрів робочого приміщення - температури, вологості, пилу.

Паста припою може наноситися за допомогою механічних пристроїв для трафаретного друку (ручний спосіб), за допомогою автоматичних принтерів, за допомогою дозаторів.

Дозатори – пристрої послідовної обробки, паста наноситься за програмою в певному об'ємі на задані точки Пп. Автоматичний дозатор є робочим столом, на який кріпиться оброблювана плата. Над робочим полем переміщається дозатор, який здійснює нанесення матеріалів на плату, для управління використовується персональний комп'ютер. Ключові параметри дозаторів : швидкість дозування (до 15 тис. точок в годину) і максимальний формат оброблюваної плати (до 450x450 мм). Як і будь-який послідовний процес, такий спосіб нанесення пасти займає значно більше часу, чим трафаретний друк. Проте для дозатора не вимагається розробляти і виготовляти трафарет. При малих обсягах виробництва (одичні плати) для нанесення матеріалів можна застосовувати і ручне дозування.

Якщо на виробництві виготовляється велике число конструкцій плат при малій їх кількості, то доцільно застосовувати метод дозування, особливо при лабораторному виробництві, оскільки вартість виготовлення трафаретів (по одному на кожену сторону кожного різновиду плат) може виявитися більше вартості виготовлення самих плат. У разі промислового виробництва, навпаки, нанесення

матеріалів методом дозування небажано із-за низької швидкості процесу в порівнянні з трафаретним друком. На великосерійних виробництвах вартість трафаретів не вносить помітного вкладу в загальні витрати.

Пристрої трафаретного друку можуть бути як ручними, так і автоматичними.

Ручний принтер є порівняно простим пристроєм: на металевій рамі закріплюється трафарет, після чого раму кріплять до робочого столу, на якому знаходиться плата, тиск на ракель здійснюється оператором вручну. У автоматичних принтерах усі операції – поєднання трафарету і друкованої плати, здійснення приводного тиску на ракель, дозування пасти припою на трафарет – виконуються автоматично. Ці пристрої можуть працювати як автономно, так і у складі виробничої лінії. Основні параметри автоматичних принтерів : максимальний формат плати, який може досягати значення 510x510 мм, і швидкість переміщення ракеля (до 150 мм/с).

10.3 Технології виготовлення трафаретів

Головна функція трафарету – полегшити розміщення пасти припою. Мета – нанести точну кількість матеріалу на точно певне місце на ПП.

Зменшення розмірів отворів трафарету по відношенню до розмірів КП виконується рівномірно з усіх боків і центрується по КП. Для зменшення площі стінок вікна трафарету і прилипання паяльної пасти до стінок рекомендується робити кути вікон, що округляють, в трафареті. Оптимальне співвідношення площі відбитку паяльної пасти до площі стінок вікна в трафареті має бути $S_{кп}/S_{бс} > 0,80$, де $S_{кп}$ - площа відбитку паяльної пасти на платі, $S_{бс}$ - площа бічних стінок вікна в трафареті.

Найбільш поширені три технології для виробництва трафарету – хімічне травлення, лазерний випар і електроосадження. Кожна з них має свої особливості. Хімічно витравлені трафарети створюються шляхом того, відбувається травлення металевої фольги, покритої маскою з фоторезиста з двох сторін. Профіль отворів при цьому має характерний вигляд (рис. 10.4 а). При розмірі кроку в 0,5 мм і менш такий профіль збільшує опір проходженню пасти, для його усунення застосовують електрополірування стінок отворів трафарету (рис. 10.4 б), яке зменшує поверхневе тертя і дозволяє добре продавлювати пасту.

Трафарети з трапецеїдальними отворами (рис. 10.4 в) мають з боку осови трафарету великі розміри, чим з боку вершини. Трапецеїдальний отвір може бути виконаний двома способами: зміною розмірів маски фоторезиста на різних сторонах фольги або зміною тиску струменя травильника при обробці різних сторін фольги. Така форма отворів підходить для кроку компонентів 0,5 мм і вище.

Методом того, що хімічного труть можуть бути отримані трафарети подвійного рівня (ступінчасті), які дозволяють варіювати об'єм припою для компонентів, що мають різний крок виводів. Ступінчастість має бути на стороні ракеля, оскільки сторона основи трафарету повинна рівно прилягати до плати. Як і в технології формування малюнка ПП методом того, що труть фольги (субтрактивна технологія), при тому, що хімічному труть трафаретів виникає бічне затруювання під

маску фоторезиста, що викликає відносне подовження розмірів отворів. Це відносне подовження залежить від товщини трафарету, тому розмір отворів визначається до товщини фольги як 1,5 до 1. Тобто, при 150 мкм товщині трафарету мінімальний отвір буде 225 мкм.

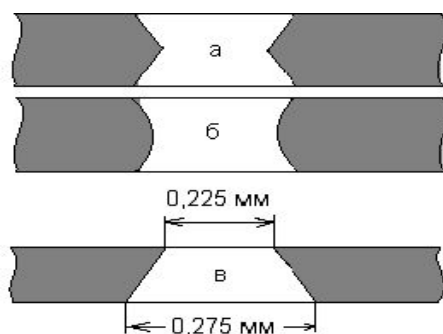


Рисунок 10.4 – Технології для виробництва трафарету

Метод електроформування трафарету заснований на гальванічному нарощуванні металевої фольги (як правило, Ni) на основі (носії), на якій сформовані «острівці» фоторезистивної маски на місці майбутніх отворів. Товщина трафарету може варіюватися від 25 мкм до 0,3 мм і підходить для нанесення пасти для ультрамалих кроків виводів компонентів : від 0,2 мм до 0,4 мм. Відношення розміру отворів до товщини трафарету 1 до 1.

Трафарети, що формуються лазерним випаром, виготовляються безпосередньо за оригінальними даними клієнта (Gerber формат) і не вимагають фотолітографії. Пряме формування дозволяє підвищити точність і відтворюваність виготовлення трафаретів. В порівнянні з тим, що хімічним трюїть краю отворів у ряді випадків можуть мати нерівності через вибуховий випар металу. Процес довготривалий, оскільки машина вирізує кожен отвір індивідуально. Трафарети можуть бути зроблені комбінованим способом: хімічним трюїть для компонентів стандартного кроку і лазерним випаром для компонентів малого кроку. Готовий трафарет може бути електроотполірован, щоб забезпечити гладкість стінок отворів. Лазерна методика – єдиний процес, який дозволяє коригувати трафарет під час його виготовлення (наприклад, додавати або змінювати існуючі отвори або додавати реперні знаки).

Для нанесення паяльної пасти можуть використовуватися ракелі різної конструкції і матеріалу, у тому числі сталеві або поліуретанові. Кут нахилу ракеля: 60° – стандартний, 45° для компонентів з кроком <0,4 мм.

Для контактних майданчиків прямокутної форми має значення напрям руху ракеля : уздовж довгої або короткої сторони, оскільки через захоплення пасти ракелем уздовж однієї із стінок трафарету залишаються невеликі порожнечі. Різний об'єм пасти на різних КП може призводити до різної висоти стовпчиків припоїв після оплавлення пасти припою. Це може приводити до дефектів типу «відкрите з'єднання» – відсутності електричного контакту. Для запобігання таким дефектам ракель рухається під кутом 45° до найбільш критичних посадочних місць компонентів. Тиск ракеля підбирається досвідченим шляхом і залежить від товщини

трафарету і швидкості переміщення ракеля. Після проходу ракеля трафарет повинен повністю очищатися від залишків паяльної пасти. На-приклад, значення первинної установки тиску металевого ракеля складають від 0,12 кг (на кожен см довжини ракеля), при швидкості переміщення 50 мм/с до 0,32 кг, при швидкості 150 мм/с при температурі +23°C. Збільшення або зменшення робочої температури на 1°C вимагає пропорційної зміни тиску ракеля на 5%. Швидкість друку може складати від 30 до 150 мм/сек. Швидкість розподілу трафарету з друкованою платою після нанесення паяльної пасти висока – 20 мм/с; для компонентів з малим кроком рекомендується зменшити швидкість до 10 мм/сек.

Після нанесення паяльної пасти на 15÷20 друкованих плат рекомендується зробити очищення трафарету з нижнього боку для запобігання утворенню перемичок і кульок припою в процесі пайки. Для очищення трафарету необхідно використовувати тільки спеціальні матеріали (папір і промивальні рідини). Звичайні матеріали гірше вбирають вологу і залишають пил, нитки і ворсинки, які можуть забивати вікна в трафареті і створювати «містки» між сусідніми контактними майданчиками, утворюючи перемички припою в процесі пайки.

10.4 Очищення плат після пайки

Звичайна ПП містить багато внутрішніх порожнин (у тому числі і під компонентами), що мають вихід на поверхню через вузькі вертикальні проміжки між компонентами або їх виводами. Ці порожнини здатні утримувати продукти розкладання флюсу і інші забруднення, які можуть стати джерелами корозії або причиною проникнення всередину корпусів компонентів речовин, що викликають підвищені струми витоку. Посилені спроби очистити плату, наприклад, за допомогою органічних розчинників, самі по собі можуть викликати механічні ушкодження або корозію.

Як правило, забруднення бувають або полярними (іони), або неполярними. Вільні іони, що особливо електронегативні, такі, що мають високу хімічну активність, швидко вступають в реакцію з металом комутаційних доріжок і викликають корозію. Неполярні забруднення погіршують адгезію припою, властивості захисного покриття і електричний контакт для функціонального випробування мікроборки.

Органічні розчинники відповідно до їх очисної здатності можна розділити на три групи. Гідрофобні – не змішуються з водою, використовуються для розчинення органічних забруднень, наприклад каніфолі і жирів. Гідрофільні – змішуються з водою, розчиняють полярні і неполярні з'єднання, причому останні у меншій мірі, чим гідрофобні розчинники.

Азеотропні – є в основному сумішшю вищезгаданих типів розчинників. До їх складу обов'язково входять такі інгредієнти, як фреон-113 або тетрахлордифторетан, з добавками спиртів і стабілізуючих інгредієнтів.

Очищення виробів із застосуванням розчинників може бути реалізоване зануренням плат у ванну з розчинником, рівномірним по полю плати або

спрямованим у вигляді струменів обприскуванням, або комбінацією обох методів. Може застосовуватися ультразвукове перемішування при очищенні плат у ванні з розчинником. На ефективність очищення може вплинути ряд чинників, у тому числі розташування компонентів. Компоненти повинні розміщуватися на поверхні плати так, щоб їх корпуси не загороджували один одного при русі потоку розчинника. Переривання руху плати і зупинки під час пайки хвилиною при- пою мають бути зведені до мінімуму, щоб флюс ніде не затримувався в порожнинах плати. Якщо використовуються чутливі компоненти, рекомендується обробляти мікробірки в потоці розчинника. При цьому необхідно забезпечити максимальну однорідність потоку розчинника, а інтервал часу між пайкою і очищенням зменшити до мінімуму.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДСТУ 7655:2014 Вироби електронної техніки. Загальні вимоги щодо надійності та методи випробування. Чинний від 2014-01-01. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2014. 9 с.
2. ДСТУ 8216:2015. Вироби електронної техніки. Класифікація за умовами застосування та вимоги стійкості до зовнішніх впливових чинників. Чинний від 2017–01–04. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2017. 11 с.
3. Ергономічні властивості та екологія самохідних машин. Методичні вказівки до виконання практичних робіт для студентів спеціальностей 133 «Галузеве машинобудування» та 274 «Автомобільний транспорт». уклад. А.П. Кожушко; Б. І. Кальченко. Харків: НТУ «ХП», 2022. 84 с.
4. Конструювання та технології виробництва апаратури реєстрації інформації: навч. посіб. для студ. спеціальності 171 «Електроніка» /КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад. В. С. Лазебний, В. В. Пілінський. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 450 с.
5. 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 «ХП», 2022, 36 с.
6. Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «Проектування телекомунікаційних та радіотехнічних систем», цикл 1 «Захист від дестабілізуючих факторів» для студентів спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка освітніх програм «Радіоелектронні апарати та засоби», «Інтелектуальні технології мікросистемної радіоелектронної техніки» усіх форм навчання / Уклад.: І. Поспеева, О. Малий, О Піроженко. Запоріжжя : НУЗП, 2023. 71 с.
7. Остренко В. С., Семенов В. В., Алексієвський Д. Г., Кісельов Є. М. Конструювання та проектування пристроїв енергетичної електроніки : навчально-методичний посібник для здобувачів ступеня вищої освіти магістра спеціальності «Електроніка» освітньо-професійної програми «Електроніка». Запоріжжя : ЗНУ, 2024. 217 с.
8. Фізико-теоретичні основи проектування радіоелектронної апаратури. Навч. посіб. для студ. спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка» В. Г. Губар, І. О. Адаменко; КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 221 с.
9. Hunter Scott. Designing Electronics that Work. Digital version, v1. 2021. 311 p.

К65

Конструювання електронних пристроїв та систем. Конспект лекцій для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти освітніх програм «Електроніка», «Автомобільна електроніка» галузі знань 17 Електроніка, автоматизація та електронні комунікації спеціальності 171 Електроніка денної та заочної форм навчання / уклад. С. О. Приступа. Луцьк: ЛНТУ, 2025 р. 132 с.

Комп'ютерний набір

С. О. Приступа

Редактор

С. О. Приступа

Підп. до друку “_____” _____ 2025 р.
Формат 60x84/16. Папір офс. Гарн. Таймс.
Ум. друк. арк. _____. Обл. – вид. арк. 3
Тираж 50 прим.

Відділ іміджу та промоцій
Луцького національного технічного університету
43018 м. Луцьк, вул. Львівська, 75