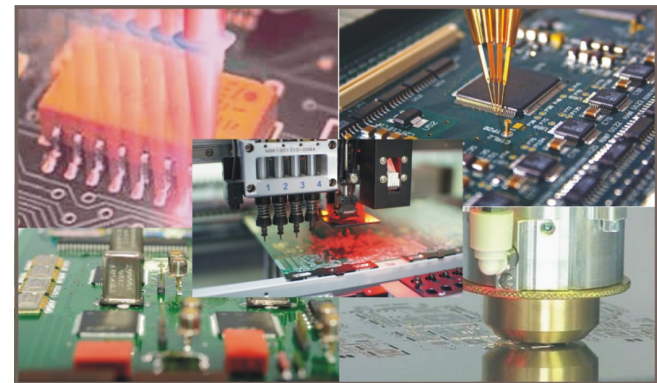


Л. В. КРИЛИК, О. О. СЕЛЕЦЬКА

**МОНТАЖ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ПРИЛАДІВ.
СПЕЦІАЛЬНА ТЕХНОЛОГІЯ**



Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

Л. В. КРИЛИК, О. О. СЕЛЕЦЬКА

**МОНТАЖ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ПРИЛАДІВ.
СПЕЦІАЛЬНА ТЕХНОЛОГІЯ**

Навчальний посібник

Вінниця
ВНТУ
2017

УДК 621.3.049.7 (075)
ББК 32.844.153я73
К82

Рекомендовано до друку Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 13 від 26.05.2016 р.)

Рецензенти:

О. В. Осадчук, доктор технічних наук, професор

Т. Б. Мартинюк, доктор технічних наук, професор

А. Я. Кулик, доктор технічних наук, професор

Крилик, Л. В.

К82 Монтаж радіоелектронних приладів. Спеціальна технологія : навчальний посібник / Л. В. Крилик, О. О. Селецька. – Вінниця : ВНТУ, 2017. – 75 с.

В навчальному посібнику розглядаються основи сучасних технологій монтажу компонентів на друковані плати при виготовленні електронних засобів. Розглядається елементна база, методи забезпечення якісного паяного з'єднання компонентів на друкованій платі, матеріали для монтажу, види монтажу і паяння компонентів. Навчальний посібник розроблено відповідно до навчальної програми дисципліни "Спеціальна технологія" для студентів підготовки "Монтажник РЕА 2-го розряду" напрямів "Мікро- та наноелектроніка та "Електронні пристрої та системи".

УДК 621.3.049.7 (075)
ББК 32.844.153я73

© ВНТУ, 2017

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА.....	4
1 ЕЛЕКТРОРАДІОЕЛЕМЕНТИ.....	5
1.1 Класифікація, позначення, основні параметри та маркування резисторів	5
1.2 Класифікація, позначення, основні параметри та маркування конденсаторів	10
1.3 Класифікація, позначення, основні параметри та маркування котушок індуктивності та дроселів	16
1.4 Класифікація, позначення, основні параметри трансформаторів	19
1.5 Класифікація, позначення, основні параметри та маркування напівпровідникових приладів.....	22
1.6 Комутаційні пристрої	29
2 МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ПАЯННЯ.....	32
2.1 Низькотемпературні припої.....	32
2.2 Призначення, класифікація та склад флюсів для паяння	34
2.3 Паяльні пасти	35
2.4 Клеї для радіомонтажних робіт.....	36
2.5 Розчинники	38
3 ПАЯННЯ ТА МОНТАЖ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ АПАРАТУРИ	40
3.1 Підготовка провідників та радіодеталей до монтажу	40
3.2 Технологія паяння електричних з'єднань радіоелектронних пристроїв.....	42
3.3 Монтаж на перфорованій друкованій платі.....	46
3.4 Види автоматизованого монтажу.....	51
4 ТЕХНОЛОГІЯ ПОВЕРХНЕВОГО МОНТАЖУ	58
4.1 Компоненти для поверхневого монтажу.....	60
4.2 Особливості розташування компонентів при поверхневому монтажі	63
4.3 Послідовність операцій в технології поверхневого монтажу	65
4.4 Нанесення паяльної пасти при поверхневому монтажі.....	68
4.5 Особливості паяння при поверхневому монтажі	70
СЛОВНИК НАЙБІЛЬШ ВЖИВАНИХ ТЕРМІНІВ	73
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	74

ПЕРЕДМОВА

Сучасний науково-технічний прогрес неможливий без радіоелектронної апаратури, яка широко використовується як при плануванні та управлінні виробництвом, так і в автоматизації виробничих процесів і в наукових дослідженнях. Технології виготовлення радіоелектронної апаратури постійно удосконалюються.

Радіоелектронна апаратура використовується не тільки в телебаченні, радіо- та телезв'язку, космічній техніці, медичному обладнанні і високоточній вимірювальній техніці, але і в багатьох науково-дослідних процесах. Тому до робочих спеціальностей, пов'язаних з виробництвом радіоелектронної апаратури і приладів, висуваються підвищені вимоги – висока якість виконуваної роботи, яку неможливо здійснити без базових знань в галузі радіоелектроніки, технології виробництва радіоелектронної апаратури.

В розділі 1 "Електрорадіоелементи" розглянуто активні та пасивні компоненти, їх види, параметри, маркування.

В розділі 2 "Матеріали для паяння" розглянуто матеріали для монтажного паяння та особливості їх використання.

Розділ 3 "Паяння та монтаж радіоелектронної апаратури" присвячено різним видам монтажного паяння, зокрема, розглянуто автоматизовані методи монтажу плат.

В розділі 4 "Технологія поверхневого монтажу" розглянуто особливості поверхневого монтажу як сучасного напрямку в технології виробництва радіоелектронної апаратури.

В кінці кожного розділу наведено контрольні запитання для самостійної перевірки студентом викладеного матеріалу.

Автори навчального посібника прагнуть допомогти майбутнім спеціалістам осягнути проблему створення надійної та конкурентоздатної радіоелектронної апаратури і показати, що успішне виконання виробом його функцій залежить від грамотного вибору елементної бази і конструкції виробу, його стійкості до впливу несприятливих факторів експлуатації, досягнення яких можливо з використанням сучасних технологій виробництва.

Навчальний посібник розроблено для студентів напрямів "Мікро- та наноелектроніка" та "Електронні пристрої та системи" відповідно до навчальної програми дисципліни "Спеціальна технологія", які отримують робочу спеціальність "Монтажник радіоелектронної апаратури."

1 ЕЛЕКТРОРАДІОЕЛЕМЕНТИ

Електрорадіоелементами називаються всі *електронні компоненти (electronic components)*, що використовуються в різній побутовій техніці і не тільки. Найбільш поширеними вважаються конденсатори, резистори, мікросхеми, трансформатори, діоди. Дія електронних компонентів визначається за *способом їх ролі в електричному колі (electric circuit)*, за нею вони поділяються на *активні* і *пасивні* елементи. До активних відносяться пристрої, здатні підсилювати або перетворювати електричні сигнали. Пасивні призначені для перерозподілу електричної енергії. *Активними* елементами вважаються діоди, транзистори, мікросхеми. До *пасивних* елементів електричних кіл відносяться конденсатори, резистори, трансформатори, котушки індуктивності.

1.1 Класифікація, позначення, основні параметри та маркування резисторів

Найбільш масовими елементами РЕА є *резистори (resistors)*. Вони становлять до 35% загальної кількості елементів в схемах сучасної радіоелектронної апаратури. Резистори використовуються як навантажувальні і струмообмежувальні елементи, додаткові опори та шунти, подільники напруги.

Залежно від *призначення* розрізняють *постійні* та *змінні* резистори. Найбільшого поширення набули постійні резистори загального призначення, які використовуються практично у всіх видах радіоапаратури і блоках живлення. Номінальні значення таких резисторів знаходяться в межах від 1 Ом до 10 МОм, а номінальні потужності становлять 0,125 ... 100 Вт. Клас точності таких резисторів – 2, 5, 10 або 20% номіналу.

Крім того, використовуються постійні резистори *спеціального призначення*. До них належать, наприклад, *прецизійні* резистори, які використовуються, в основному, у вимірювальних приладах як шунти. Допуск таких резисторів становить від $\pm 0,001$ до 1%. Для них властива висока стабільність. Також до транзисторів спеціального призначення належать *високочастотні резистори*. Вони відрізняються низькою власною індуктивністю і призначені для роботи у ВЧ вузлах.

Змінні резистори поділяються на *підстроювальні* та *регулювальні*. Підстроювальні впаюються в схему, і при налаштуванні їх опір підстроюється за допомогою регулятора. На лицьову панель радіоапаратури регулятори підстроювальних резисторів не виводяться. Зносостійкість таких резисторів – до 1000 циклів.

Регулятори регулювальних резисторів виводяться на лицьову панель. Вони використовуються для регулювання параметрів в процесі експлуатації. Такі резистори забезпечують до 5000 циклів налаштування.

За видом залежності номінального опору регульовального резистора від зміщення його рухомої системи розрізняють резистори з пропорційним і непропорційним (нелінійним) законами регулювання опору.

За матеріалом резистивного елемента резистори поділяються на **дротяні, недротяні, металофольговані**.

Дротяні резистори – це такі, в яких резистивним елементом є високоомний дріт (виготовляється з високоомних сплавів: константан, ніхром, нікелін). **Недротяні резистори** – це такі, в яких резистивним елементом є плівки або об'ємні композиції з високим питомим опором.

Недротяні резистори можна розділити на *тонкоплівкові* (товщина шару в нанометрах), *товстоплівкові* (товщина в частках міліметра), *об'ємні* (товщина в одиницях міліметра).

За матеріалом резистивного покриття резистори поділяються на **вуглецеві, боровуглецеві, металоплівкові, композитні та металооксидні**.

До основних **параметрів** резисторів належать:

- **номінальний опір** резистора – значення опору, яке повинен мати резистор відповідно до нормативної документації; фактичний опір кожного резистора може відрізнятися від номінального, але не більше ніж на допустиме відхилення. Резистори випускаються з таким значенням номінального опору, щоб разом з допуском воно приблизно б дорівнювало значенню опору наступного номіналу мінус його допуск. Встановлені такі діапазони номінальних опорів: для постійних резисторів – від часток ома до одиниць тераомів; для змінних дротяних – від 0,47 Ом до 1МОм; для змінних недротяних – від 1 Ом до 10 МОм. Іноді допускається відхилення від вказаних меж. Різниця між номінальним і дійсним значеннями (через похибку виготовлення) опору, віднесена до номінального значення, характеризує допустиме відхилення (допуск) від номінального опору (у %). Допуски стандартизовані та мають такі значення: $\pm 0,001$, $\pm 0,002$, $\pm 0,005$, $\pm 0,01$, $\pm 0,02$, $\pm 0,05$, $\pm 0,1$, $\pm 0,25$, $\pm 0,5$, ± 1 , ± 2 , ± 5 , ± 10 , ± 20 та ± 30 . Допуски вказують максимальне та мінімальне значення номінального опору. Фактичні значення опорів можуть відрізнятися від номінальних на величину стандартних допусків. Допуски вказуються у відсотках (від $\pm 0,001$ до ± 30). Допустимі відхилення опору (% від номінального значення) також позначають буквами (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Буквене позначення допустимого відхилення опору

Позначення	Ж	У	-	Д	Р	Л	И	С	В	Ф
	В	-	С	D	F	G	J	K	M	N
Допустиме відхилення, %	$\pm 0,1$	$\pm 0,2$	$\pm 0,25$	$\pm 0,5$	± 1	± 2	± 5	± 10	± 20	± 30

- **номінальна потужність** резистора – максимально допустима потужність, що розсіюється на резисторі, при якій параметри резистора зберігаються у встановлених межах протягом тривалого часу, який називається

терміном служби. Напруга на резисторі не повинна перевищувати номінального значення $U_{ном}$, відповідного номінальної потужності:

$$U_{ном} = \sqrt{P_{ном}/R},$$

де $P_{ном}$ – номінальна потужність, Вт;

R – опір, Ом;

- *температурний коефіцієнт опору (ТКО)* – відносна зміна опору резистора при зміні температури навколишнього середовища на 1 °С. ТКО може змінюватися в інтервалі температур. У деяких резисторів змінюється і знак ТКО. ТКО недротяних резисторів становить 0,03...0,1 °С⁻¹, а резисторів з підвищеною точністю – на порядок менший;

- *електрична міцність резистора* характеризується граничною напругою, при якій резистор може працювати протягом терміну служби без електричного пробою;

- *рівень шумів резистора* оцінюється за допомогою величини їх змінної ЕРС, що виникає на його затискачах і віднесеній до 1 В напруги постійного струму, що прикладена до резистора.

Умовні позначення резисторів на електричних схемах залежно від їх типу, наведені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 - Позначення резисторів на електричних схемах

Тип	Позначення
Резистор постійний з номінальною потужністю розсіювання: 0,05 Вт 0,125 Вт 0,25 Вт 0,5 Вт 1 Вт 2 Вт 5 Вт	
Резистор постійний з відводами	
Резистор регульований: загального призначення з розривом кола без розриву кола	
Резистор підстроювальний	

Резистори з опором від 1 до 1000 Ом позначаються на схемах цілими числами, не вказуючи одиниці вимірювання (наприклад, R330 означає, що резистор R має опір 330 Ом). Опір, що становить частку або число з частками ома, позначається із вказанням одиниці вимірювання (наприклад, 0,33 Ом або 3,3 Ом). Резистори із опором від 1 до 910 кОм позначаються числом кілоом з доданням букви К (наприклад, R910К). Резистори із опором від 1 МОм і вище позначаються без вказання одиниці вимірювання. Крім того, якщо опір дорівнює цілому числу, то після його числового значення ставляться кома та нуль (наприклад, опір 1МОм позначається 1,0).

Маркування резисторів. Маркування (*legend*) резистора містить інформацію про тип та найбільш важливі параметри резистора та вказується безпосередньо на *корпусі (casing)*. При вивченні принципів позначення резисторів слід не плутати маркування з повним умовним позначенням резистора, яке містить усю інформацію про тип, характеристики, кліматичне виконання тощо, та наводиться лише в нормативно-технічній документації підприємства-виробника. Для маркування малогабаритних резисторів використовують буквено-цифровий код. Код складається з цифр, що позначають номінальний опір, літери, що означає одиницю вимірювання, і літери, яка вказує допустиме відхилення опору. Буква виконує роль коми і одночасно позначає, в яких одиницях позначається номінал резистора: **R** – в омах; **K** – в кілоомах; **M** – в мегаомах. Приклади позначення наведені в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Позначення номіналів резисторів

Опір	Позначення	Опір	Позначення
0,33 Ом	R33	47 кОм	47 K
6,8 Ом	6R8	150 кОм	M15
22 Ом	22R	1 МОм	1M0
150 Ом	150R	2,2 МОм	2M2
1кОм	1K	10 МОм	10 M
0,1 Ом	R10	5,6 кОм	5K6

Допуск резисторів згідно з однією найбільш поширеною системою позначень BS 1852 позначається буквою, після позначення номіналу резистора (табл. 1.4). Наприклад, 330RG відповідає номіналу 330 Ом \pm 2%, R22M – 0,22 Ом \pm 20%.

Таблиця 1.4 – Позначення номіналів резисторів

Буква	F	G	J	K	M
Допуск, %	1	2	5	10	20

На сьогоднішній день в радіоелектронній апаратурі також використовуються резистори радянського виробництва, що мають маркування відповідно до ГОСТ 1982 року. Воно складається із трьох елементів. *Перший елемент* – цифри – номінал опору в омах; *другий елемент* – буква латинсь-

кого алфавіту або кирилиці – множник (табл. 1.5); *третій елемент* – буква латинського алфавіту або кирилиці – допуск (табл. 1.1).

Таблиця 1.5 – Позначення множників резисторів

Буква	R (E)	K (9K)	M (M)	G (Г)	T (Т)
Множник	1	$1 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10^6$	$1 \cdot 10^9$	$1 \cdot 10^{12}$

Іншим видом маркування є нанесення на резистор кольорових кілець. Маркувальні кільця зсунуті до одного з виводів резистора і розташовуються зліва направо. Якщо розміри резистора не забезпечують відступ, то ширина першого кільця в два рази більша за інші. Число кілець може бути від чотирьох до шести.

Таблиця 1.6 – Кольорове маркування номінальних опорів та допусків

Колір знака	Номінальний опір, Ом				Допуск, %
	1-а цифра	2-а цифра	3-а цифра	Множник	
Сріблястий	-	-	-	10^{-2}	± 10
Золотий	-	-	-	10^{-1}	± 5
Чорний	-	0	-1	1	-
Коричневий	1	1	1	10	± 1
Червоний	2	2	2	10^2	± 2
Оранжевий	3	3	3	10^3	-
Жовтий	4	4	4	10^4	-
Зелений	5	5	5	10^5	$\pm 0,5$
Голубий	6	6	6	10^6	$\pm 0,25$
Фіолетовий	7	7	7	10^7	$\pm 0,1$
Сірий	8	8	8	10^8	$\pm 0,05$
Білий	9	9	9	10^9	-

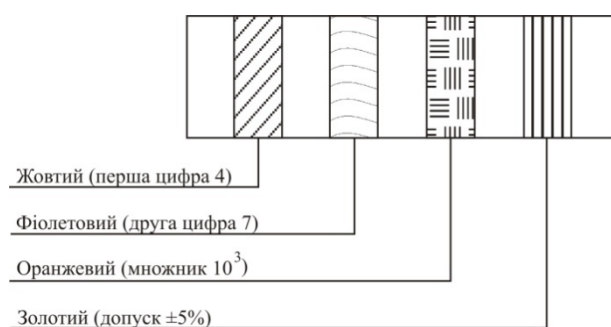


Рисунок 1.1 – Приклад кольорового маркування резисторів

1.2 Класифікація, позначення, основні параметри та маркування конденсаторів

Конденсатори (*capasitors*) займають друге місце після резисторів за обсягом використання. Конденсатор являє собою систему з двох або більше струмопровідних обкладинок, що розділені діелектриком (*insulate*) і призначені для створення ємності (рис. 1.2).

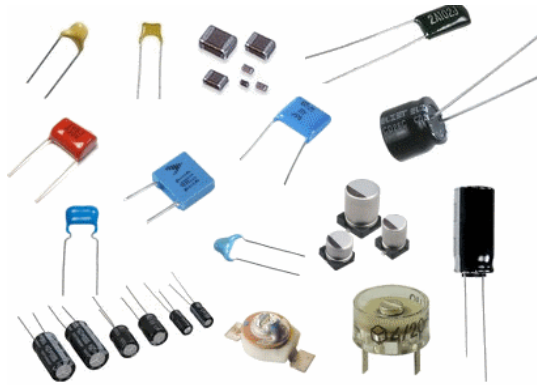


Рисунок 1.2 – Різні види конденсаторів

Конденсатор не пропускає електричний струм, оскільки його обкладинки розділені діелектриком. Однак перезарядження конденсаторів під дією змінної напруги буде еквівалентним пропусканню ним змінного струму. Таким чином вони можуть використовуватись для згладжування пульсацій в джерелах постійного і змінного струму, для відсікання постійної складової при суміщенні різних каскадів, служити буферною ємністю для полегшення режимів роботи випрямлячів, знижувати вплив імпульсних перешкод на роботу високочутливих елементів, використовуватися при налаштуванні високочастотних коливальних контурів приймачів і генераторів, зсуву по фазі та ін. Опір конденсатора Z_K змінному струму обернено пропорційний ємності конденсатора C та частоті змінного струму f

$$Z_K = \frac{1}{2\pi f C}.$$

Конденсатор не розсіює тепло при проходженні через нього електричного струму, оскільки його опір принципово відрізняється від опору резистора. Резистор, пропускаючи змінний струм, поглинає енергію протягом усього періоду коливань струму. Конденсатор на початку періоду поглинає енергію із кола, а потім віддає назад в коло накопичену ним енергію. Завдяки такій властивості конденсатор є реактивним елементом на відміну від резистора. Через це номінальна потужність конденсатора не нормується.

За конструкцією і призначенням конденсатори поділяються на *постійні*, *змінні* та *підстроювальні*. Ємність постійних конденсаторів не можна змінювати на відміну від ємності змінних, яку можна плавно регулювати. Ємність підстроювальних (або напівзмінних) конденсаторів також можна плавно змінювати до певного значення, після досягнення якого вони будуть працювати як постійні.

За видом діелектрика розрізняють такі види конденсаторів:

- з *газоподібним діелектриком* (як діелектрик в них використовується повітря, стиснений газ (азот, фреон, елєгаз), вакуум);
- з *оксидним діелектриком* (як діелектрик в них використовується оксид, утворений електрохімічним шляхом на аноді – металевій обкладинці з деяких металів. Залежно від матеріалу анода *оксидні конденсатори* підрозділяють на *алюмінієві*, *танталові* і *ніобієві*; іншою обкладинкою конденсатора – катодом служить *електроліт*, що просочує паперову або тканинну прокладку в оксидно-електролітичних (рідинних) алюмінієвих і танталових конденсаторах, *рідкий або гелеподібний електроліт* в танталових об'ємно-пористих конденсаторах і *напівпровідник (semiconductor)* (двоокис марганцю) в оксидно-напівпровідникових конденсаторах);
- з *твердим неорганічним діелектриком* (як діелектрик в них використовується кераміка, скло, склоемаль, склокераміка та слюда. Обкладинки виконуються у вигляді тонкого шару металу, нанесеного на діелектрик шляхом безпосередньої його металізації, або у вигляді тонкої фольги);
- з *твердим органічним діелектриком* (виготовляють зазвичай намотуванням тонких довгих стрічок конденсаторного паперу, плівок або їх комбінації з металізованими або фольговими електродами);
- з *рідким діелектриком* (наповнені мінеральним маслом або синтетичною рідиною).

За способом кріплення розрізняють конденсатори для *навісного* та *друкованого* монтажу, існують конденсатори для мікросхем та мікромодулів.

Крім того, конденсатори можна розділити на *полярні* і *неполярні* (хоча за цими ознаками їх зазвичай не класифікують). Полярні **конденсатори** можуть працювати тільки в колах постійного струму і потребують строгого дотримання полярності при підключенні (плюс підключається до виводу зі знаком плюс, мінус, відповідно – до виводу зі знаком мінус). При недотриманні цієї вимоги такий конденсатор може вийти з ладу. Неполярні конденсатори можуть працювати в колах як постійного, так і змінного струму. Такі конденсатори можна підключати без врахування полярності напруги.

Для зображення конденсаторів на електричних схемах використовують спеціальні позначення (рис. 1.3).

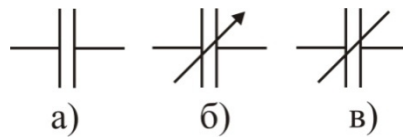


Рисунок 1.3 – Умовні позначення конденсаторів на електричній схемі:
а) – постійний; б) – змінний; в) – підстроювальний

До *основних параметрів* конденсаторів належать:

- **номінальна ємність конденсатора** – ємність, яку повинен мати конденсатор згідно з нормативною документацією; фактична ємність, так як і у резисторів, кожного екземпляра відрізняється від номінальної, але не більше, ніж на допустиме відхилення; одиницею вимірювання ємності є *фарад*, але оскільки це дуже велика величина, ємність конденсатора прийнято вимірювати в мікрофарадах (мкФ), нанофарадах (нФ) або пікофарадах (пФ);

- **допустиме відхилення ємності від номінального (допуск)** – характеризує точність значення ємності; значення цих відхилень встановлені у відсотках для конденсаторів ємністю 10 і більше пікофарад і в пікофарадах для конденсаторів з меншою ємністю; залежно від допустимого відхилення ємності розрізняють 11 класів конденсаторів (табл. 1.7);

Таблиця 1.7 – Клас точності конденсаторів і допустиме відхилення ємності

Клас точності	001	002	005	00	0	I	II	III	IV	V	VI
Відхилення, %	±0,01	±0,2	±0,5	±1	±2	±5	±10	±20	-10 +20	-20 +30	-20 +50

- **електрична міцність** оцінюється пробивною, випробувальною та номінальною (робочою) напругами; в основному електрична міцність конденсатора залежить від якості і товщини діелектрика, а також від площі обкладинок та умов тепловіддачі;

- **тангенс кута втрат** характеризує втрати енергії в конденсаторі в діелектрику і обкладинках; при протіканні змінного струму через конденсатор вектори струму і напруги зміщені на кут δ , який називається кутом діелектричних втрат (або просто кутом втрат). При відсутності втрат $\delta=0$ (ідеальний конденсатор). Тангенс кута втрат визначається відношенням активної потужності P_a до реактивної P_p при синусоїдальній напрузі певної частоти

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{P_a}{P_p} = \frac{\sin \delta}{\cos \delta};$$

із зростанням частоти значення $\text{tg}\delta$ збільшується; величина, обернена $\text{tg}\delta$, називається **добротністю** конденсатора. Чим більша добротність конденсатора, тим менші втрати в ньому;

- **електричний опір ізоляції конденсатора** – електричний опір ізоляції конденсатора постійному струму. Опір ізоляції характеризує якість діелектрика і визначається відношенням напруги постійного струму, прикладеної до конденсатора, до струму витікання і виражається в мегаомах та гігаомах;

- **температурний коефіцієнт ємності (ТКЄ)** – параметр, що застосовується для характеристики конденсаторів з лінійною залежністю ємності від температури. Практично ТКЄ визначається як відносна зміна ємності конденсатора при зміні температури на $1\text{ }^\circ\text{C}$. Слюдяні, керамічні та деякі плівкові конденсатори залежно від температурної стабільності поділяють на групи, кожна з яких характеризується своїм ТКЄ. Якщо залежність ємності від температури нелінійна, температурну стабільність ємності конденсатора характеризують відносною зміною ємності при переході від нормальної температури ($20 \pm 5\text{ }^\circ\text{C}$) до граничних значень робочої температури;

- **власна індуктивність** конденсатора – це індуктивність, що створюється виводами і обкладинками; пониження власної індуктивності конденсатора забезпечується вкорочуванням виводів.

Маркування конденсаторів може бути *буквено-цифровим*, що містить скорочене позначення конденсатора, його номінальну напругу, ємність, групу ТКЄ та дату виготовлення, або *кольоровим*. Залежно від розмірів конденсаторів використовуються повні або скорочені (кодовані) позначення номінальних ємностей та їх допустимі відхилення. Повне позначення номінальних ємностей складається з цифрового позначення номінальної ємності і позначення одиниці вимірювання ($n\Phi$ – пікофаради, $n\Phi$ – нанофаради, $m\Phi$ – мікрофаради, Φ – фаради).

Кодоване позначення номінальних ємностей складається з трьох або чотирьох знаків, які містять дві або три цифри та букву. Буква латинського алфавіту або кирилиці позначає множник: П (р) – піко = $10^{-12}\text{ }\Phi$; Н (н) – нано = $10^{-9}\text{ }\Phi$; М (μ або m) – мікро = $10^{-6}\text{ }\Phi$. Наприклад, 2,2 пФ – 2П2 (2р2); 1500 пФ – 1Н5 (1н5); 0,1 мкФ – М1 (μ1); 10 мкФ – 10 М (10μ).

Крім буквено-цифрового маркування використовується спосіб цифрового маркування трьома або чотирма цифрами за стандартами ІЕС. При такому способі маркування перші дві або три цифри позначають значення ємності в пікофарадах (пФ), а остання цифра – показник степеня множника 10. При позначенні ємностей менше 10 пФ останньою цифрою може бути "9" ($109 = 1\text{ пФ}$), при позначенні ємностей 1 пФ та менше першою цифрою буде "0" ($010 = 1\text{ пФ}$). Як розділова кома використовується буква R: R1 – 0,1 мкФ, R22 – 0,22 мкФ. Після позначення ємності може бути нанесено

літерний символ, що позначає допустиме відхилення ємності конденсатора (табл. 1.8).

До складу маркування може входити також група за ТКЄ. Група за ТКЄ маркується двома елементами – буквою (буквами), яка вказує знак ТЕЄ (М – від’ємний, П – додатний, МП – близький до нуля), і цифрами, що вказують значення ТКЄ (вимірюється на частотах 0,3 ... 0,5 МГц). ТКЄ виражається в мільйонних частках номінальної ємності на градус ($10^{-6}/^{\circ}\text{C}$).

Таблиця 1.8 – Допустимі відхилення ємностей конденсатора

Код	Допуск, %	Код	Допуск, %
Ж (В)	$\pm 0,1\%$	- (Q)	-10...+30%
У (С)	$\pm 0,2\%$	Э (Т)	10...+50%
Д (D)	$\pm 0,5\%$	Ю (У)	-10...+100%
Р (F)	$\pm 1\%$	Б (S)	-20...+50%
Л (G)	$\pm 2\%$	А (Z)	-20...+80%
И (J)	$\pm 5\%$	Я (-)	+100%
С (C)	$\pm 10\%$		
В (M)	$\pm 20\%$		
Ф (N)	$\pm 30\%$		

Внаслідок того, що площа поверхні корпусу конденсатора часто недостатня для нанесення цифрових позначень, широко використовується кольорове маркування або у вигляді кольорових смуг, або у вигляді кольорових точок. Кількість маркувальних міток може бути від трьох до шести, а кодуватись можуть як основні параметри конденсатора (ємність та робоча напруга), так і додаткові (допуск та ТКЄ). Як правило, перші дві або три мітки означають значення ємності, а наступні за ними відповідно множник, допуск і ТКЄ. В таблицях 1.9 – 1.14 наведено порядок кольорового маркування конденсаторів різних груп.

Таблиця 1.9 – Кольорове маркування електролітичних конденсаторів (чотири мітки)

Колір смужки (точки)	Номінал	Множник	Допуск	Напруга, В
Золотий	8,2			1,6
Срібний	6,8			2,5
Чорний	1,0	1 μF	$\pm 20\%$	4
Коричневий	1,2	10 μF		6,3
Червоний	1,5	100 μF		10
Оранжевий	1,8	1mF		16
Жовтий	2,2	10mF		40
Зелений	2,7	100mF		20
Голубий	3,3	1F		30
Фіолетовий	3,9	10F	-20 ... +50%	
Сірий	4,7	10nF	-20 ... +80%	3,2
Білий	5,6	100nF	$\pm 10\%$	6,3

Таблиця 1.10 – Кольорове маркування електролітичних конденсаторів (три мітки)

Колір смужки (точки)	Номинал	Множник	Напруга, В
Золотий	82		1,6
Срібний	68		2,5
Чорний	10	1pF	4
Коричневий	12	10pF	6,3
Червоний	15	100pF	10
Оранжевий	18	1nF	16
Жовтий	22	10nF	40
Зелений	27	100nF	20
Голубий	33	1μF	30
Фіолетовий	39	10μF	
Сірий	47	0,01pF	3,2
Білий	56	0,1pF	6,3

Таблиця 1.11 – Кольорове маркування електролітичних танталових конденсаторів

Колір смужки (точки)	Напруга, В	Номинал	Множник	Допуск
Золотий	1,6	82		
Срібний	2,5	68		
Чорний	4	10	μ	±20%
Коричневий	6,3	12	10pF	
Червоний	10	15	100pF	
Оранжевий	16	18	1nF	
Жовтий	40	22	10nF	
Зелений	20	27	100nF	
Голубий	30	33	1μF	
Фіолетовий		39	10μF	-20 ... +50%
Сірий	3,2	47	0,01pF	-20 ... +80%
Білий	63	56	0,1pF	± 10%

Таблиця 1.12 – Кольорове маркування високовольтних конденсаторів

Колір смужки (точки)	1-ий елемент	2-ий елемент	Множник	Допуск	Напруга, В
Золотий					
Срібний					
Чорний		0		±20%	
Коричневий	1	1	10pF		
Червоний	2	2	100pF		250 В
Оранжевий	3	3	1nF		
Жовтий	4	4	10nF		400 В
Зелений	5	5	100nF		
Голубий	6	6			
Фіолетовий	7	7			
Сірий	8	8			
Білий	9	9		±10%	

Таблиця 1.13 – Кольорове маркування конденсаторів

Колір смужки (точки)	1-ий елемент	2-ий елемент	3-ий елемент	Множник	Допуск	ТКЄ
Золотий				0,01pF	±5%	
Срібний				0,1p	±10%	
Чорний		0	0	1pF	±20%	МПО
Коричневий	1	1	1	10pF	±1%	М33
Червоний	2	2	2	100pF	±2%	М75
Оранжевий	3	3	3	1nF		М150
Жовтий	4	4	4	10nF		М220
Зелений	5	5	5	100nF	±0,05%	М330
Голубий	6	6	6	1μF	±0,25%	М470
Фіолетовий	7	7	7	10μF	±0,1%	М750
Сірий	8	8	8	0,01mF	±0,05%	
Білий	9	9	9	0,1mF		

Таблиця 1.14 – Конденсатори. Кольорове маркування ТКЄ

Колір смуги	Червоний + фіолетовий	Сірий	Чорний	Коричневий	Червоний	Оранжевий
ТКЄ	П100	П33	МПО	М33	М75	М150
Колір смуги	Жовтий	Зелений	Голубий	Фіолетовий	Оранжевий + Оранжевий	Жовтий + Оранжевий
ТКЄ	М220	М330	М470	М750	М1500	М2200

1.3 Класифікація, позначення, основні параметри та маркування котушок індуктивності та дроселів

Котушка індуктивності (inductor) являє собою електрорадіоелемент, що має спіральну обмотку та здатний концентрувати в своєму об'ємі або на площині електромагнітне поле. Котушки індуктивності використовуються як елементи коливальних контурів, дроселів, а також для зв'язку кіл між собою. Котушка індуктивності, яка служить для розділення постійного та змінного струмів різних частот, називається *дроселем*.

Класифікація котушок індуктивності наведена в таблиці 1.15.

Таблиця 1.15 – Класифікація котушок індуктивності

За призначенням	За діапазоном хвиль	За конструктивними ознаками	За характером зміни індуктивності
контурні	довгохвильові	безкаркасні	з незмінною величиною індуктивності
котушки зв'язку	середньохвильові	з каркасом	регульовані
варіометри	КХ та УКХ	з осердям і без нього	
дроселі ВЧ		екрановані та неекрановані	
		одношарові та багатшарові	

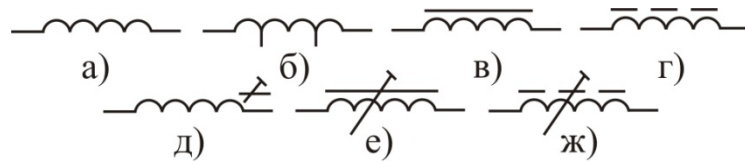


Рисунок 1.4 – Типи котушок індуктивності:

а) – без осердя; б) – без осердя з відводами; в) – з феромагнітним осердям; г) – з феромагнітним осердям, що має зазор; д) – з феромагнітним підстроювальним осердям; е) – з немагнітним підстроювальним осердям; ж) – з магнітодіелектричним підстроювальним осердям

Індуктивний опір (Ом) котушки залежить від частоти струму і визначається за формулою

$$X_L = 2\pi fL$$

де f – частота, Гц;

L – індуктивність, Гн.

Для постійного струму опір котушки дуже малий.

До **основних параметрів котушок індуктивності** належать

- **номінальна індуктивність** котушки залежить від діапазону хвиль, в якому її використовують; для котушок УКХ вона становить десять і соті частки мкГн, для котушок КВ – одиниці мкГн, для котушок середніх хвиль – сотні мкГн, для котушок ДХ – одиниці мГн; котушки з малою індуктивністю виготовляються без осердя з невеликою кількістю витків; для збільшення індуктивності котушки виготовляють багат шаровою і вводять осердя з феромагнітного матеріалу; для одношарових котушок при суцільному намотуванні (виток до витка) індуктивність (мкГн) визначається за формулою

$$L = \frac{0,01D^2 \omega^2}{\frac{l}{D} + 0,44}$$

де ω – число витків;

l – довжина намотки, см;

D – діаметр котушки, см;

індуктивність багат шарових котушок визначається за формулою

$$L = \frac{0,08d_{cp}^2 \omega^2}{3d_{cp} + 9l + 10t}$$

де d_{cp} – середній діаметр намотки, см;

ω – число витків;

l – довжина намотки, см;

t – товщина намотки, см;

- *допуск на індуктивність* залежить від її призначення; для контурних котушок індуктивності допуск становить $\pm(0,2 \dots 0,5)\%$, для котушок зв'язку і дроселів високої частоти $\pm(10 \dots 15)\%$ та ін;
- *добротність котушки індуктивності Q* визначається при заданій індуктивності та робочій частоті сумарним опором втрат енергії в котушці; добротність котушки визначають як відношення її індуктивного опору до активного опору і визначаються за формулою

$$Q = \frac{X_L}{r} = \frac{2\pi fL}{r};$$

- *температурний коефіцієнт індуктивності* котушки (температурний коефіцієнт ТКЛ) – це відношення відносної зміни індуктивності $\Delta L/L$ до інтервалу температур ΔT , що викликав цю зміну:

$$TKL = \frac{\Delta L}{L\Delta T};$$

- *власна ємність* котушки індуктивності негативно впливає на її добротність та стабільність; для зменшення власної ємності одношарової котушки витки намотують не суцільно, а на деякій відстані виток від витка; для зменшення власної ємності багатшарової котушки її виготовляють з окремих секцій.

Котушка, індуктивність якої можна змінювати в великих межах, називається *варіометром*. Найчастіше варіометр складається з двох котушок, взаємна індуктивність яких може змінюватись.

Друкована котушка індуктивності являє собою плоску багатовиткову спіраль, що розташована на *друкованій платі (printed circuit board)*. Такі котушки виготовляють найчастіше травленням фольгованого діелектрика. Товщина *провідників (conductors)* котушки становить 30 ... 50 мкм, а ширина 0,3 ... 1 мм, при цьому на площі в 1 см² отримують середнє значення індуктивності порядку 10 мкГн.

Мікромодульна котушка індуктивності виконується на магнітних осердях циліндричного, тороїдального або броньового типу. Основним матеріалом для виготовлення осердя служить ферит 50ВЧ або 1000НМ. Для намотки використовують дроти марок ПЕВ і ПЕВТ.

Маркування індуктивностей. Зазвичай для індуктивностей кодується номінальне значення індуктивності і допуск, тобто допускається відхилення від зазначеного номіналу. Номінальне значення кодується цифрами, а допуск – буквами. Застосовується два види кодування: *безпосереднє* та *кодоване*. При *безпосередньому* індуктивності маркуються безпосередньо в мікрогенрі. У таких випадках маркування 680К означатиме не 68 мкГн \pm 10%, як у випадку А, а 680 мкГн \pm 10%.

При *кодованому маркуванні* перші дві цифри вказують значення в мікрогенрі (мкГн), остання – кількість нулів. Наступна за цифрами буква вказує на допуск. Наприклад, код **101J** позначає **100 мкГн \pm 5%**. Якщо остання буква не вказується – допуск 20%. Для позначення допусків використовуються букви: **D**= \pm 3 нГн; **J**= \pm 5%; **K**=10%; **M**=20%. Для індуктивностей менше 10 мкГн роль десяткової коми виконує буква R, а для індуктивностей менше 1 мкГн – буква N.

При кольоровому маркуванні для індуктивностей кодується номінальне значення індуктивності і допуск. Найбільш часто застосовується кодування 4-ма або 3-ма кольоровими кільцями або точками. Перші дві мітки вказують на значення номінальної індуктивності в мікрогенрі (мкГн), третя мітка – множник, четверта – допуск. У разі кодування 3 мітками маємо на увазі допуск 20%. Кольорове кільце, що позначає першу цифру номіналу, може бути ширшим, ніж всі інші.

Таблиця 1.16 – Кольорове маркування індуктивностей

Колір кільця або точки	1-й елемент	2-й елемент	Множник	Допуск
Срібний			0,01	10%
Золотий			0,1	5%
Чорний		0	1	20%
Коричневий	1	1	10	
Червоний	2	2	100	
Оранжевий	3		1000	
Жовтий	4	4		
Зелений	5	5		
Голубий				
Фіолетовий	7	7		
Сірий	8	8		
Білий	9	9		

1.4 Класифікація, позначення, основні параметри трансформаторів

Трансформатори (transformers) являють собою електротехнічні прилади, що перетворюють змінний струм однієї напруги в змінний струм іншої.

Розрізняють *низько-* та *високочастотні* трансформатори. Використовують також автотрансформатори, в яких міститься лише одна обмотка, але з відводами.

Малогабаритні трансформатори можуть класифікуватися за різними ознаками: функціональним призначенням, робочою частотою, електричною напругою, електричною схемою, а також за конструктивними ознаками.

Функціональне призначення. Дана класифікаційна ознака характеризує основні функції, що виконуються трансформатором в електричній схемі. Відповідно до даної ознаки, малогабаритні трансформатори підрозділяються на трансформатори живлення, узгоджувальні та імпульсні.

Трансформатори живлення перетворюють змінну напругу первинного джерела в будь-які інші значення, необхідні для нормального функціонування апаратури. Крім того, трансформатор живлення дозволяє отримувати ряд вторинних напруг, електрично незалежних одна від одного і від мережі живлення.

Узгоджувальні трансформатори призначені, в основному, для узгодження опорів різних вузлів пристрою, приладів.

Імпульсні трансформатори призначені для передачі або перетворення імпульсів напруги або струму певної форми і тривалості між різними ділянками електричної схеми.

Робоча частота трансформатора – один з найбільш важливих параметрів, який визначає ряд характеристик виробу, призначення та область можливого застосування. За цією ознакою трансформатори можуть бути класифіковані на *трансформатори зниженої частоти* (нижче 50 Гц), *промислової частоти* (50 Гц), *підвищеної частоти* (400, 1000 Гц), *високої частоти* (понад 10 000 Гц).

Електрична напруга. За цією ознакою трансформатори можна розділити на *низьковольтні*, у яких напруга будь-якої обмотки не перевищує 1000 В і *високовольтні*, у яких напруга будь-якої обмотки може перевищувати 1000 В.

Електрична схема. За даною ознакою трансформатори поділяються на *однообмоткові*, *двообмоткові* й *багатообмоткові*.

Однообмотковий трансформатор – це автотрансформатор, в якому між первинною (вхідною) і вторинною (вихідною) обмотками, крім електромагнітного зв'язку, існує ще й безпосередній електричний. Такий трансформатор не має гальванічної розв'язки. *Двообмотковий* трансформатор має одну первинну і одну вторинну обмотки, а *багатообмотковий* – кілька вторинних обмоток. Всі обмотки двообмоткових і багатообмоткових трансформаторів електрично не пов'язані одна з одною.

Конструктивні ознаки. За конструктивним виконанням трансформатори підрозділяються на *броньові*, *стрижневі* і *тороїдальні (кільцеві)*.

Магнітопровід *броньового трансформатора* виконується Ш-подібної форми, всі обмотки розташовуються на середньому стрижні, тобто обмотки частково охоплюються (бронюються) магнітопроводом. Броньові трансформатори характеризуються такими перевагами: наявністю тільки однієї котушки з обмотками, порівняно зі стрижневими трансформаторами,

більш високим заповненням вікна магнітопроводу обмотувальним проводом (міддю), частковим захистом від механічних пошкоджень котушки з обмотками ярмом магнітопроводу.

Магнітопровід *стрижневого трансформатора* виконується П-подібної форми і має два стрижня з обмотками. На кожному стрижні поміщається половина витків первинної і половина витків вторинної обмоток. Вони з'єднуються між собою послідовно так, щоб намагнічувальні сили цих обмоток збігалися за напрямком.

Трансформатор складається з двох обмоток з різним числом витків, індуктивно пов'язаних одна з одною завдяки наявності осердя з магнітного матеріалу.

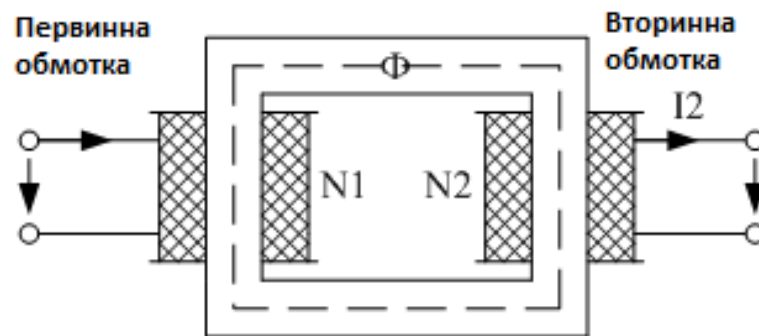


Рисунок 1.5 – Будова стрижневого трансформатора

Періодичні зміни струму в первинній обмотці викликають відповідні зміни магнітного потоку, які у вторинній обмотці індукують змінну напругу. Напруги на первинній та вторинній обмотках різняться через різне число витків цих обмоток.

Якщо N_1 – число витків первинної обмотки, N_2 – число витків вторинної обмотки, U_1 – напруга на первинній обмотці, U_2 – напруга на вторинній обмотці, то у випадку ненавантаженого трансформатора, тобто без передачі потужності

$$n = \frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1},$$

де n – коефіцієнт трансформації.

Якщо знехтувати втратами потужності, які в трансформаторі є незначними, то $P_1 = P_2$ звідки, враховуючи співвідношення $P = U \cdot I$, отримаємо

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{I_1}{I_2}.$$

Магнітопровід *тороїдального трансформатора* має круглу форму і формується із стрічкової трансформаторної сталі. Для виготовлення осердя така стрічка згортається в рулон, що має форму тора прямокутного перерізу. Тороїдальні трансформатори характеризуються такими *перевагами*: меншим магнітним опором, мінімальним зовнішнім потоком розсіювання та нечутливістю до зовнішніх магнітних полів. Однак технологія виготовлення обмоток при повністю замкнутому магнітопроводі досить складна, умови охолодження обмоток найбільш несприятливі порівняно з іншими трансформаторами. Тороїдальні трансформатори використовуються, як правило, на підвищених частотах.

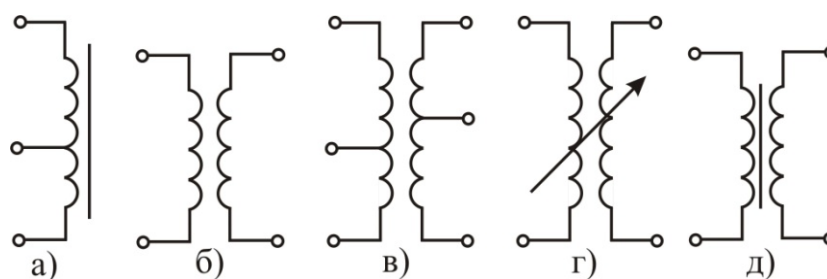


Рисунок 1.6 – Умовні позначення трансформаторів на схемах:
 а) автотрансформатор; б) без осердя високочастотний; в) без осердя з відводами;
 г) високочастотний без осердя з регульованим зв'язком між обмотками;
 д) двообмотковий з феромагнітним осердям

До основних параметрів трансформаторів живлення відносяться:

- номінальна напруга первинної обмотки трансформатора;
- номінальний струм первинної обмотки трансформатора;
- напруга вторинної обмотки трансформатора;
- струм вторинної обмотки трансформатора;
- номінальна потужність трансформатора – сума потужностей вторинних обмоток трансформатора;
- коефіцієнт трансформації;
- частота мережі.

1.5 Класифікація, позначення, основні параметри та маркування напівпровідникових приладів

До напівпровідникових відносяться прилади, дія яких ґрунтується на використанні властивостей напівпровідникових матеріалів. До напівпровідникових приладів належать

- *напівпровідникові резистори* – прилади з двома виводами, в яких електричний опір залежить від прикладеної напруги, температури, освітленості, механічних деформацій та інших керівних параметрів; напівпровідникові резистори використовуються як дат-

чики освітленості, в системах регулювання температури, теплового захисту, протипожежної безпеки та ін.;

- *напівпровідникові діоди (diodes)* – прилади з одним р-п переходом та двома виводами, в яких використовуються властивості переходу; вони широко використовуються в електроніці для випрямлення електричного струму, стабілізації напруги та струму, для генерації високочастотних сигналів, як швидкодійні перемикачі в системах автоматики та ін.;
- *напівпровідникові фотоелектричні прилади* – це прилади, в яких використовується ефект взаємодії оптичного випромінювання з носіями заряду (електронами або дірками); такі прилади широко використовуються в системах автоматики, контрольно-вимірювальних приладах, в системах оптоволоконної техніки, як елементи сонячних батарей та ін.;
- *біполярні транзистори (bipolar transistors)* – напівпровідникові прилади, що мають два р-п переходи і використовуються для підсилення та генерації електричного сигналу;
- *польові транзистори (field-effect transistor)* – напівпровідникові прилади, в яких використовуються напівпровідникові матеріали з різними типами електропровідності і які утворюють один р-п перехід;
- *тиристори* – напівпровідникові прилади, що мають три або більше р-п переходи і працюють в двох стійких станах – відкритому і закритому; тиристори широко використовуються як швидкодійні перемикачі;
- *напівпровідникові мікросхеми* – мікроелектронні прилади, що призначені для перетворення електричного сигналу, всі елементи та міжелементні з'єднання яких виконані в об'ємі та на поверхні напівпровідникового кристала;
- *комбіновані напівпровідникові прилади* являють собою різноманітні напівпровідникові прилади, об'єднані в один корпус.

За конструктивним виконанням *напівпровідникові діоди* поділяються на *площинні* і *точкові*. За технологією виготовлення діоди поділяються на *сплавні, дифузійні, мезаструктури, планарні* і *планарно-епітаксійні*. Залежно від галузі застосування напівпровідникові діоди поділяються на такі основні групи: *випрямні, універсальні, імпульсні, надвисокочастотні, стабілітрони, варикапи, тунельні, обернені, фотодіоди, світловипромінювальні діоди, магніодіоди*.

До *основних параметрів діодів* належать:

- *максимальний прямиий струм $I_{np\ max}$* ;

- *максимальна зворотна напруга* $U_{зв\ max}$; максимальна зворотна напруга менша за напругу пробою для даного приладу;
- *постійний зворотний струм діода* ($I_{зв}$) – значення постійного струму, що протікає через діод у зворотному напрямку при заданій зворотній напрузі;
- *постійна пряма напруга діода* ($U_{пр}$) – значення постійної напруги на діоді при заданому постійному прямому струмі.

Граничний режим роботи діодів характеризують максимально допустимі параметри – параметри, які забезпечують задану надійність і значення яких не повинні перевищуватися при будь-яких умовах експлуатації:

- *максимально допустима розсіювальна потужність* (P_{max}); визначається тепловим опором діода (R_m), допустимою температурою переходу ($T_{n\ max}$) і температурою навколишнього середовища ($T_{нс}$) відповідно до співвідношення:

$$P_{max} = \frac{T_{n\ max} - T_{нс}}{R_T};$$

- *максимально допустимий постійний прямий струм* ($I_{пр\ max}$), значення якого обмежується розігрівом р-п переходу:

$$I_{пр\ max} = \frac{P_{max}}{U_{пр}};$$

- *максимально допустима постійна зворотна напруга* ($U_{зв\ max}$);
- *диференціальний опір* ($r_{диф}$);

$$r_{диф} = \frac{\partial U}{\partial I};$$

- *мінімальна* ($T_{мін}$) *і максимальна* (T_{max}) *температури навколишнього середовища* для роботи діода;
- *мінімальна температура навколишнього середовища* ($T_{мін}$), при якій можуть експлуатуватися напівпровідникові діоди, зазвичай дорівнює $-60\ ^\circ\text{C}$; при більш низьких температурах погіршуються електричні та механічні властивості напівпровідникових кристалів і елементів конструкцій діодів; для германієвих діодів максимальна температура $T_{max} = +70\ ^\circ\text{C}$; для кремнієвих вона може досягати $+150\ ^\circ\text{C}$.

Транзистори є напівпровідниковими приладами з двома або більше р-п переходами, що дозволяють підсилювати електричні сигнали і мають три або більше виводів.

Транзистори поділяються на *біполярні* та *польові*. Біполярні транзистори мають тришарову структуру з типами провідності, які чергуються. Розрізняють також *прямі* (*p-n-p*) та *зворотні* (*n-p-n*) транзистори (рис. 1.7), кожен шар має вивід: емітер (Е), базу (Б) та колектор (К). Перехід між базою та емітером називається емітерним, а між базою та колектором – колекторним.

Таблиця 1.6 – Умовні графічні позначення діодів

УГП діодів на схемах	Вид діода	УГП діодів на схемах	Вид діода
	Загальне позначення діода. Так позначають на схемах випрямні, високочастотні, імпульсні діоди		Тунельний діод
	Стабілітрон		Обернений тунельний діод
	Двосторонній стабілітрон		Діод Шоттки
	Варикап		Світлодіод
	Варикапна матриця		Фотодіод

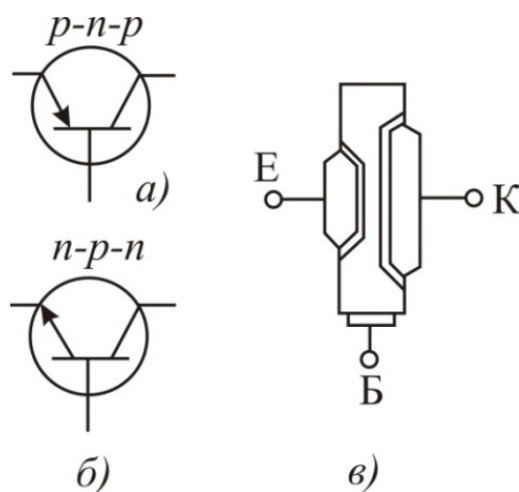


Рисунок 1.7 – Види транзисторів та їх структура:
а) p-n-p типу; б) n-p-n; в) структура транзистора

Залежно від загального електрода використовуються три схеми вмикання транзисторів: із спільним емітером СЕ (для забезпечення найбільшого підсилення), з загальною базою СБ (для досягнення найбільшої стабіль-

ності в роботі) та із спільним колектором СК (для забезпечення високого вхідного та низького вихідного опорів) (рис. 1.8).

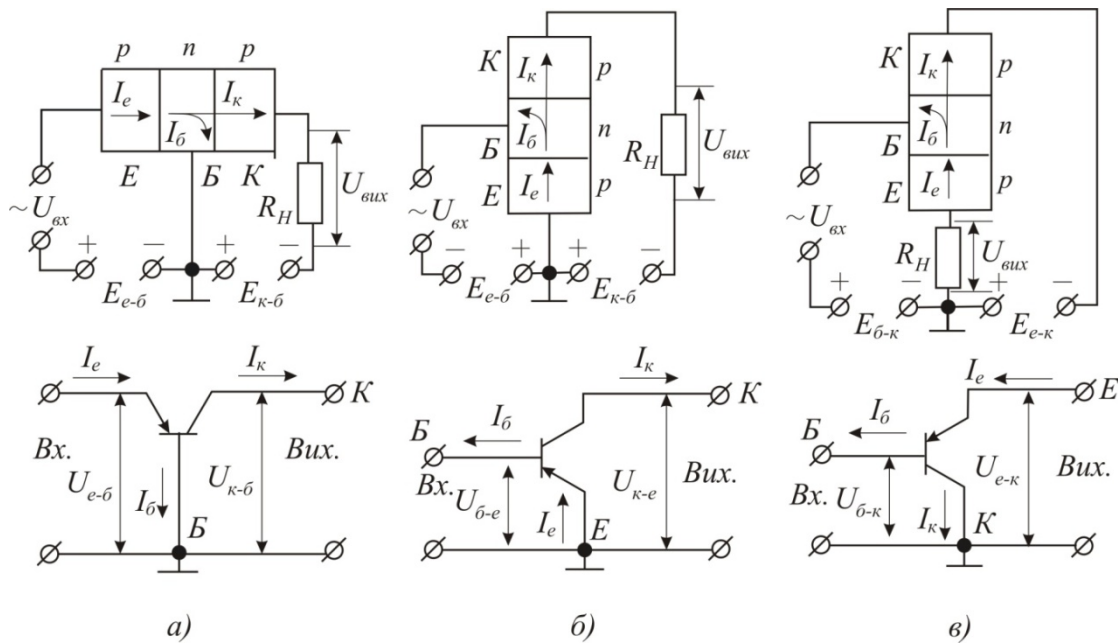


Рисунок 1.8 – Схеми увімкнення транзисторів:

а) із спільною базою; б) із спільним емітером; в) із спільним колектором

Транзистори призначені для генерації, підсилення і перетворення електричних сигналів. В імпульсних схемах вони працюють в режимі "ключа", коли транзистор може знаходитись лише в двох станах: увімкненому (відкритому) або вимкненому (закритому). Перехід із одного стану в інший відбувається дуже швидко, що відповідає основним вимогам великої швидкодії.

Також транзистори розрізняють за *потужністю* та *частотою*. Транзистори можуть бути малопотужними ($P_{max} < 0,3$ Вт), середньої потужності (від 0,3 до 1,2 Вт) та потужними (вище 1,2 Вт). Залежно від граничної частоти вони бувають низькочастотними ($f_{max} < 3$ МГц), середньої частоти (3 ... 30 МГц), високочастотними (вище 300 МГц).

Польовими транзисторами називаються напівпровідникові прилади, робота яких основана на модуляції опору шару напівпровідникового матеріалу поперечним електричним полем. Протікання електричного струму в польових транзисторах обумовлено носіями заряду тільки одного знаку (електронами або дірками), тому такі транзистори називають також *уніполярними* на відміну від біполярних.

За *конструкцією* польові транзистори поділяються на транзистори з керівним р-п переходом та з ізольованим затвором із вбудованим або індуктованим каналом (рис. 1.9). У таких транзисторів електрод, від якого починають рух основні носії заряду, називається *витоком*; електрод, до якого

рухаються основні носії заряду – *стоком*, а електрод, до якого прикладають керівну напругу – *затвором*.

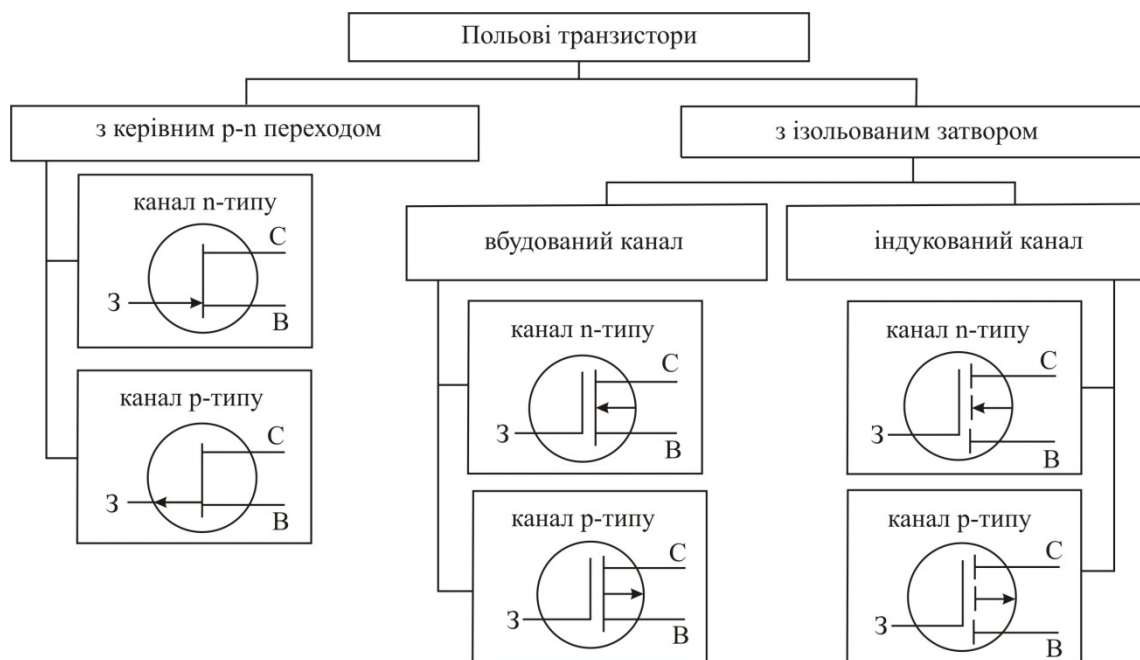


Рисунок 1.9 – Класифікація та умовні позначення польових транзисторів

За фізичними ефектами, що лежать в основі управління носіями заряду, польові транзистори бувають трьох видів: з керівним р-п переходом, з керівним переходом метал-напівпровідник та зі структурою метал-діелектрик-напівпровідник (МДН-транзистори). У польових транзисторах як напівпровідниковий матеріал використовують, в основному, кремній і арсенід галію, як метали: алюміній, молібден, золото; як діелектрик – оксид кремнію SiO_2 в МОН-транзисторах або складні структури, наприклад $SiO_2-Al_2O_3$, $SiO_2-Si_3N_4$ в МДН-транзисторах.

Інтегральні мікросхеми – це напівпровідникові прилади, що містять в своєму корпусі велику кількість активних і пасивних елементів, з'єднаних між собою в певну функціональну схему з можливістю виконання певних функцій.

За виконуваними функціями ІМС поділяються на **аналогові та цифрові**.

Цифрові (логічні) ІМС – вхідні і вихідні сигнали можуть мати два значення: логічний нуль або логічна одиниця, кожному з яких відповідає певний діапазон напруги. Наприклад, для мікросхем ТТЛ-логіки при живленні +5 В діапазон напруги 0 ... 0,4 В відповідає логічному нулю, а діапазон 2,4 ... 5 В відповідає логічній одиниці. Логічні ІС характеризуються: часом спрацьовування; споживаною потужністю; рівнем вхідних і вихідних напруг; значенням напруги завад та ін.

Аналогові ІМС – вхідні і вихідні сигнали змінюються за законом неперервної функції в діапазоні від позитивної до негативної напруги живлення. Поділяються на підсилювачі постійного струму (ППС) та ІМС з виконанням функцій з аналоговими сигналами, тобто коли форма вхідного сигналу впливає на форму вихідного. Аналогові ІС характеризуються: коефіцієнтом передачі або підсилення; вхідним і вихідним опором; рівнем нелінійних спотворень; вихідною потужністю; смугою частот та ін. (операційні підсилювачі, генератори сигналів, фільтри, аналогові помножувачі та ін.)

Аналого-цифрові мікросхеми поєднують у собі форми цифрової й аналогової обробки сигналів (тригери, лічильники, регістри, буферні перетворювачі, модулі пам'яті, шифратори, дешифратори, мікроконтролери та ін.)

За конструкцією ІМС поділяються на **напівпровідникові, гібридні та плівкові**.

Напівпровідникова мікросхема – мікросхема, всі елементи і міжелементні з'єднання якої виконані в об'ємі і на поверхні напівпровідника. На монокристалі створюють транзистори, діоди, резистори, пов'язані між собою в певну функціональну схему.

Гібридна мікросхема – мікросхема, частина елементів якої має самостійне конструктивне виконання (дискретні або навісні елементи), а провідники виконані за плівковою технологією.

Гібридні мікросхеми складаються з двох частин: пасивної та активної. Пасивна частина виготовляється з діелектричної пластини, на яку нанесено пасивні елементи (резистори та конденсатори), металеві доріжки (для з'єднання елементів у функціональну схему) і контактні площадки для під'єднання активних елементів (транзисторів та діодів).

Плівкова мікросхема – всі елементи і міжелементні з'єднання виконані у вигляді плівок:

- товстоплівкова інтегральна схема;
- тонкоплівкова інтегральна схема.

Тонкоплівковою називають ІС з товщиною плівки до 1 мкм. Їх наносять зазвичай методом термовакуумного осадження або катодного розпилення.

Товстоплівковою називають ІС, якщо товщина плівки більше 1 мкм.

Мікросхеми випускаються в двох конструктивних варіантах – корпусному і безкорпусному. **Безкорпусна мікросхема** – це напівпровідниковий кристал, призначений для монтажу в гібридну ІМС чи в мікрозбірку.

Корпус – це частина конструкції мікросхеми, призначена для захисту від зовнішніх впливів і для з'єднання з зовнішніми електричними колами за допомогою виводів. Корпуси стандартизовані для спрощення технологічного процесу виготовлення виробів з різних мікросхем.

Залежно від *ступеня інтеграції* (вказана кількість елементів для цифрових схем):

мала інтегральна схема (МІС) – до 100 елементів у кристалі;
середня інтегральна схема (СІС) – до 1000 елементів в кристалі;
велика інтегральна схема (ВІС) – до 10000 елементів в кристалі;
надвелика інтегральна схема (НВІС) – до 1 мільйона елементів у кристалі;
ультравелика інтегральна схема (УВІС) – до 1 мільярда елементів в кристалі;
гігавелика інтегральна схема (ГВІС) – більше 1 мільярда елементів в кристалі.

1.6 Комутаційні пристрої

Пристрої комутації (комутаційні пристрої) широко використовуються в РЕА, в тому числі при використанні інтегральних схем. Пристрої комутації дозволяють швидко (практично миттєво) комутувати (вмикати, вимикати) електричні кола в працюючій апаратурі в результаті зміни опору виконавчих елементів під дією керівних сигналів (або керівних впливів). Це дає можливість у процесі функціонування РЕА перемикає діапазони, змінювати режими роботи, вводити інформацію, перерозподіляти сигнали по колам та ін.

Керівний вплив може здійснюватися безпосередньо оператором (натиснення кнопки, перемикання тумблера та ін.) – *ручне керування*. Пристрої комутації з таким керуванням перебувають на панелях апаратури. Керівний вплив також може проводитися електричним керівним сигналом. Пристрої комутації з таким управлінням використовуються тоді, коли пульт управління відділений від апаратури, в якій повинна здійснюватися комутація, і пов'язаний з нею електрично за допомогою з'єднувальних ліній. При цьому первинне управління – це безпосередні дії оператора, які перетворюються на керівний електричний сигнал, що надходить потім по провідниках до виконавчих елементів.

Не менше значення мають такі комутаційні пристрої, в яких керівним впливом є електричний сигнал при автоматичному управлінні апаратурою. При цьому керівні сигнали виробляються в апаратурі без участі оператора.

Вимикачі та **перемикачі** – це елементи, що використовуються для зміни напрямку подачі електричного сигналу чи потужності. У них є два робочих положення: "ввімкнено" і "вимкнено".

З'єднання і роз'єднання кола (замикання і розмикання) здійснюється рухомим контактом, який або постійно з'єднаний з одним з нерухомих контактів; а з іншим з'єднується при установленні ручки перемикача в положення "ввімкнено", або виконаний у вигляді перемички, що з'єднує нерухомі контакти в цьому ж положенні. Однак незалежно від конструкції комутаційного вузла *замикальний контакт* зображають на схемах однаково – у вигляді похилої лінії в розриві лінії електричного зв'язку (рис. 1.10).

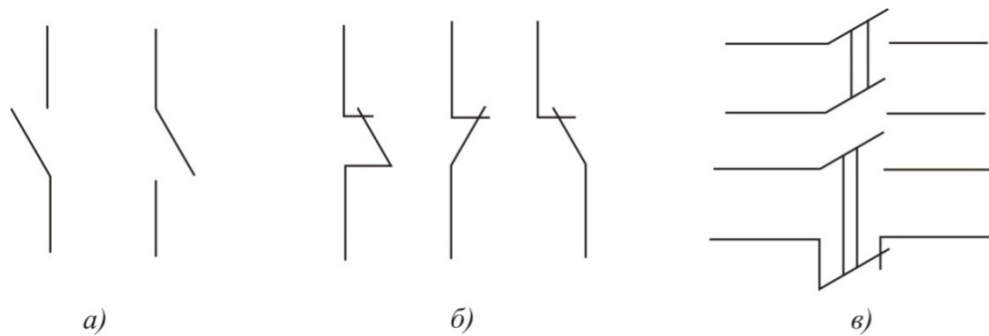


Рисунок 1.10 – Умовні графічні позначення вимикачів на електричних схемах:

а) замикальні контакти; б) розмикальні контакти; в) складні вимикачі

На відміну від замикального контакту, який завжди показують в розімкнутому положенні, розмикальний контакт зображають у замкнутому положенні. Використовують три рівноправних символи такого контакту (рис. 1.10, б), однак у межах однієї схеми рекомендується користуватися яким-небудь одним з них.

Складні вимикачі, призначені для одночасної комутації декількох електричних кіл, можуть містити кілька замикальних або розмикальних контактів або їх комбінації. При суміщеному зображенні такого вимикача (тобто в одному місці схеми) лінії, що позначають рухомі контакти, зображають паралельно один одному і з'єднують символом механічного зв'язку – двома суцільними лініями. Символи двох таких вимикачів наведені на рис. 1.10, в).

Перемикачі – це пристрої, що комутують одне чи кілька кіл на декілька інших. Умовне графічне позначення перемикального контакту, по суті, складається з комбінації символів замикального і розмикального контактів (рис. 1.10), при цьому також маємо на увазі, що рухомий контакт фіксується в обох крайніх положеннях.

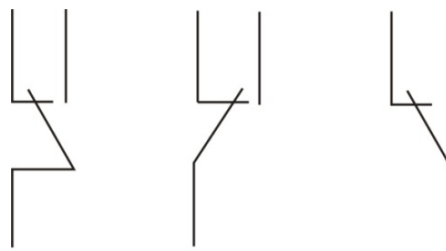


Рисунок 1.11 – Умовні графічні позначення перемикачів на електричних схемах

Конструкція перемикача складається з двох основних елементів: контактної пари та механізму замикання-розмикання контактів.

За способом дії механізму замикання-розмикання контактів перемикачі поділяються на нажимні (кнопки та клавіші), перекидні (тумблери) та галетні (багатополюсні перемикачі, які дозволяють одночасно здійснювати комутацію декількох функціонально пов'язаних кіл).

За *призначенням* контакти класифікуються на високочастотні та низькочастотні, сильнотимові та слабкостимові.

Крім перемикачів, для комутації електричних кіл радіопристроїв використовуються *реле*. В реле одночасне замикання (розмикання) контактних пар відбувається під дією електричного, магнітного або температурного полів. Найбільшого поширення набули електромагнітні реле. Реле призначено для комутації великих струмів навантаження. Іншими словами є перемикачем, який дозволяє малим струмом (наприклад сигналом кнопки) включити коло з великим струмом. Використовують реле, коли виконавчий пристрій (стартер, генератор, вентилятор, обігрів дзеркал, клаксон та ін.) споживає великий струм (до 30–40 ампер).

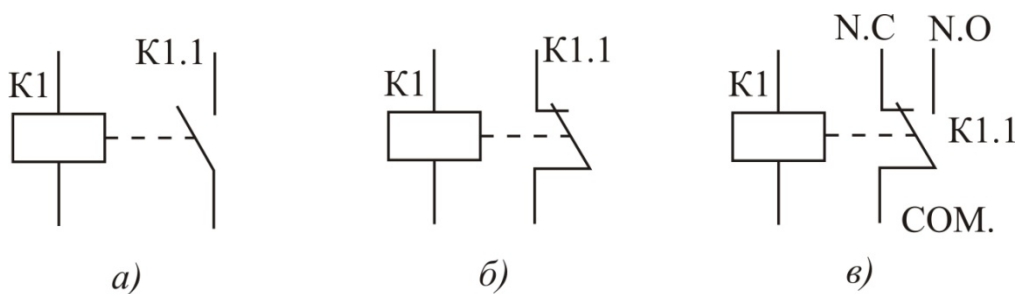


Рисунок 1.12 – Умовні графічні позначення реле:

а) реле з нормально розімкнутими контактами; б) реле з нормально замкнутими контактами; в) реле з перемикальними контактами

На рис. 1.12 показано умовні графічні позначення реле на електричних схемах. Нормально розімкнені контакти реле позначаються аббревіатурою N.O., а нормально замкнуті контакти – N.C. Загальний контакт реле має скорочення COM. (від слова common – "загальний").

Контрольні запитання

1. Як поділяються резистори залежно від призначення та матеріалу провідного шару ?
2. Назвіть основні параметри резисторів.
3. Як поділяються конденсатори за конструкцією та призначенням ?
4. Назвіть основні параметри котушок індуктивності.
5. Для чого використовуються і як класифікуються трансформатори ?
6. Охарактеризуйте основні параметри напівпровідникових діодів.
7. Охарактеризуйте схеми увімкнення біполярних транзисторів.
8. Як поділяються інтегральні мікросхеми за конструкцією ?
9. Охарактеризуйте основні комутаційні пристрої та особливості їх використання.

2 МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ПАЯННЯ

2.1 Низькотемпературні припої

Припоями (solders) є метали, які розплавляються нижче температури плавлення спаяваних металів. Оскільки сплави металів завжди мають температуру плавлення меншу, ніж у будь-якого з компонентів сплаву, як припої використовують сплави. З усіх сплавів як припої використовують ті, які добре змочуються рідинами і здатні утворювати металевий зв'язок із з'єднуваними металами.

Також важливими є такі фактори, як температурний інтервал кристалізації сплаву (припою), вартість і дефіцитність компонентів, інтенсивність їх випаровування і розчинення в основному металі, здатність припою розчинити з'єднувані метали (забруднюватися розчиненими металами), когезійна міцність, властивості хімічних сполук металів з припоями.

З усіх систем сплавів як припої традиційно багато років використовують евтектичні. Саме в цих сплавах затвердіння (кристалізація) відбувається відразу у всьому об'ємі при найнижчій для даної системи температурі. Неєвтектичні сплави кристалізуються в широкому температурному діапазоні, що збільшує час, необхідний для охолодження паяного вузла, протягом якого з'єднувані деталі повинні залишатися строго нерухомими, щоб не зрушити холоначий напівзатверділий припій.

Найкращим чином зарекомендував себе для *монтажного паяння (soldering)* евтектичний сплав олово-свинець з вмістом олова 61% (ПОС-61). Він має найменшу температуру плавлення (190 °С) та найкращі капілярні властивості. Єдиний його недолік – висока вартість олова.

Рідкий припій розчиняє з'єднувальні метали, за рахунок чого його властивості можуть погіршуватися. Для запобігання насичення припою сторонніми для нього компонентами застосовують захисні (паяльні) маски, що закривають металеві поверхні, які не підлягають паянню, використовують малорозчинні у припої бар'єрні покриття, наприклад нікель на міді. Легування припою запобігає розчиненню металів і покращує властивості припоїв. Приклади легування:

- ПОС61Су – припій, легований сурмою, має підвищену механічну міцність;
- ПОС61М – припій, легований міддю (до 2%), не розчиняє мідь, призначений для паяння мікродротів;
- ПСр – припій, легований сріблом;
- ПСрОСІн – сплав олова, свинцю, сурми, срібла, індію; призначений для паяння та лудіння тонких проводів із золота і срібла або покритих ними деталей. Присадки індію значно збільшують здатність припою до змочування поверхонь.

Також до м'яких припоїв належать припої

- **вісмутові**, що мають низьку температуру плавлення, при кристалізації збільшуються в об'ємі, що буває потрібно для попередження усадочних явищ, однак недостатньо добре змочують поверхні паяння (приклад: сплав Розе з температурою плавлення 93,7 °С);
- **кадмієві**, що мають найнижчу температуру плавлення (сплав Вуда – 66 °С), більш високу міцність і пластичність, ніж олов'яно-свинцеві, однак недостатньо добре змочують поверхні паяння;
- **індієві**, що мають виключно гарну змочуваність до всіх поверхонь, навіть до скла, кераміки, кремнію; додання індію до будь-якого припою істотно покращує його змочуваність; однак індію як рідкоземельний елемент досить дефіцитний;
- **галієві**, що здатні формувати паяний шов при температурах паяння 40 ... 50 °С; при таких температурах в рідкій галій вводять тонкі металеві порошки міді або нікелю, або срібла; галій розчиняє введений в нього метал, утворюючи твердий розчин з температурою плавлення, більшою 300 °С (до 800 °С).

Вирішення екологічних проблем при утилізації електронної апаратури потребувало вилучення з обігу припоїв, що містять свинець. Багато країн поставили вирішення цієї проблеми на державний рівень. Сьогодні видано більше ста патентів на сплави різних складів для заміни свинцевих припоїв. При переведенні виробів на безсвинцеве паяння доводиться враховувати цілий ряд факторів. Припої підбирають, виходячи з особливостей конструкції пристрою, топології друкованої плати, механічних і електричних характеристик блока, умов його експлуатації. При виборі враховують також температуру плавлення припою, змочуваність спаюваних поверхонь, надійність, стійкість монтованих компонентів і монтажних підкладок до температури паяння, відмінності режимів при паянні плавленням і *хвилею припою (wave soldering)*. Основний критерій при виборі припою – це температура плавлення. Всі припої за цією ознакою можна розділити на чотири групи: низькотемпературні (температура плавлення нижча 180 °С), з температурою плавлення, що дорівнює евтектиці $Sn63/Pb37$ (180 ... 200 °С), з середньою температурою плавлення (200 ... 230 °С) і високотемпературні (230 ... 350 °С).

Сьогодні в промисловості масового виробництва склалася єдина думка, що найкращою альтернативою для заміни евтектики $Sn62/Pb38$ в апаратурі загального призначення є сплав $Sn95,5/Ag3,8/Cu0,7$ з температурою плавлення 217 °С, що на 34 °С вища $Sn62/Pb38$. Але робоча температура паяння цим припоєм ще більша, ніж 34 °С, через його низьку змочуваність. Для поліпшення змочуваності робочу температуру змушені піднімати ще на 20 °С. Таким чином, якщо для сплаву $Sn62/Pb38$ з температурою плавлення 183 °С робоча температура встановлюється рівною 220 ... 230 °С, то для

$Sn_{95,5}/Ag_{3,8}/Cu_{0,7}$ – 270 °C. Така зміна режиму паяння може призвести до серйозних проблем при монтажі апаратури, кардинальних змін у використуваних матеріалах і технологічних процесах.

Європейські стандарти рекомендують для паяння оплавленням сплав $Sn_{3,9}/Ag_{0,6}/Cu$, для паяння хвилею – менш дорогі припої $Sn_{0,7}/Cu$ і $Sn_{3,5}/Ag$, оскільки в другому випадку потрібні великі об'єми припійного матеріалу.

2.2 Призначення, класифікація та склад флюсів для паяння

Флюси (*fluxes*) – це речовини, що використовуються для очищення спалюваних поверхонь від забруднення та оксиду.

Головною вимогою до флюсу є забезпечення доброї змочуваності поверхні паяного шва розплавленим припоєм за рахунок зменшення поверхневого натягу припою і поліпшення його розтікання по усіх зазорах паяного шва. Додаткові вимоги полягають у тому, що флюс повинен: розчиняти поверхневі плівки на металі і припій, тим самим активувати поверхні; запобігати окисленню активованих поверхонь; забезпечувати і вирівнювати передачу тепла в зоні паяння; поступатися припою при змочуванні поверхонь (видавлюватися із зони спаю в міру змочування металу припоєм); не утворювати агресивних парів, які могли б конденсуватися на сусідніх холодних поверхнях компонентів і елементах електричної ізоляції, викликаючи згодом корозію і відмови ізоляції; мати здатність до видалення (відмивання) доступними засобами.

Механізм дії флюсу полягає в тому, що оксидні плівки металу та припою розчиняються на поверхні флюсу. На поверхні очищеного (активованого) металу утворюється захисний шар флюсу, що перешкоджає виникненню нових окисних плівок і забруднень (якщо сам флюс не розкладається при перегріванні). Рідкий припій повинен заміщати флюс і взаємодіяти з основним металом. Тому змочуваність припоєм спаюваних поверхонь повинна бути більшою, ніж у флюсу. Хімічна активність флюсу, що використовується для монтажного паяння, повинна виявлятися тільки при температурі паяння. При температурах експлуатації апаратури він повинен бути нейтральний, щоб не викликати корозійних процесів і руйнування ізоляції. Таку властивість серед інших за певних умов мають флюси на основі каніфолі.

Флюси для паяння електронних виробів можуть бути *смоловмісними* і *несмоловмісними*. Флюси, що не містять смоли, можуть мати іоногенні компоненти, від яких плати потрібно ретельно очищати. Основу смоловмісних флюсів, як правило, становить *каніфоль*, яка є сумішшю органічних кислот. Головний компонент цієї суміші – абієтинова кислота, вторинний – терпін. Органічні кислоти – такі як саліцилова, молочна, стеаринова, лимонна, мурашина та ін. також можуть бути використані для підготовки поверхні до паяння, проте через їхню більшу активність вони потребують

більш обережного поводження і ретельного промивання виробів після паяння. Дані кислоти, як і деякі їхні сполуки, найчастіше використовуються як активатори додатково до флюсу на основі каніфолі. Рівень кислотності флюсу на основі чистої каніфолі дуже малий, але в результаті її розчинення в спирті і в процесі нагрівання при паянні відбувається її додаткова активація. Процес активації каніфолі починається при температурі близько 170 °С. При сильному нагріванні (більше 270 °С) відбувається інтенсивне розкладання каніфолі і втрата її флюсувальних властивостей.

Каніфольні флюси в стандартах називають смоловмісними, маючи на увазі технічну назву каніфолі – деревна смола. Смоловмісні паяльні флюси класифікуються за кислотністю та активністю.

Безкислотні флюси готуються на основі каніфолі і спиртів: етилового, гліцерину, етиленгліколь, етилацетату та ін. Наприклад, флюси ФКС_П, ФКЕ_Т являють собою розчини соснової каніфолі в етиловому спирті і етилацетаті (відповідно). Такі флюси виготовляють безпосередньо на виробництві. Активують каніфольні флюси присадками хімічних активаторів: саліцилової кислоти, органічними сполуками галогенів.

При безсвинцевому паянні використовують флюси на водній основі, які не містять VOC-компонент (Volatile Organic Compounds – композиції з органічними випаровувальними компонентами). Їх переваги полягають у незаймистості, меншій інтенсивності випаровування, здатності бути активними в широкому температурному діапазоні.

В синтетичних флюсах використовуються фенольні, поліефірні та інші синтетичні смоли, що дозволяє регулювати процес активації і поліконденсації і отримувати залишки із заданими властивостями: пластичність, механічна міцність, теплостійкість, вологостійкість та ін. Зокрема, регулюючи процеси поліконденсації можна отримувати залишки флюсу з високою термостійкістю – більше 125 °С, тобто вище верхньої межі роботоздатності апаратури. Це дозволяє використовувати вологозахисні покриття без видалення залишків такого флюсу після паяння.

Флюси, що полімеризуються, не потребують відмивання після паяння, забезпечують гарну якість паяних з'єднань на всіх відомих фінішних покриттях.

2.3 Паяльні пасти

Паяльна паста (brazing paste) являє собою пастоподібну речовину, яка складається з найдрібніших кульок припою, флюсу і різних добавок. Паяльні пасти бувають невідмивні і водовідмивні, останні містять активні речовини, частки яких можуть стати причиною корозії, якщо не видалити їх з поверхні друкованої плати. Паяльна паста, в основному, застосовується для *поверхневого монтажу (surface mount technology)*, для чипів (SMD) радіодеталей і особливо зручні для паяння у важкодоступних місцях. Паяння радіодеталей такою пастою здійснюється за допомогою *паяльної*

(фен) або ПЧ станції (*soldering station*). Спочатку наносять краплі пасти на місця майбутнього спаю, розташовують радіодеталі і нагрівають.

Паяльні пасти являють собою однорідну суміш дрібногранульованого припою з флюсом та гелеутворювальними речовинами. Паяльні пасти застосовують для паяння компонентів з використанням групових методів нагріву: інфрачервоним, конвекційним, конденсаційним. Її наносять на поверхню монтажних елементів методами трафаретного друку або дозаторами.

При виборі паяльної пасти враховують такі її властивості: схильність до утворення грудок – не повинно відбуватися розбрикування окремих нерозплавлених частинок припою в процесі паяння; хороша змочуваність – розплавлений припій повинен мати здатність до капілярного підйому та розтікання; відсутність окиснення дрібних частинок припою; можливість відмивання місця паяння від флюсу, що входить до складу пасти; однорідність складу по всьому об'єму тари – схильність до розшарування пасти за рахунок більшої щільності припою повинна бути мінімальною протягом певного терміну зберігання за певних умов; хороша клейкість, що забезпечує фіксацію компонентів на платі до її оплавлення; здатність до зберігання, що забезпечує стабільність початкових характеристик протягом певного часу; стабільність технологічних властивостей паст в різних партіях постачання.

Склад основних компонентів паст: припій та флюс – повністю відповідає стандартним складам припоїв і флюсів. Для додання потрібних властивостей в пасту вводять спеціальні в'язучі добавки (тиксотропні агенти, загусники), а для забезпечення потрібної в'язкості вводять розчинники. Поєднання всіх компонентів паст повинно гарантувати чіткість друку, змочуваність, клейкість. При виробництві паяльної пасти спочатку окремо виготовляються флюс і порошкоподібний припій. Потім обидва компоненти змішуються один з одним для утворення паяльної пасти. Залежно від щільності монтажу до складу паяльної пасти може бути введений гранулянт припою. Якість нанесення пасти значною мірою залежить від об'ємної частки припою, тому вміст припою в пасті має бути строго вивірено.

2.4 Клеї для радіомонтажних робіт

Клеї (glues) для поверхневого монтажу призначені для закріплення компонентів на друкованих платах. Клеї повинні мати прийнятні тиксотропні і реологічні властивості. Після нанесення на поверхню плат клеї повинні зберігати стійку форму у вигляді точок для закріплення широкого діапазону компонентів різного розміру та маси.

Основою всіх клеїв є *полімери* або суміш полімерів – співполімери. Полімер пов'язує в єдине ціле інші компоненти системи і надає клею основні властивості. Таким чином, полімерні речовини (смоли) є зв'язувальними. Клеї й клейові композиції, використовувані в технології

поверхневого монтажу, виготовляються в більшості випадків на основі епоксидних, акрилових і ціанакрилових смол. Крім того, відомі клеї на основі уретанів, поліімідів, епоксидно-акрилових і уретано-акрилових композицій.

Епоксидні смоли мають гарну стійкість до дії розчинників, вологостійкі, мають гарне заповнення та стійкі до дій високих температур. Їх полімеризація може проводитися під дією ультрафіолету. До недоліків відноситься низька збережність, особливо при зберіганні поза холодильником, і те, що вони, в основному, двокомпонентні, тобто потребують підготовки до використання.

Акрилові смоли мають гарну вологостійкість і стійкість до дій розчинників, мають малий час полімеризації, довговічні.

Ціанакрилові смоли мають кращі властивості міцності відносно інших смол, малий час полімеризації при звичайній температурі. До недоліків відносяться підвищена чутливість до вологи, погане наповнення, хімічна агресивність, погана стійкість у процесі паяння, оскільки вони є термопластами.

Поліуретанові й поліімідні клеї мають гарні склеювальні властивості і температурні стабільності характеристик клейових з'єднань. Полімеризація відбувається при високих температурах. Поліуретано-акрилові композиції полімеризуються повільно, під дією ультрафіолетового чи інфрачервоного випромінювання, а також гарячого повітря.

Найбільшого поширення в даний час отримали клеї на основі епоксидних смол.

Для поліпшення механічних властивостей, зменшення усадки під час затвердіння полімеру, підвищення стійкості до дії різних середовищ, а також для зниження вартості вводять до складу клеїв *наповнювачі*. У клеях використовуються порошкоподібні наповнювачі (пудри) на мінеральній основі: технічний вуглець (сажа), подрібнений кокс і графіт, крейда, каолін, тальк, металева пудра. Металеві наповнювачі надають клеям тепло- і електропровідності, стійкості до дії електромагнітного і проникного випромінювань.

Пластифікатори вводять в клеї для підвищення еластичності матеріалу, поліпшення їх морозостійкості і ударостійкості. Як пластифікатори найбільш часто використовують складні ефіри різних кислот і низькомолекулярні поліефіри.

Стабілізатори вводять в клеї для стримування процесів полімеризації при зберіганні в охолодженому стані і для додання клейовим складам стійкості і стабільної в'язкості. Стабілізатори дозволяють використовувати клеї в умовах цеху (або всередині дозувального обладнання) протягом 30 днів без погіршення робочих характеристик.

Для захисту клеїв від старіння застосовують спеціальні речовини –

стабілізатори проти старіння:

- антиоксиданти – з'єднання, що запобігають термоокислювальній деструкції;
- антиозонанти;
- світлостабілізатори;
- антиради – речовини, що запобігають радіаційній деструкції.

Барвники застосовують для фарбування клеїв. З цієї метою використовують органічні барвники (пігменти) та неорганічні пігменти як наповнювачі. Органічні барвники, введені в клейову композицію, створюють яскраві і чисті тони, забезпечують прозорість композиції. При використанні неорганічних барвників отримують непрозорі пофарбовані клеї.

Для радіомонтажних робіт використовуються такі клеї:

- *карбонільний клей* – склеює кераміку, скло, слюду, дерево, папір, картон, пластмасу, алюміній, сталь, чавун; стійкий до дії нафтового масла, бензину, але не досить вологостійкий; холодостійкий при $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$; міцність та ізоляційні властивості зберігаються до $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- *БФ* – виготовляється за допомогою з'єднання полівініл-ацеталей і фенолоформальдегідних смол; вони мають велику міцність, високу здатність зчеплення з різними матеріалами і еластичність шару; застосовується для склеювання металу, а також для електричної ізоляції деталей, коли потрібен клейовий шов з підвищеною нагрівостійкістю; клейове з'єднання за допомогою БФ-4 здійснюють, коли необхідна еластичність і стійкість до вібрацій;
- *акриловий клей* виготовляється з стружки оргскла, розчиненого в дихлоретані; клейовий шов вологонепроникний;
- *термокреневий клей* має в своїй основі термокрен (натуральний каучук, оброблений органічними сульфакрилатами); застосовується для склеювання гуми з металом, тонких металевих пластин; склеєний шов вологостійкий; клей не змінює властивостей від -40 до $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$, добре переносить вібрації; він стійкий до дії грибкових бактерій;
- *епоксидний клей* має гарну клейкість може затвердіти при кімнатній температурі або при температурі від 100 до $140\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- *поліефіруретановий клей* застосовується для склеювання металів, пластиків, дерева, різних видів стекол, кераміки, гуми, тканин, паперу.

2.5 Розчинники

Миючі середовища використовуються для очищення:

- плат перед початком складання для видалення забруднень відбитками пальців та інших забруднень в процесі зберігання; це необхідно, щоб покращити якість нанесення паяльної пасти і клею;
- складених плат, щоб уникнути різноманітних відмов ізоляції;
- трафаретів від залишків паяльної пасти або клею;
- плат при помилковому нанесенні паяльної пасти або клею;
- печей і установок паяння хвилиною припою.

Вибір типу рідини обумовлений складом флюсу і органічних добавок, які входять до припійної пасти. Знаходять застосування два типи рідин: органічні і водні розчини миючих засобів, причому останні в технології поверхневого монтажу в даний час практично не використовуються.

Рідини для промивання збірок повинні задовольняти такі вимоги:

- мати максимально можливу величину поверхневого натягу для полегшення проникнення у вузькі проміжки і мінімально можливе його значення для гарної циркуляції в обмеженому об'ємі;
- мати високу хімічну енергію відносно забруднювальних речовин.

Більшість виробників апаратури використовують для промивання стандартні органічні рідини або їх азеотропні суміші, такі як трихлоретан, хлористий метилен і суміші фреону. Розчинники – індивідуальні хімічні сполуки або їх суміші, здатні переводити різні речовини в розчин. Так само, як і всі хімічні сполуки, розчинники поділяють на неорганічні і органічні. Найважливіший неорганічний розчинник – вода. Менш відомі неорганічні розчинники – легкоплавкі галогеніди (наприклад, BrF_3), оксогалогеніди (наприклад, сульфурилхлорид, тіонилхлорид), азотовмісні розчинники (рідкий аміак) та ін. Коло органічних розчинників набагато ширше. За наявністю або відсутністю дипольного моменту і величиною діелектричної проникності розрізняють полярні і неполярні розчинники.

Сумішеві розчинники активно використовуються в технологіях відмивання друкованих вузлів. Це обумовлено тим, що забруднення у загальному випадку містять у своїх молекулярних ланцюжках гідрофобні і гідрофільні фрагменти. Тому розчинники для відмивання друкованих вузлів повинні мати гідрофільно-гідрофобний баланс. Інакше вони будуть видаляти тільки гідрофільні або тільки гідрофобні забруднення. Універсальні розчинники забруднень повинні містити компоненти з гідрофобними властивостями (уайт-спірит, толуол, сольвент та ін.) та компоненти, споріднені до води (етанол, етилцеллозольв, ацетон, етилацетат та ін.). У відомій спиртобензиновій суміші перша складова відповідає за розчинення гідрофільних забруднювачів (особливо залишків каніфолі), а друга – за розчинення гідрофобних забруднювачів (жирів та ін.).

Контрольні запитання

1. Що являють собою припої ?
2. Як поділяються припої для радіомонтажних робіт ?
3. В чому полягає механізм впливу флюсу ?
4. Як класифікуються флюси для паяння електронних виробів ?
5. Що входить до складу паяльної пасти ?
6. Які компоненти входять до складу клеїв ?
7. Охарактеризуйте клеї, які використовуються для радіомонтажних робіт.
8. Які вимоги висуваються до розчинників для відмивання друкованих плат ?
9. Чим обумовлений вибір типу рідини для очищення плат ?
10. Які речовини використовуються для клеїв як наповнювачі ?

3 ПАЯННЯ ТА МОНТАЖ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ АПАРАТУРИ

3.1 Підготовка провідників та радіодеталей до монтажу

Підготовка провідників до паяння полягає в їх випрямленні, різанні, знятті з ділянок провідника ізоляції, зачистці і лудінні зачищених провідників і виводів. При цьому монтажні проводи не повинні мати пошкоджень ізоляції, вм'ятин, скруток, надрізів та інших пошкоджень. Довжина підготовлених провідників, перемичок, кабелів та ізоляційних трубок повинна відповідати розмірам, зазначеним у документації. При підготовці провідників рекомендується групувати їх за марками, кольором ізоляції і довжині. Торці провідників в місцях зрізу повинні бути рівними, без задирок провідникової жили, кінці жил не повинні бути сплюснені або обрізані неперпендикулярно до осі провідника.

При випрямленні провідників не допускати сильного натягу, радіус вигину дротів не повинен перевищувати його подвійного діаметра.

Зняття ізоляції (зачистка) з кінців провідників є однією з відповідальних операцій, що визначають механічну міцність паяного з'єднання.

Способи зняття ізоляції різні і залежать від типу ізоляції проводу і від наявності інструменту. Як правило, використовують такі способи зняття ізоляції:

- з використанням ножа або скальпеля – найпоширеніший спосіб, але при цьому висока ймовірність пошкодження жили;
- з використанням електротермоножа – пристрою, який за допомогою нитки розжарення перепалює ізоляцію, при цьому жила не пошкоджується;
- з використанням знімача ізоляції;
- з використанням пристосування для відпалу.

Головна вимога при знятті ізоляції – не пошкодити жилу провідника. Приміщення, в якому проводиться випал ізоляції, повинно мати витяжну вентиляцію, а роботу з фторопластовою ізоляцією виконують безпосередньо у витяжній шафі, оскільки пари фторопласта високотоксичні. У голих провідників кінці зачищають дрібною шліфувальною шкуркою. У емалевих провідів діаметром вище 2,5 мм ізоляцію видаляють механічно за допомогою дрібною шліфувальною шкурки або спеціальними щипцями без попереднього нагрівання або з нагріванням в муфельній печі. Кінці провідів з вініловою ізоляцією обпалюють в муфельній печі або опускають в мурашину кислоту, а потім зачищають шліфувальною шкуркою.

Перед установленням радіодеталі в схему необхідно, щоб виводи встановлюваної деталі за формою відповідали выводам заміної деталі і були облужені. Виводи деталей згинають за зразком або за певною формою залежно від місця і способу приєднання за допомогою як звичайного інструменту, так і спеціальних пристосувань.

При даній операції необхідно дотримуватися особливих застережних заходів і не допускати великих механічних зусиль в місцях кріплення виводів до корпусів елементів. Внутрішній радіус вигину виводів не повинен бути меншим за їх подвоєний діаметр або товщину.

Формування виводів залежно від технології процесу виконують як до, так і після лудіння. Жорсткі виводи елементів згинати забороняється. Перед лудінням зачищені виводи знежирюють в органічних розчинниках. Лудіння виконують за допомогою паяльника або в спеціальних ванночках з розплавленим припоєм.

Виводи радіодеталей лудять на відстані не менше 8 мм від корпусу деталі. Для запобігання перегріву малогабаритних деталей, особливо напівпровідникових приладів, застосовують тепловідводи. Найпростішим і найпоширенішим тепловідводом можуть служити пінцет або плоскогубці, якими необхідно затиснути вивід деталі між її корпусом і місцем паяння.

Під час паяння будь-яких радіодеталей потрібно прагнути, щоб час впливу високої температури був якомога меншим. При установленні напівпровідникових приладів повинні бути виконані такі умови:

- надійний контакт корпусу деталі з шасі і тепловідводом;
- необхідна циркуляція повітря;
- достатня відстань від елементів схеми, які при роботі виділяють значну кількість тепла (потужних резисторів, трансформаторів тощо);
- розташування напівпровідникових приладів поза впливом постійних магнітів і сильних випромінювань НВЧ.

Радіодеталі кріпляться на власних выводах до монтажних стояків, пелюсток, контактних майданчиків друкованих плат та інших елементів конструкції. Для захисту деталей від вологи і вібрації їх можна додатково кріпити за допомогою хомутів, болтів, скоб, утримувачів, заливати компа-

ундом, приклеювати мастиками або клеями. Деталі необхідно приєднувати без натягу. Навісні елементи встановлюються так, щоб було помітно їх маркування, а у діодів – також маркування їх полярності.

Рекомендована відстань від корпусу радіодеталі до місця паяння – не менше 5 мм, якщо інше не зазначено в технічній документації.

Рекомендована відстань від корпусу радіодеталі до місця вигину – не менше 2 мм, якщо інше не зазначено в технічній документації.

Для підтримки температурного режиму на корпуси радіодеталей можуть бути одягнуті трубки, що обумовлюється в документації.

Ізоляційні трубки можуть одягатися також на виводи радіодеталей для запобігання замикань.

Радіодеталі, що підбираються в процесі налаштування або регулювання апаратури, припаюють неміцно, без механічного кріплення, а після завершення ремонту їх припаюють остаточно і закріплюють.

3.2 Технологія паяння електричних з'єднань радіоелектронних пристроїв

З'єднання двох деталей за допомогою легкоплавкого сплаву називають *паянням*. На відміну від зварювання розплавлення з'єднуювальних деталей не відбувається, процес паяння більше схожий на склеювання деталей, де як клей виступає розігрітий припій – сплав, що має досить низьку температуру плавлення. Паяння є основним способом створення нероз'ємного з'єднання компонентів з провідниками плати.

Розрізняють *селективне нагрівання* монтажних точок і *групове*. При *селективному паянні* (*selective soldering*) нагрівання проводиться від точки до точки таким чином, щоб весь монтажний виріб і монтовані елементи при цьому залишаються холодними. До селективного паяння відносяться паяння нагрітим інструментом: паяльником, нагрітим електродом, ІЧ-, світловим або лазерним променями.

Локальне нагрівання при паянні має певні переваги порівняно із загальним, оскільки не впливає на ділянки виробу, які не паяються. У разі застосування елементної бази з планарними виводами, які потребують притискання кожного виводу в момент паяння, надається перевага локальному нагріванню паяних швів. Паяння зводиться до повторного розплавлення за наявності флюсу дози припою, попередньо нанесеного на вивід і контактний майданчик під час лудіння. Механічну фіксацію навісних елементів здійснюють приклеюванням тіла елемента до підкладки. Локальність нагрівання не виключає можливості проведення групового процесу паяння. Локальне нагрівання здійснюють трьома способами: *контактним, струменевим, променевим*.

Контактний спосіб оснований на нагріванні електричним струмом жала паяльника і передачі тепла в локальне місце паяння шляхом притискання жала.

Для зменшення сталої часу нагрівання та охолодження застосовують електричний нагрів жала паяльника. Температуру жала паяльника стандартно встановлюють на 30 ... 40 °С вищою температури плавлення припою. Однак, також успішно практикується перегрів жала паяльника на 70 ... 90 °С. Перегрів підвищує рівень активації поверхонь взаємодіючих металів. Короткочасність перегріву дозволяє знехтувати окислювальними процесами на поверхні припою і металу, тим паче, вони захищені флюсом. Недоліком методу є залежність температури в зоні паяння від теплоємності і теплопровідності вузла, що паяється, від щільності притиснення жала.

Припої вибирають залежно від робочої температури з'єднання, максимально допустимої температури нагрівання деталі, кліматичного виконання пристрою та ін. Марка припою вказується в технічній документації. Припої застосовують у вигляді дроту діаметром від 1 до 5 мм або у вигляді литих прутків, які не повинні мати дефектів.

Вибір флюсу визначається температурним інтервалом його активності в процесі паяння і корозійною активністю залишків флюсу після паяння.

При паянні електричних з'єднань застосовувати кислотні флюси категорично забороняється. На з'єднувальних паяннях поверхнях флюс наносять у мінімальній кількості, що забезпечує змочування цих поверхонь, але виключає його розтікання за межі паяння. Рідкі флюси наносять за допомогою пензля, загостреної палички, піпетки або спеціального дозатора. Категорично не допускається затікання флюсу під ізоляцію проводів.

Флюси і їх залишки після паяння підлягають видаленню. Місця спаю промивають змоченим в чистому спирті тампоном, при цьому слід виключити потрапляння спирту всередину негерметичних елементів, а також на лакофарбові покриття та ізоляцію проводів.

Для прискорення процесу і отримання міцного паяння поверхні виробів, які паяються, попередньо лудять. Технологічний процес гарячого лудіння складається з таких операцій:

- підготовка деталей (провідників);
- нанесення флюсу;
- лудіння;
- видалення залишків флюсу;
- контроль.

Паяння мідних провідників і виводів радіодеталей виконують у такому порядку (рис. 3.1 та рис. 3.2):

- закріпити об'ємні радіодеталі з облуженими виводами на платі;
- промити спиртом зачищені кінці провідників і виводи радіодеталей;
- нанести флюс на місце з'єднання;
- виконати паяння.

Припій слід подавати безпосередньо з паяльника при розігріві провідника (виводу). Паяти слід з найменшою витратою припою, забезпечуючи достатню міцність з'єднання. Тривалість паяння не повинна перевищувати 4 ... 5 с.

При паянні необхідно виключити перегрів деталей, оплавлення ізоляції провідників і ізоляційних трубок, відпаювання монтажних майданчиків і виводів інших елементів, а також розтікання припою. Щоб уникнути перегріву мініатюрних радіокомпонентів і напівпровідникових приладів необхідно використовувати тепловідводи і захисні екрани. Паяти дозволяється при температурі навколишнього повітря, не нижчій + 10 °С. Необхідно стежити, щоб під час паяння не було протягів.

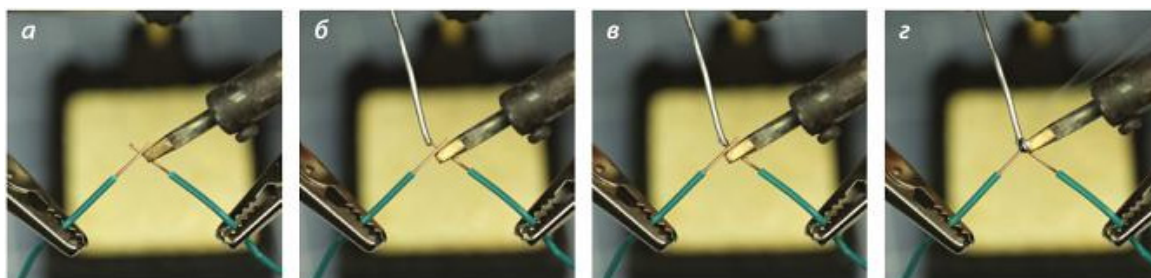


Рисунок 3.1 – Виконання паяного з'єднання провідників:

- а) розігрів провідників; б) подання припою з одночасним підтриманням тепла; в) очікування моменту, поки припій не почне розплавлятися; г) очікування моменту, коли сформується повністю розплавлена кулька припою

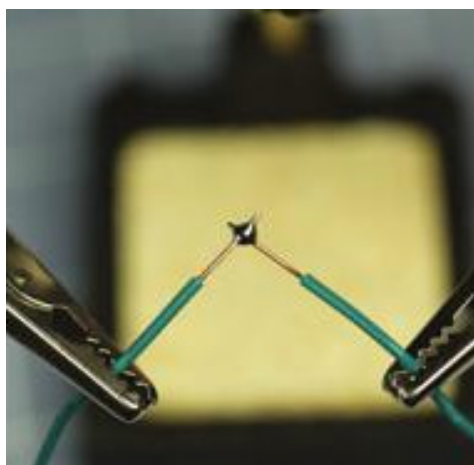


Рисунок 3.2 – Правильно виконане паяне з'єднання

Щоб уникнути виходу з ладу напівпровідникових приладів через перегрівання під час паяння необхідно дотримуватися таких правил безпеки:

- паяння повинно проводитися паяльником відповідної потужності (як правило, 25 Вт, але не більше 40 Вт) з діаметром робочої частини до 3 мм;
- корпус паяльника повинен бути заземлений;

- на робочій частині паяльника необхідно підтримувати постійну температуру, зазначену в технічній документації;
- дотримуватися встановленої тривалості паяння кожного типу приладу, прагнучи звести цей час до мінімуму;
- уникати випадкового дотику паяльника до корпусу та ізолятора приладу і потрапляння на них флюсу і припою;
- застосовувати тепловідводи та екрани;
- базові виводи біполярних транзисторів необхідно приєднувати (припаювати) першими, а від'єднувати (відпаювати) останніми;
- забороняється подавати напругу на транзистор, базовий вивід якого відключений;
- напівпровідникові прилади замінювати тільки при відключених джерелах живлення;
- забороняється монтувати або встановлювати НВЧ-діоди при впливі на них зовнішніх полів потужних генераторів;
- при захисті приладів від корозії і заливання лаками, компаундами, пінопластами або піногумою необхідно стежити, щоб температура корпусу приладу не перевищувала максимальної, яка вказана в технічних умовах (ТУ), і щоб не виникали механічні навантаження на виводи.

Локальне *струменеве нагрівання* гарячим газом або полум'ям основане на подачі в зону паяного шва спрямованого потоку, діаметром менше 0,5 мм, що викликає повторне розплавлення нанесеної при лудінні дози припою. Припаяні виводи елементів повинні бути притиснуті до контактного майданчика на весь час паяння аж до затвердіння припою. Як газ-теплоносій застосовують аргон, гелій, азот при температурі струменя 300 °С. Швидкість паяння шва становить 2 мм/с.

Більш високу продуктивність дає застосування гостро спрямованого факела полум'я, в конусі якого температура може досягати 3400 °С (горіння водню в кисні). Кінець факела полум'я утримують на відстані 2...6 мм від поверхні контактної майданчика, покритої припоєм і флюсом. Стабільність температури залежить від точності дотримання відстані між кінцем сопла і поверхнею паяння (зазвичай 17...18 мм при довжині полум'я 14 мм) і від точності підтримання довжини полум'я. Довжина полум'я залежить від складу суміші водень-кисень.

У випадку *паяння опором* тепло виділяється в U-подібному електроді. Перевага даного методу в тому, що нагрівання супроводжується притисканням виводів компонента до монтажного елемента (до контактної площадки) на платі. Тиск інструменту знімається тільки після охолодження паяного вузла до затвердіння припою. Таким чином, виводи компонента примусово фіксуються при паянні, незалежно від їх вихідного положення над платою. Такі види паяння добре управляються формуванням імпульсу струму навантаження. Недоліки:

- неможливість паяння різнорідних компонентів з одним налаштованим режимом;
- забруднення електродів флюсом і оксидами припоїв спотворюють режими паяння.

Локальне *променеве паяння* ґрунтується на нагріванні за допомогою некогерентного ІЧ-потoku при використанні як джерела ксенонової газорозрядної лампи високого тиску (у фокусі досягається температура 1000...1500 °С). Найбільший інтерес становить таке конструктивне рішення оптичної фокусувальної системи, при якому малий діаметр локальної області в площині поєднується з видовженістю уздовж оптичної осі. Однією з головних переваг світлопроменевого локального паяння є можливість точного дозування світлової ІЧ-енергії по тривалості впливу за допомогою стандартних фотозатворів. Паяння світлопроменевим способом потребує спеціального обладнання, але значно менш складного і громіздкого, ніж лазер і установки електронно-променевого зварювання. Для електронно-променевого способу необхідний вакуум, що істотно подовжує і ускладнює процес.

Променеве паяння сьогодні починає поступатися *лазерному*. Світлова пляма, сформована лазерним променем, набагато менша за світлову. Монохромне випромінювання лазера дозволяє використовувати спектральну вибірковість поглинання енергії. При правильному підборі лазера з короткохвильовим випромінюванням (наприклад, ексимерні лазери) можна сканувати монтажні поля на платі, не модулюючи (не вимикаючи) промінь. Промінь, проходячи по діелектрику, не нагріває його (не поглинається діелектриком), але інтенсивно поглинається металом і плавить припій на виводах компонентів. Лазерне паяння може бути поєднане з системою контролю якості паяних з'єднань. Система лазерного ІЧ-контролю може використовуватися і самостійно для тестування паяних з'єднань, отриманих іншими методами. У разі самостійного використання система лазерного ІЧ-контролю подає на паяння, яке тестується, керований імпульс лазерного випромінювання для незначного нагрівання поверхні з'єднання. Окремий ІЧ-детектор спостерігає за зростанням і спадом температури тестованої поверхні паяння. Динаміка зростання і спаду температури стає "характеристикою" з'єднання. Система порівнює характеристику тестованого з'єднання зі стандартною і повідомляє ступінь її відхилення від норми. Швидкість тестування становить 10 паяних з'єднань за секунду з часом взаємодії 30 мс.

3.3 Монтаж на перфорованій друкованій платі

У випадку навісного монтажу використовується перфорована плата, у якій немає з'єднань між отворами. Можливий випадок, коли перфорована плата не має мідних контактів взагалі (рис. 3.3, а) або коли на платі наявні невеликі мідні кружечки навколо кожного отвору (рис. 3.3, б).

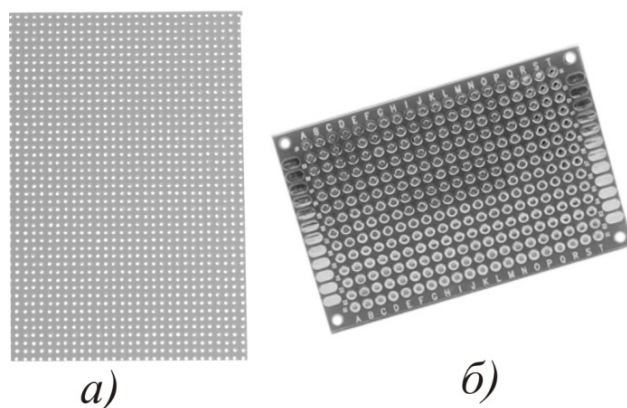


Рисунок 3.3 – Перфорована макетна монтажна плата
а) без мідних контактів; б) з мідними контактами

Такі друковані контакти не з'єднані один з одним, а використовуються тільки для прикріплення встановлюваних компонентів схеми, яка паяється.

Навісний монтаж дає можливість розташувати компоненти у зручній формі, яка буде схожа на розташування компонентів на електричній схемі. На іншій стороні плати необхідно зігнути виводи компонентів для їх з'єднання між собою, додаючи за необхідності з'єднувальні провідники необхідної довжини. Перевагою такого монтажу є те, що він може бути виконаний досить компактно, а недолік полягає в тому, що компоновка може бути досить складною, що призведе до помилок.

Друкована плата – це пластинка з гетинаксу або склотекстоліту, на якій нанесено рисунок з мідної фольги з отворами для виводів радіоелементів. Радіодеталі просто вставляються в отвори і припаюються до рисунка з фольги.

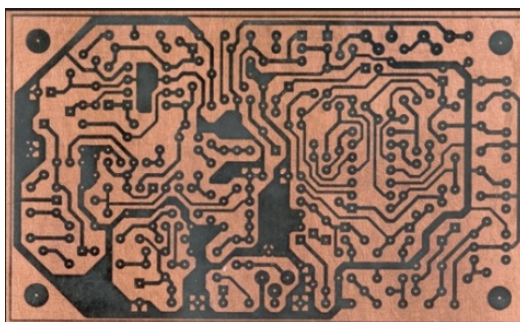


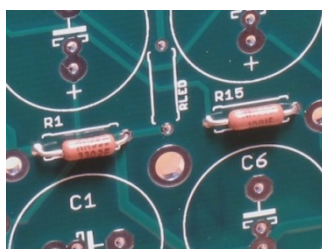
Рисунок 3.4 – Друкована плата

Складання електронного модуля з установленням компонентів з виводами в отвори друкованої плати і подальшим паянням називають **вивідним монтажем** (рис. 3.4). Такий тип монтажу – попередник сучасних технологій виробництва електронних модулів. Вивідний монтаж з'явився одночасно з друкованими платами. Поява складання із застосуванням друкованих плат в подальшому дозволила автоматизувати проектування і виробництво

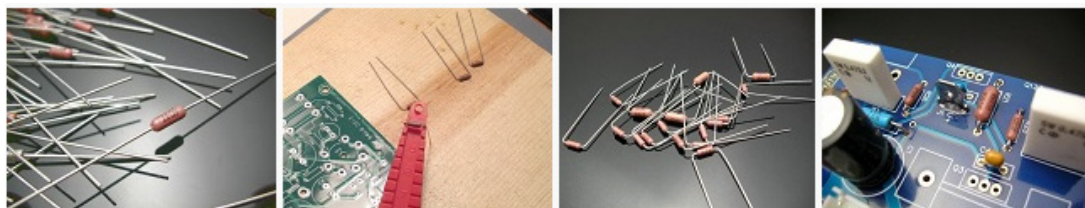
електроніки. На сьогодні вивідний монтаж (рис. 3.5, а) відходить на другий план, відступаючи перед монтажем планарних компонентів, але залишаються категорії електронних приладів, де вивідний монтаж домінує над іншими технологіями. Це силова електроніка, джерела живлення, високівольтні модулі та інші.

Для вирівнювання гнучких виводів компонентів потрібною є *підготовка компонентів до монтажу*. Формування проводиться таким чином, що відстань між кінцями виводів компонента відповідає його місцю установлення на платі і забезпечувала необхідну відстань між платою і компонентом.

Форма виводів компонентів залежить від варіанта установлення (рисунок 3.5, б).



а)



б)

Рисунок 3.5 – Ділянка модуля, змонтованого за технологією вивідного монтажу (а); формування і встановлення виводів компонентів на плату (б)

Формування гнучких виводів не повинно їх пошкоджувати, порушувати покриття виводів, вигин неприпустимий у точці сполуки виведення з корпусом і проводиться тільки на відстані, не меншій допустимої. Спосіб формування повинен виключати поворот виводу відносно корпусу компонента. Повинна бути забезпечена цілісність скляних ізоляторів між виводом і металевим корпусом компонента.

Прості обмеження двох розмірів R і L описують допустиму форму вигину виводів компонента, що відбувається при формуванні (рис. 3.6). Радіус R вигину виводів залежить від діаметра виводу і становить мінімум два діаметри виводу. Найменший зазор між точкою входу виводу в корпус компонента до вертикальної осі відформованого виводу L знаходиться в діапазоні 1 ... 4 мм і залежить від типу корпусу компонента. Після формування на виводах не повинні з'являтися деформації і стоншення. Дотри-

мання наведених простих правил сприяє збереженню компонентів і надійності роботи електронних модулів.

Довжина виводу від корпусу компонента до області паяння повинна перевищувати 2,5 мм, забороняється формувати жорсткі виводи потужних транзисторів, діодів середньої та великої потужності.

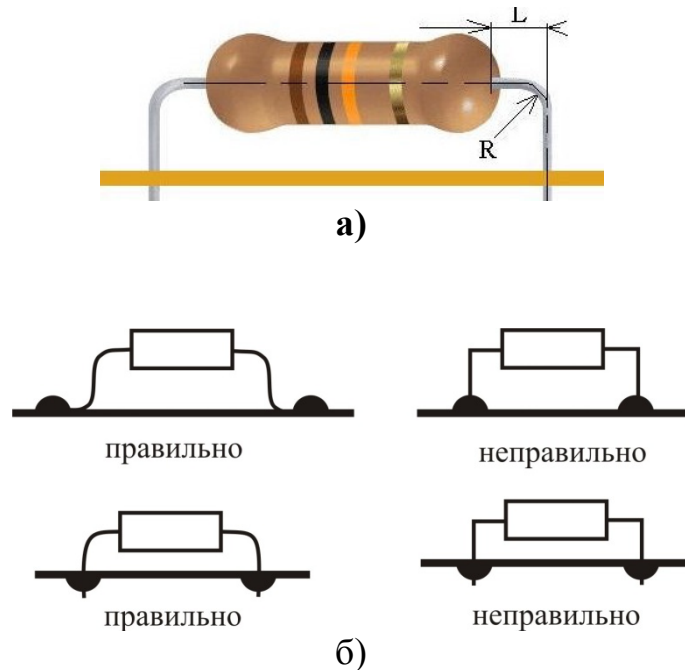


Рисунок 3.6 – Розміри формованого виводу компонента в корпусі з осьовими виводами (а); приклади правильного і неправильного формування виводів резистора для монтажу на платі з фольгованого матеріалу (б)

Операцію формування проводять на ручних пристроях і напівавтоматичних установках. Формувальні напівавтомати можуть виконувати рихтування, зачистку і підрізування виводів.

Компоненти надходять у формувальний автомат із спеціальних стрічок, трубчастих касет або розсипом. Необхідні розміри виводів регулюються формувальними автоматами, укомплектованими різними формувальними матрицями. Конструкція формувальних матриць забезпечує правильне формування. Для формувального обладнання є автоматичні лічильники компонентів, що подаються із стрічки. Продуктивність автоматичних лічильників до 360 000 штук на годину.

Існують три варіанти установаження вивідних компонентів на друковану плату.

Варіант 1 – відсутність зазору між корпусом компонентом і платою. Такий варіант добре підходить для установаження компонентів на односторонню плату. Провідний рисунок розташований на протилежному боці від компонентів, що виключає контакт корпусу компонента і провідного рисунок. Скорочення довжини виводів компонентів знижує сприйнятливність до

електромагнітних перешкод і знижує випромінювання власних перешкод в ефір. Компоненти добре витримують вібрацію. Висота модуля знижується. Поліпшується охолодження компонента завдяки передачі тепла платі, що підвищує надійність. Недоліком цього варіанта установлення є складність відмивання модуля від флюсу, забезпечення ізоляції компонента від провідного рисунка в випадку двосторонньої плати.

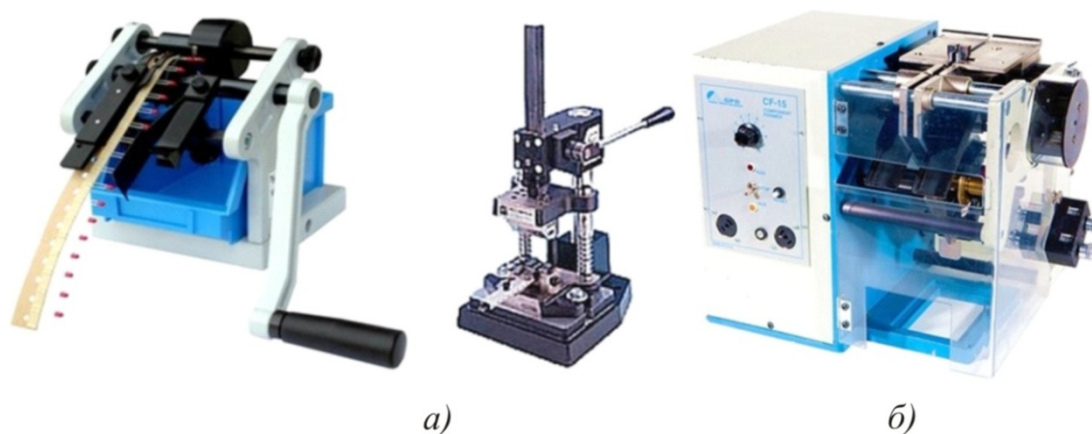


Рисунок 3.7 – Ручне формувальне обладнання (а) та формувальний автомат (б) для виводів радіоелементів

Варіант II – між платою і корпусом компонента наявний зазор. Застосовується для двосторонніх плат. Даний спосіб установлення сприяє видаленню надлишків флюсу відмиванням, знижується нагрів мікросхем при паянні. Можливе пошкодження контактної площадки на односторонній платі при навантаженні на компонент зверху.

Варіант III – вертикальне установлення. Компоненти з осьовими виводами розташовуються щільніше. Такий варіант знижує технологічність, підвищується ймовірність замикання між виводами, зростає висота модуля. При вертикальному установленні компонентів кут нахилу компонента відносно вертикальної осі не повинен перевищувати 15° .

Установлення компонентів повинно полегшувати читання маркування. Особливо важливо передбачити читання маркування полярності. Максимальне полегшення читання маркування полегшує контроль монтажу. Складання електронних модулів із застосуванням вивідних компонентів може здійснюватися вручну або за допомогою спеціального автоматичного обладнання.

Ручний вивідний монтаж модулів доцільно використовувати в таких випадках: застосування автоматичного обладнання не вигідно через малий обсяг монтажу, а також при остаточному монтажі вивідних елементів після автоматичного монтажу.

До переваг автоматичного монтажу плат належать надійність, зниження собівартості, висока точність, швидкість, монтаж мініатюрних елементів, автоматичний контроль.

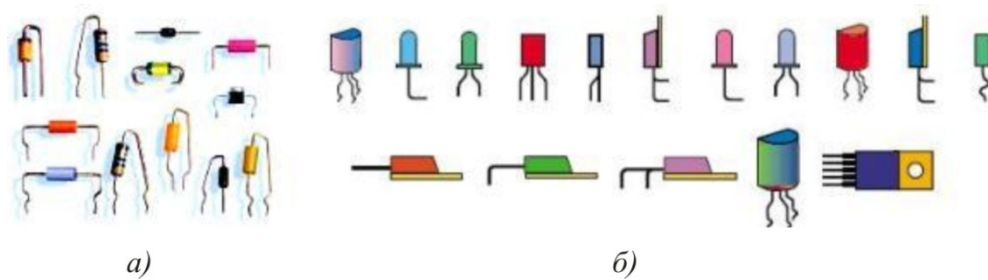


Рисунок 3.8 – Приклади формування виводів електронних компонентів з осьовими (а) та радіальними (б) виводами

Автомати дозволяють виробляти переналадження виробничих ліній завдяки програмуванню. Якість автоматичного монтажу, а так само його вартість, при застосуванні автоматизованих пристроїв багато в чому забезпечується на етапі проектування. Сучасні технології дозволяють розташовувати компоненти з мінімальною відстанню один від одного, до часток міліметра, але це не завжди виправдано. Маленькі відстані ускладнюють ремонт, а так само контроль компонентів і паяних з'єднань. Установлення компонентів здійснюється із застосуванням спеціальних монтажних автоматів, які здійснюють ще і підрізування, підгинання із зворотного боку плати.

3.4 Види автоматизованого монтажу

Розрізняють *селективне* нагрівання монтажних точок та *групове*.

Групові методи нагрівання при паянні допускають загальне нагрівання всього електронного вузла до температур паяння або одностороннє нагрівання поверхні, на якій розплавляють припій для утворення паяних галтелей: *паяння хвилею припою, ІЧ-нагрівання, вентиляційне нагрівання в печі в середовищі інертного газу, конденсаційне нагрівання підготовленого вузла в парах киплячої рідини, занурення в гарячу рідину*.

При селективному паянні нагрівання ведеться від точки до точки, так що всі монтажні вироби і монтовані елементи при цьому залишаються холодними. До селективного паяння відносяться *паяння нагрітим інструментом: паяльником, нагрітим електродом, ІЧ-, світловим або лазерним променями*.

Технологія *паяння хвилею* використовується для паяння вивідних компонентів, розташованих на одній стороні плати. Технологія має унікальну продуктивність для автоматизованого монтажу електронних компонентів.

При цьому над платою виконується ряд операцій: нанесення флюсу, попереднє прогрівання, відмивання від надлишків флюсу і висушування. Плата контактує з хвилею припою короткий час, що знижує вплив високої температури.

Завдяки швидкій передачі тепла паяння хвилею досить ефективно при монтажі компонентів, встановлених в металізовані отвори. Мінуси технології: значна маса припою постійно знаходиться в ванні 100...500 кг, значні розміри обладнання близько декількох метрів, велике окислення припою.

Застосування технології паяння хвилею висуває певні вимоги до розроблення плати. Правильне трасування провідного рисунка зменшує ймовірність появи дефектів паяння. Плату доводиться захищати від хвилі припою. Для цього на неї наноситься шар водорозчинної плівки. Для перенесення флюсу на нижню поверхню плати його збивають в піну або використовують розпилення. Паяння розплавленим припоєм забезпечує постійно присутня стаціонарна хвиля. Плати з встановленими елементами рухаються поперек хвилі. Найкращих результатів дозволяє досягти настроювання нахилу конвеєра і параметрів хвилі. Кут нахилу конвеєра знаходиться в діапазоні 5 ... 9°. Швидкість переміщення плат вибирається, орієнтуючись на конструкцію складаного модуля, часу паяння застосованих компонентів, темпу роботи виробництва, температури попереднього нагрівання. Рух складених модулів відбувається зі швидкістю близько одного метра за хвилину. Решта надлишків припою здуваються вузьким струменем гарячого повітря. Очищення від зайвого припою повітрям отримало назву *повітряний ніж*.

Хвилю припою створюють механічними і електромагнітними нагнітачами, подачею газу, ультразвуковими коливаннями.

Коли з'явилися друковані плати, із зворотного боку яких встановлювалися поверхневі компоненти, їх паяння виконувалось хвилею припою. При цьому виникло безліч проблем, а саме: непропаяні ділянки і відсутність галтелей припою через ефект затінення іншими компонентами, що перегороджують доступ хвилі припою до відповідних контактних майданчиків, а також наявність порожнин із захопленими газоподібними продуктами розкладання флюсу, що заважають доступу припою. Виникла потреба змінити технологічний процес паяння хвилею, застосувавши 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. Однак турбулентна хвиля все ж утворює перемички припою, які руйнуються другою, більш пологою хвилею з малою швидкістю витікання. Друга хвиля усуває перемички припою, а також завершує формування галтелей. Для забезпечення ефективності паяння параметри кожної хвилі повинні бути регульованими, хвилі повинні мати окремі насоси, сопла і блоки управління.

Паяння подвійною хвилею припою застосовується в даний час для одного типу друкованих плат: з традиційними компонентами на лицьовій стороні і простими компонентами (чипами і транзисторами) на зворотній. Деякі компоненти (навіть пасивні) можуть бути пошкоджені при зануренні у припій під час паяння. Тому важливо враховувати їх термостійкість і

вживати заходи безпеки: застосовувати поверхнево монтвані мікросхеми, нечутливі до теплового впливу; знизити швидкість транспортера; проектувати друковану плату таким чином, щоб виключити ефект затінення. Рознесені, не загороджуючі один одного компоненти сприяють потраплянню припою на кожну необхідну ділянку плати, але при цьому знижується щільність монтажу. При високій щільності монтажу за допомогою даного методу практично неможливо пропаяти поверхнево монтвані компоненти з чотиристороннім розведенням виводів.

Паяння в парогазовому середовищі (конденсаційне паяння) з розплавленням дозованого припою застосовується тільки для збірок з поверхневим монтажем. Суть процесу: спеціальна рідина нагрівається до кипіння, потім її пари конденсуються на друковану плату, віддаючи приховану теплоту пароутворення відкритим ділянкам збірки. При цьому припійна паста розплавляється і утворюються паяні з'єднання між виводом компонента і контактним майданчиком плати. Коли температура плати досягає температури рідини, процес конденсації припиняється, тим самим закінчується і нагрівання пасту. Підвищення температури плати від її початкової температури до температури розплавлення припою здійснюється дуже швидко і не піддається регулюванню. Тому необхідно попереднє підігрівання плати з компонентами для зменшення термічних напружень в компонентах і місцях їх контактів з платою. Температура розплавлення припою також не регулюється і дорівнює температурі кипіння використовуваної при паянні рідини. Такою рідиною є інертний фторвуглець.

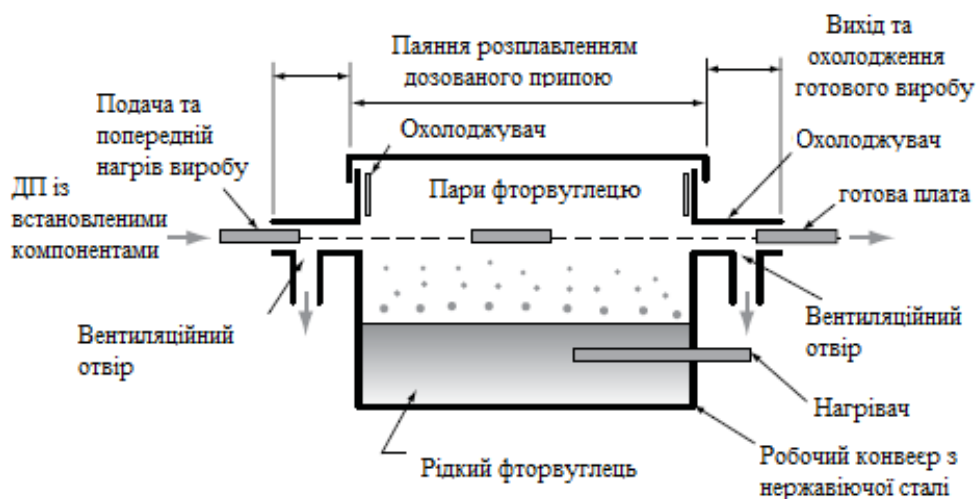


Рисунок 3.9 – Схема конденсаційного нагрівання

У перших установках для паяння в парогазовому середовищі застосовувалися дві робочі рідини. З метою запобігання витоків парів дорогого фторвуглецю і припою зверху основного технологічного середовища з інертного фторвуглецю створювалося додаткове технологічне середовище з більш дешевого фреону. Основний недолік цих установок полягав у тому, що на межі двох технологічних середовищ відбувалося утворення різних

кислот і для захисту друкованих плат необхідні системи їх нейтралізації. Потім стали випускатися установки для паяння в парогазовому середовищі конвеєрного типу, що вбудовуються в технологічні складально-монтажні лінії. Такі установки мають відносно невеликі вхідний і вихідний отвори, що дозволяють реалізувати систему з одним технологічним середовищем (див. рис. 3.9).

Паяння інфрачервоним нагріванням (ІЧ-паяння) аналогічне паянню в парогазовому середовищі, за винятком того, що нагрівання плати з компонентами проводиться не парами рідини, а ІЧ-випромінюванням. Основним механізмом передачі тепла, використовуваним в установках паяння з ІЧ-нагрівом, є випромінювання. На відміну від конденсаційного паяння, в процесі паяння з ІЧ-випромінюванням швидкість нагріву регулюється зміною потужності кожного випромінювача і швидкості руху транспортера з друкованими платами. Тому термічні напруження в компонентах і платах можуть бути знижені за допомогою поступового нагрівання збірок. Інфрачервоні печі застосовуються при виготовленні нескладних плат. Обумовлено це тим, що інфрачервоний тип нагріву має ряд негативних ефектів.

Недоліки ІЧ-паяння:

- поглинання енергії випромінювання компонентами і платою залежить від поглинальної здатності матеріалів, з яких вони виготовлені, тому нагрівання елементів є нерівномірним в межах виробу, який монтується, через їх відмінні спектральні чутливості;
- не всі виробники компонентів допускають нагрівання компонентів до температур паяння, однак частка таких виробників постійно зменшується, оскільки використання їх компонентів збільшує трудомісткість складально-монтажних робіт; при переході до безсвинцевих технологій потрібно заново вирішувати цю проблему;
- не всі поверхнево-монтажні компоненти піддаються ІЧ-паянню, наприклад, компоненти з *J*-виводами недоступні для ІЧ-нагрівання;
- ІЧ-паяння придатне тільки для поверхневого монтажу; компонент із виводами для паяння в отвори доводиться монтувати окремо;
- нерівномірне спектральне поглинання ІЧ-енергії різними поверхнями і, як наслідок, нерівномірне нагрівання.

У деяких установках для паяння з ІЧ-нагріванням замість ламп ІЧ-випромінювання використовуються панельні випромінювальні системи. Випромінювання такої системи не нагріває безпосередньо компоненти на збірці, а поглинається технологічним середовищем (повітря або газ), яке, в свою чергу, передає тепло на друковану плату за рахунок конвекції. Такий спосіб паяння усуває ряд недоліків, властивих паянню з ІЧ-нагріванням, таких як нерівномірне прогрівання окремих частин збірки і неможливість паяння компонентів у корпусах, непрозорих для ІЧ-випромінювання. Панельні випромінювачі забезпечують набагато меншу швидкість нагрівання, ніж традиційні джерела ІЧ-випромінювання.

У печах **конвекційного паяння** або оплавлення як нагрівачі використовуються потужні калорифери, але можуть використовувати й ІЧ-випромінювачі. Тепло в таких печах переноситься переважно за рахунок примусового руху газового середовища вбудованими вентиляційними системами. Потоки гарячого газу (частіше азоту, або повітря) більш рівномірно прогривають вироби, знімають температурні перепади і, що найголовніше, дозволяють більш ефективно управляти температурним профілем у печі.

У печах температурний профіль розподіляється в просторі печі від однієї зони до іншої, і вироби послідовно проходять цю низку зон, нагріваючись до відповідних температур. Такі печі займають великі виробничі площі, споживають значну енергію для нагрівання робочого середовища. Тому в прототипному виробництві використовують камерні печі, в які завантажуються вироби, і температурний профіль у них встановлюється керуванням в часі нагріванням і охолодженням. У конвекційній печі плата по чергово проходить як мінімум чотири температурні зони:

- *зона попереднього нагрівання* 25 ... 150 °С – видалення летких компонентів з флюсу, плавне нагрівання плати і компонентів;
- *зона прогрівання* 150 ... 180 °С – початок активізації флюсу, змочування виводів компонентів і контактних майданчиків плати та видалення оксидів; температура плати і компонентів досягає температури плавлення припою;
- *зона розплавлення припою-паяння* 200 ... 210 °С – оплавлення паяльної пасти; активований флюс знижує поверхневий натяг паяльної пасти і підвищує змочуваність паяних поверхонь;
- *зона охолодження* 30 ... 50 °С – плавне зниження температури для рівномірного охолодження компонентів та плати.

До недоліків конвекційних печей можна віднести великий цикл встановлення стійких температурних профілів. При перервах у роботі (однозмінний або двозмінний режим) доводиться рахуватися з необхідністю очікування виходу печі на режим і технологічного тестування якості паяння до першого запуску виробів на паяння. Тому досить часто зустрічається комбінація конвекційного та ІЧ-нагрівання.

Селективне паяння з'явилося в дев'яностих роках. Селективне паяння – відносно нова технологія, що дозволяє робити вибірковий монтаж тільки вивідних компонентів. Метод потребує мінімуму доопрацювань для оптимізації друкованих плат під дану технологію і дозволяє монтувати більшість існуючих типів вивідних компонентів. Продуктивність монтажу в кілька разів вища порівняно з ручним монтажем.

Відмінністю селективного паяння від паяння хвилею є нагрівання плати тільки в області паяння як при паянні паяльником.

Порівняно з паянням хвилею селективне паяння економічно більш вигідне та не призводить до зайвого нагрівання плати і дозволяє застосовува-

ти більше типів компонентів, знижується ймовірність появи дефектів, зменшується підготовка до монтажу, виключається захисна маска, зменшується знос обладнання відмивання плат. Впровадження селективного паяння дозволяє скоротити кількість операцій з платами, зменшити час монтажу, зменшити обсяг ручної роботи. Можливим є паяння різними припоями.

Селективне паяння проводиться в кілька етапів. Спочатку наноситься флюс. Потім відбувається підігрів флюсу для підсушування, активації і запобігання термоудару при паянні. Останній етап – нанесення припою. Весь процес автоматизований і відбувається в спеціальній установці. Плата автоматично переміщається, проходячи всі етапи селективного паяння, починаючи з нанесення флюсу.

Технології селективного паяння можна розділити на два основних типи залежно від застосовуваної головки з припоєм. До одного типу технології можна віднести використання сопла з припоєм, над яким переміщається плата і відбувається паяння усіх точок по черзі. До другого типу можна віднести використання оснастки, що утворює мініхвилі на декількох соплах одночасно, розташованих в областях паяння. Перший тип технології більш підходить для виробництва малих партій електронних модулів, другий – для великих партій. Паяння може здійснюватися в середовищі азоту.



Рисунок 3.10 – Селективне паяння за допомогою сопла

Нанесення флюсу виконується трьома найбільш поширеними методами.

Флюсів вузол аналогічний головці струменевого принтера і дозволяє *наносити флюс малими порціями тільки в області паяння*. Електромагнітний насос без механічних деталей подає флюс в форсунку.

Мікрокрапельна форсунка виключає потрапляння флюсу на ділянки плати, розташовані навколо області паяння. Точність нанесення флюсу дозволяє виключити операцію відмивання.

Флюсування розпиленням наносить флюс на всю плату. Кількість флюсунок, що наносять флюс, варіюється для кожного електронного модуля, що виготовляється.

Флюсування зануренням відбувається за допомогою ванни і адаптера з висувними насадками. Адаптер виготовляється для кожного виробленого модуля індивідуально. Всі області паяння покриваються флюсом одночасно. Нанесення флюсу зануренням є актуальним при виготовленні великої партії. Адаптер з насадками змінюється при переході на іншу плату. Застосування насадок забезпечує гарне нанесення флюсу точно на область паяння. Флюс добре наноситься навіть на важкодоступні точки паяння.

Нагрівання плати виконується різними нагрівальними вузлами. Інфрачервоне нагрівання виконується за допомогою нагрівачів, які мають діапазон випромінювання від середніх до коротких хвиль. Потужність кожного нагрівача вимірюється в кіловатах. Нагрівання може бути задане відповідно до конструкції друкованого вузла. Також використовується нагрівання кварцовими випромінювачами і пристроями спрямованої конвекції. При використанні таких випромінювачів число задіяних джерел тепла визначається шириною плати.

Паяння може виконуватися *одним соплом* або *множинною мініхвилею*.

Технологія одного сопла передбачає переміщення плати з високою точністю і позиціонування над соплом головки з припоєм. Є можливість контролювати параметри кожного окремого паяного з'єднання: висота насадки, хвилі, час знаходження у хвилі припою та ін. На паяння відповідно до програми витрачається строго задана кількість припою.

Різні сопла внутрішнім діаметром 1,5 ... 20 мм дозволяють зробити процес паяння адаптованим до виробництва більшості можливих електронних модулів. Якщо паяння проводиться в середовищі азоту, то азот подається безпосередньо в зону паяння.

Паяння множинною мініхвилею забезпечує підвищену продуктивність. Множинна мініхвиля пропадає всі необхідні точки паяння одночасно, і при цьому якісно обробляються навіть важкодоступні місця. При паянні множинною мініхвилею паяні поверхні добре змочуються, а утворення перемичок є мінімальним.

Селективне паяння унікальне тим, що нанесення флюсу відбувається точково і дозовано, флюс вигорає в процесі паяння і відмивати його залишки не потрібно. Це дозволяє економити на технологічному процесі відмивання плат. Таким чином виключається необхідність витрат на обладнання для відмивання.



Рисунок 3.11 – Сопло для селективного паяння мініхвилею

Розвиваються системи селективного паяння лазером і гарячим газом.

Контрольні запитання

1. Які способи використовуються для зняття ізоляції з кінців провідників?
2. Перерахуйте основні заходи для запобігання впливу високої температури при установленні напівпровідникових приладів.
3. Які рекомендовані відстані від корпусу радіодеталі до місць вигину та паяння ?
4. Які методи використовують для локального нагрівання при паянні?
5. Перерахуйте етапи технологічного процесу лудіння.
6. Яких заходів необхідно дотримуватись щоб уникнути виходу з ладу напівпровідникових приладів через перегрівання під час паяння ?
7. Що являє собою технологія вивідного монтажу ?
8. Що використовують для формування виводів компонентів при вивідному монтажі ?
9. Перерахуйте варіанти установлення вивідних компонентів на друковану плату.
10. Опишіть суть процесу паяння в парогазовому середовищі.
11. Як переваги та недоліки паяння ІЧ-нагріванням ?
12. Опишіть методи нанесення флюсу на плату.
13. Перерахуйте переваги селективного паяння.

4 ТЕХНОЛОГІЯ ПОВЕРХНЕВОГО МОНТАЖУ

Розвиток електроніки супроводжується зменшенням розмірів електронних компонентів. На сучасному етапі розвитку електроніки з появою компонентів, що мають велику кількість виводів, стало зрозуміло, що колишні методи розробки і складання не можуть задовольняти сьгоднішні

вимоги виробництва електроніки. Це привело до появи планарних компонентів і поверхневого монтажу, що дозволило значно автоматизувати складальні процеси, досягти високої щільності монтажу, знизити об'єм, вагу та розміри. Складання із застосуванням тільки планарних компонентів, що встановлюються на провідний рисунок плати, називають **поверхневим монтажем** або **SMT-монтажем** (SMT – Surface Mount Technology).

Технологія поверхневого монтажу порівняно з технологією *монтажу в отвори* (*through-hole technology*) має ряд переваг як в конструкторському, так і технологічному аспекті:

зменшення габаритів і маси друкованих вузлів; компоненти для поверхневого монтажу або *SMD компоненти* (*Surface Mount Devices*) мають значно менші розміри порівняно з елементною базою для монтажу в отвори; як відомо, більшу частину маси і габаритів мікросхеми становить не кристал, а корпус і виводи; розміри корпусу визначаються, в основному, розташуванням виводів (можуть існувати й інші чинники, наприклад, вимоги щодо тепловідведення, але вони значно рідше є визначальними); поверхневий монтаж дозволяє застосовувати компоненти з істотно меншим кроком виводів завдяки відсутності отворів у друкованій платі; поперечні перерізи виводів можуть бути також меншими, оскільки виводи формуються на підприємстві-виробнику компонентів і не піддаються істотним механічним впливам від розпакування до встановлення на плату, крім того, дана технологія дозволяє застосовувати корпуси компонентів з контактними поверхнями, які заміняють виводи; сучасна технологія поверхневого монтажу дозволяє встановлювати компоненти з обох сторін друкованої плати, що дозволяє зменшити площу плати і, як наслідок, габарити друкованого вузла;

покращення електричних характеристик: за рахунок зменшення довжини виводів і більш щільного компонування значно покращується якість передавання слабких і високочастотних сигналів;

підвищення технологічності дозволило поверхневому монтажу одержати значне поширення; відсутність необхідності підготовки виводів перед монтажем і встановлення їх в отвори, фіксація компонентів паяльною пастою або клеєм, самовирівнювання компонентів при паянні – все це дозволяє застосовувати автоматичне технологічне обладнання з продуктивністю, недосяжною при відповідній вартості і складності технічних рішень при монтажі в отвори; застосування технології оплавлення паяльної пасти значно знижує трудомісткість операції паяння порівняно з ручним або селективним паянням, і дозволяє економити матеріали порівняно з паянням хвилею;

підвищення ремонтпридатності: сучасне ремонтне обладнання дозволяє знімати і встановлювати компоненти без пошкоджень навіть при великій кількості виводів; при монтажі в отвори дана операція є більш складною через необхідність рівномірного прогріву досить теплоємних паяних з'єднань; при поверхневому монтажі теплоємність з'єднань менша,

а нагрівання може здійснюватися по поверхні гарячим повітрям або азотом; проте, деякі сучасні компоненти для поверхневого монтажу є настільки складними, що їх заміна потребує спеціального обладнання;

зниження собівартості при серійному виробництві досягається за рахунок зменшення площі друкованих плат, меншої кількості матеріалів, використовуваних в компонентах, автоматизованого складання.

4.1 Компоненти для поверхневого монтажу

Для технології поверхневого монтажу (ТПМ) придатні будь-які мініатюрні компоненти, які, крім основних вимог, задовольняють дві додаткові:

- витримують жорсткі технологічні впливи, обумовлені груповими методами паяння (в парогазовому середовищі, ІЧ-нагрівом, зануренням в розплавлений припій при паянні хвилею);
- придатні для автоматизованого монтажу.

Для ТПМ використовують **постійні резистори**, виконані як за товстоплівковою, так і за тонкоплівковою технологіями. Постійні резистори випускаються в двох конструктивних виконаннях: *циліндричні з металізованими виводами* (рис. 4.1) та *прямокутні чип-резистори* (рис. 4.2).

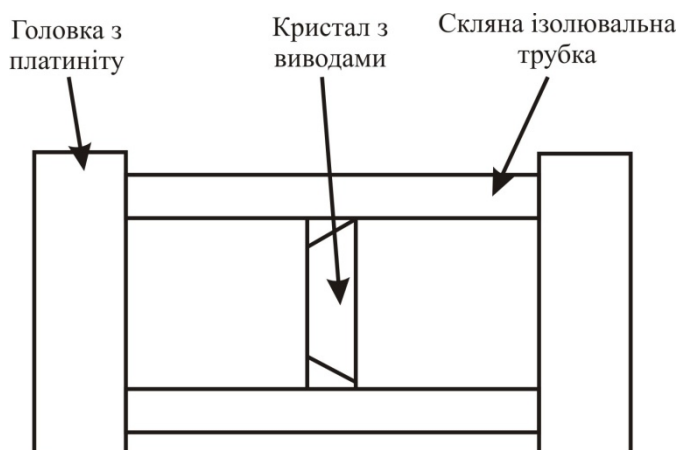


Рисунок 4.1 – Циліндричний резистор з металізованими виводами

Монтаж резисторів (рис. 4.1) проводиться паянням ковпачків безпосередньо до майданчиків друкованої плати. При автоматичному монтажі допускається паяння хвилею припою за безпосереднього занурення резистора в припій при температурі 250 °С на час не більше 4 с. У разі кріплення резистора клеєм для його полімеризації, допускається вплив ультрафіолетового опромінення питомою потужністю до 100 Вт/см протягом однієї хвилини. Можливе триразове паяння із загальним часом до 10 с, крім того, допускається використання при монтажі припійні пасти. Резистори поставляються розсипом або упакованими в пластмасову формовану стрічку, намотану на бобіну.

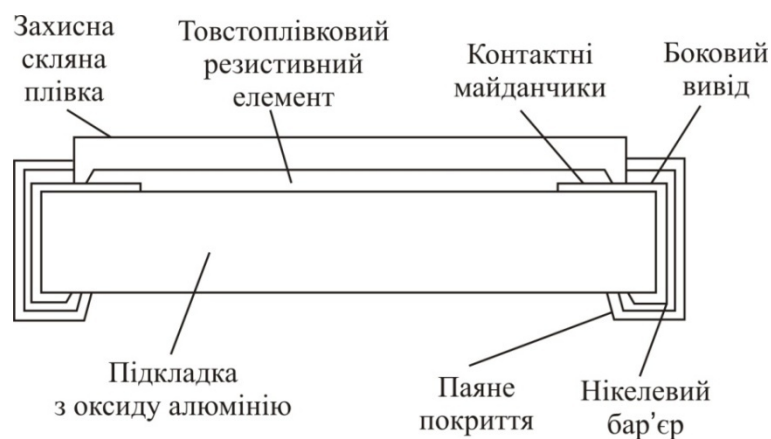


Рисунок 4.2 – Будова резистора поверхневого монтажу

Резистори другого типу отримали більш широке застосування внаслідок їх кращого пристосування до автоматизованого монтажу. Прямокутні чип-резистори є перспективними для монтажу на поверхню. До переваг резисторів даного типу слід віднести: розміри стандартизовані на міжнародному рівні; можливий автоматизований монтаж; паяння методами ТПМ; наявність захисту внутрішнього контактного шару від розчинення; упакування в стрічку.

У ТПМ використовуються, в основному, три види **конденсаторів постійної ємності**: багат шарові керамічні монолітні чип-конденсатори, танталові оксидно-напівпровідникові і алюмінієві оксидно-електролітичні конденсатори. Багат шарові керамічні монолітні чип-конденсатори являють собою кілька обкладинок, з'єднаних паралельно, що забезпечує високу питому ємність, мають високу температурну стабільність, вологостійкість, високу надійність. Діапазон ємностей від 1пФ до 1мкФ. Геометрія чип-конденсатора аналогічна конструкції чип-резистора.

Чип-конденсатори групують за питомою ємністю і термостабільністю:

- з високою температурною стабільністю і низькою ємністю на основі оксиду титану (TiO_2);
- з середньою температурною стабільністю та середньою ємністю на основі титанату барію ($BaTiO_3$);
- загального призначення, з найменшою температурною стабільністю і високою ємністю на основі сегнетокераміки.

У **чип-індуктивностях** використовується керамічний або феритовий стрижень з вертикальною або горизонтальною обмоткою з тонкого мідного дроту в емалевій ізоляції. Чип-індуктивність зазвичай герметизується епоксидною смолою. Також індуктивності для ПМТ виготовляються методом лазерного вирізання доріжок на мідній фользі.

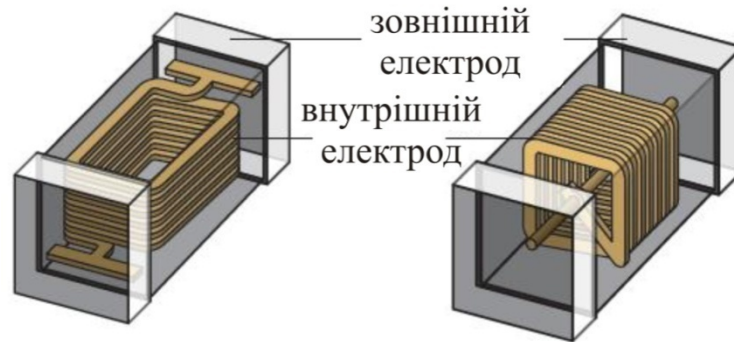


Рисунок 4.3 – Будова індуктивності для поверхневого монтажу

Індуктивності, виконані із застосуванням лазерного нарізування, характеризуються високим частотним резонансом і мають високу надійність. На відміну від багатошарових котушок, в них не виникає поляризація, а індуктивність не залежить від орієнтації при установленні, отже їх можна закуповувати розсипом, а не на стрічці.

Для поверхневого монтажу дискретні *напівпровідникові компоненти* випускаються в малогабаритних пластмасових корпусах типу SOT. Транзисторний мінікорпус SOT – Small Outline Transistor застосовується для дискретних напівпровідникових приладів. Існують стандартні корпуси, які можна використовувати для герметизації простих напівпровідникових приладів (тобто одиночних біполярних і польових транзисторів, діодів, стабілітронів та ін.). Це корпуси SOT-23 і SOT-89.

Вибір типу корпусу залежить від потужності, що розсіюється приладом і реального розміру напівпровідникового кристала. SOT-23 застосовується для корпусування кристалів, що мають площу до $19,35 \text{ мм}^2$, з розсіюваною потужністю 200 мВт при температурі $25 \text{ }^\circ\text{C}$ (у деяких паспортах виробів вказується до 350 мВт). Другий корпус, SOT-89, розрахований на кристали площею $38,70 \text{ мм}^2$, що розсіюють потужність до 500 мВт при $25 \text{ }^\circ\text{C}$ (у деяких паспортах вказується до 1 Вт). Обидва корпуси мають дуже просту конструкцію з трьома виводами: у SOT-23 виводи по черзі відходять від кожної зі сторін корпусу, в той час як у SOT-89 вони розташовані по одну і ту ж сторону корпусу, а центральний вивід має збільшений розмір для кращого відведення тепла.

Корпуси *інтегральних мікросхем* найбільш різноманітні. Найчастіше використовувані типи корпусів:

- малогабаритний корпус (SOIC);
- тонкий корпус із зменшеною відстанню між виводами (TSOP);
- пластиковий вивідний кристалотримач (PLCC);
- безвивідний керамічний кристалотримач (LCCC);
- квадратний плоский корпус з виводами з чотирьох сторін (QFP);
- корпус з матричним розташуванням кулькових виводів (BGA).

Форми паяних з'єднань мікросхем в різних корпусах можуть бути подані п'ятьма головними видами, як показано на рис. 4.4.

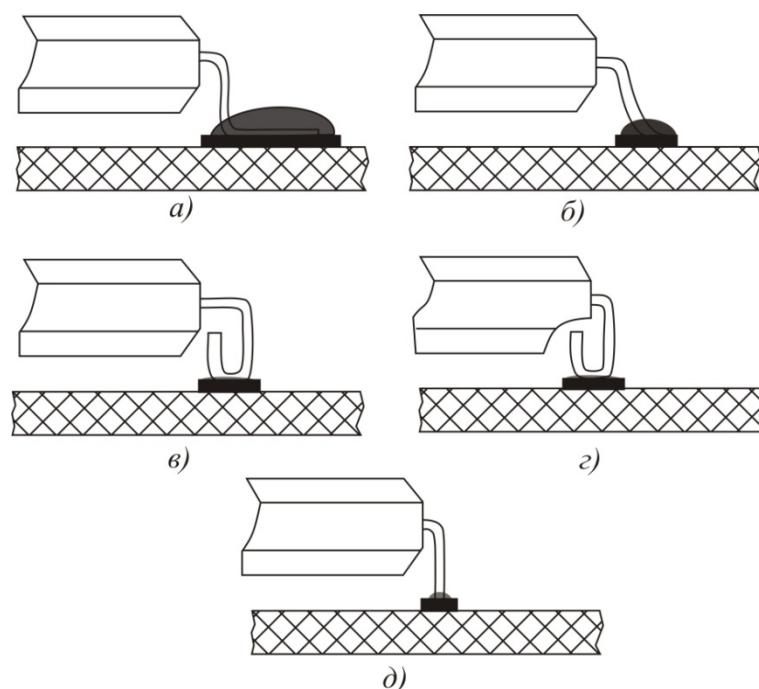


Рисунок 4.4 – Форми виводів корпусів ІС

а) "крило альбатроса"; б) "крило чайки" (*L*-подібний); в) *J*-подібний відкритий; г) *J*-подібний прихований; д) *I*-подібний (паяння встик)

Виводи, що нагадують формою крило чайки та альбатроса – найбільш поширена форма виводів (рис. 4.4, а, б), особливо у випадку застосування виробів з малим кроком виводів. Однак ці виводи схильні до пошкоджень при складанні. Корпуси з *J*-виводами (рис. 4.4, в) більш зручні у виробництві, однак вони використовуються не так широко через складність ремонту. *I*-виводи (рис. 4.4, д) більш прості у виготовленні, ніж виводи типу "крило чайки" і *J*-виводи. Вони не так поширені, як виводи типу "крило чайки", через підозри з приводу надійності паяних з'єднань "встик".

4.2 Особливості розташування компонентів при поверхневому монтажі

Існують три основні варіанти реалізації поверхневого монтажу:

- чисто поверхневий монтаж на платі (односторонній або двосторонній);
- змішано-рознесений варіант, коли традиційні (DIP) компоненти розташовують на лицьовій стороні, а прості чип-компоненти – на зворотній;
- змішаний монтаж, коли традиційні компоненти для поверхневого монтажу знаходяться на лицьовій або обох сторонах плати.

Особливості таких процесів полягають в тому, що корпуси компонентів для поверхневого монтажу не закріплюються на поверхні друкованої плати за допомогою виводів; корпуси компонентів для поверхневого монтажу приклеюються за допомогою клеїв або припійної пасти; паяння подвійною хвилею припою застосовується лише до простих чип-компонентів, які встановлюються на зворотному боці друкованої, і до термостійких компонентів; компоненти для поверхневого монтажу на лицьовій стороні припаюються із застосуванням паяння розплавленням дозованого припою в парогазовій фазі або в ІЧ-печі або з використанням лазерного нагрівання.

При змішаному монтажі необхідним є перевертання плати з компонентами і, як мінімум, дві установки для паяння. Вибір варіанта реалізації монтажу при проектуванні виробу з застосуванням поверхневого монтажу здійснюється не тільки з точки зору технологічних особливостей його виготовлення, а й залежно від поєднання традиційних і SMD-компонентів.



Рисунок 4.5 – Двосторонній поверхневий монтаж на платі

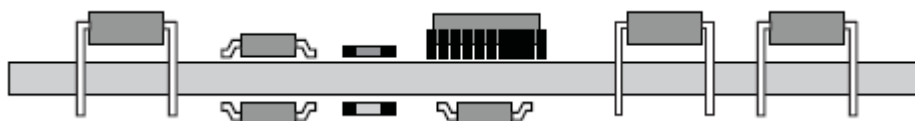


Рисунок 4.6 – Змішано-рознесений варіант компоновки

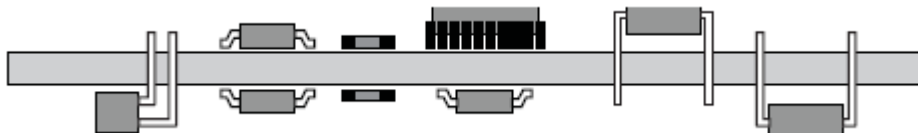


Рисунок 4.7 – Змішаний варіант монтажу

Деякі компоненти не піддаються мініатюризації до розмірів розглянутих вище поверхневих компонентів. Наприклад, немає електrolітичних конденсаторів з великою номінальною ємністю, розміри яких придатні для поверхневого монтажу. Те ж саме можна сказати про трансформатори, реле, індуктивності. Існують компоненти, які випускаються в недостатньому обсязі або несумісні з деякими технологічними процесами виготовлення виробу. Це більшою мірою притаманне конденсаторам, наприклад, керамічним і електrolітичним, які можуть пошкоджуватися при тривалому зануренні у розплавлений припій, що призводить до появи дефектів в паяних з'єднаннях. Компоненти в складних корпусах, у яких чотиристороннє роз-

ташування виводів, також мають обмеження на паяння хвилею припою через занадто великі ймовірності утворення перемичок припою.

Таким чином, використання проміжного змішаного монтажу компонентів в поверхневому монтажі, цілком ймовірно, буде існувати ще певний час, стримуючи мікромініатюризацію апаратури.

4.3 Послідовність операцій в технології поверхневого монтажу

У технології поверхневого монтажу, як правило, застосовуються два методи паяння: *паяння оплавленням припійної пасти* і *паяння хвилею*. Залежно від застосовуваного методу паяння послідовність операцій буде різною.

Основна перевага методу *паяння хвилею* – можливість одночасного паяння компонентів, що монтуються як на поверхню плати, так і в отвори. При цьому паяння хвилею є найпродуктивнішим методом паяння при монтажі в отвори.

У сучасних конструкціях частка монтажу в отвори постійно знижується, а розвиток більш економного та якісного селективного паяння дозволяє автоматизувати паяння компонентів, що вмонтовуються в отвори, без застосування хвилі. Такі фактори призводять до того, що виробники все частіше відмовляються від паяння хвилею, застосовуючи метод оплавлення для поверхнево-монтажних компонентів і ручне або селективне паяння для компонентів, що вмонтовуються в отвори.

Паяння хвилею, як і селективне паяння, застосовується при змішаній технології, коли на платі одночасно наявні компоненти, монтвані на поверхню і в отвори. Повністю позбавитися від монтажу в отвори в більшості сучасних пристроїв не вдається, однак, багато виробів вже складається із застосуванням тільки поверхневого монтажу.

Послідовність операцій при застосуванні технології поверхневого монтажу з використанням паяння оплавленням.

Компоненти для поверхневого монтажу не потребують спеціальної підготовки перед установленням.

Після розпакування та очищення плати, як правило, виконується така послідовність операцій.

1. **Нанесення паяльної пасти.** Паяльна паста наноситься на контактні площадки або за допомогою дозатора, або через трафарет. При виконанні даної операції необхідно отримати відбитки, що містять певний об'єм пасти. Недостача пасти може призводити до відсутності з'єднання, надлишок – до перемичок та недостатньої міцності з'єднання. Об'єм пасти залежить від конструкції конкретного компонента і розміру контактної площадки. Використання дозатора – більш гнучкий, але менш точний і продуктивний метод, зазвичай застосовується при дослідному виробництві. Трафаретний друк – найбільш поширений метод нанесення пасти в серійному виробниц-

тві. Паста наноситься шляхом продавлювання ракелем через апертури (отвори) в металевому трафареті.

2. **Установлення компонентів.** Установлення компонентів здійснюється, як правило, згідно з програмою на автоматах установки із стандартних упаковок, в яких компоненти постачаються заводом-виробником, але при одиничному і дрібносерійного виробництві може застосовуватися ручне установлення за допомогою вакуумного пінцета або маніпулятора, а також автоматизоване установлення на напівавтоматі (маніпуляторі з покажчиком місця установлення компонента за програмою).

3. **Паяння оплавленням.** Процес оплавлення припою, що міститься в паяльній пасті, виконується в печах шляхом нагрівання друкованої плати з компонентами. Нагрівання може здійснюватися різними способами: інфрачервоним (ІЧ), конвекційним нагріванням і нагріванням в паровій фазі.

Після операції паяння, залежно від типу застосовуваної пасту, плата може піддаватися відмиванню і сушінню.

Послідовність операцій при застосуванні паяння хвилею.

При застосуванні паяння хвилею після розпакування та очищення плати та підготовки компонентів зазвичай виконується такий набір операцій.

1. **Нанесення клею.** Нанесення клею виконується за допомогою ручного або автоматичного дозатора зі спеціальних шприців, в яких клей постачається. Клей наноситься в місцях розташування компонентів, що вмонтовуються на поверхню, таким чином, щоб забезпечити приклеювання компонента до плати, але не покрити клеєм контактні майданчики. Клей, як правило, наноситься по одній краплі на компонент або по дві краплі, що утворюють «сідло». Останній спосіб застосовується зазвичай для компонентів в циліндричних корпусах (наприклад, MELF) для запобігання скочування компонента. Установлення компонентів на клей необхідне для їх фіксації, в іншому випадку компоненти можуть бути змиті хвилею припою.

2. **Установлення компонентів, що монтуються на поверхню.** Установлення компонентів здійснюється аналогічно установці при застосуванні паяння оплавленням. Точність установлення компонента при використанні клею повинна бути досить високою, оскільки компоненти фіксуються клеєм, і характерного для паяння оплавлення самовирівнювання не відбувається. Зазвичай точність установлення визначається розмірами і розташуванням контактних майданчиків. Слід зауважити, що для компонентів з матричним розташуванням виводів (BGA, CSP, QFN) паяння хвилею не застосовується, оскільки їхні контактні поверхні розташовані під корпусом компонента, і в їхню зону доступ хвилі неможливий.

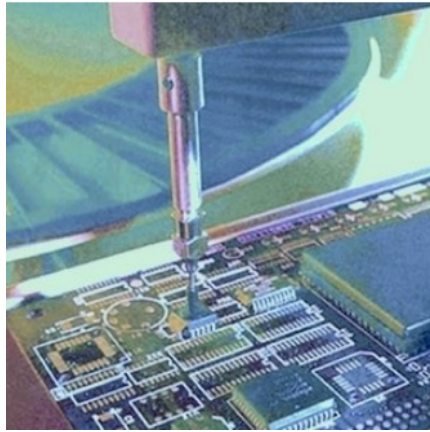


Рисунок 4.8 – Установлення мікросхеми за допомогою напівавтомата

При ручному установленні є неминучими помилки в номіналах компонентів. Неможливо забезпечити правильний і однаковий притиск компонентів до пасти. Для виключення помилок при складанні модулів застосовують різний ступінь автоматизації.

Напівавтомат установлення компонентів допомагає оператору скласти електронні модулі. Напівавтомат здійснює переміщення ємності з необхідним компонентом, променем світла вказує точку установлення компонента і полегшує складання іншими способами, але установлення компонента виконується оператором. Це зменшує ймовірність браку при установленні. За ціною напівавтоматичні установники відрізняються до шести разів. Їхня продуктивність знаходиться в діапазоні 300 ... 1000 компонентів на годину і залежить від досвіду оператора.



Рисунок 4.9 – Установлення компонентів повним автоматом

Повні автомати використовуються в стабільно працюючому виробництві при випуску великих партій модулів. Ціна повного автомата визначається конфігурацією і функціями: підтримувані види живильників, технічний зір, роздільна здатність установки, темп роботи, число головок та інші. Ціна повного автомата становить десятки тисяч доларів.

3. **Полімеризація клею.** Полімеризація клею завершує процес фіксації компонентів. Зазвичай полімеризація проводиться в сушильних шафах при

підвищеній температурі і необхідній вентиляції. Процес полімеризації визначається типом застосовуваного клею.

4. **Встановлення компонентів в отвори.** Дана група операцій повністю аналогічна встановленню компонентів при застосуванні технології монтажу в отвори. Компоненти повинні фіксуватися для забезпечення правильності їх положення в процесі паяння. При застосуванні змішаної технології з паянням хвилею компоненти, монтовані в отвори, встановлюються з боку, протилежного компонентам, вмонтовуваним на поверхню.

5. **Нанесення флюсу.** Флюс наноситься на поверхню плати зі сторони паяння, тобто з тієї сторони, на яку встановлені поверхнево монтовані компоненти.

6. **Паяння хвилею.** Паяння хвилею здійснюється аналогічно методу монтажу в отвори.

Існують й інші методи складання друкованих вузлів, оснований на технології поверхневого монтажу.

Комбінований монтаж може виконуватися в два етапи: спочатку проводиться монтаж поверхневих компонентів із застосуванням паяння оплавленням, потім встановлення і паяння компонентів, що вмонтовуються в отвори, вручну, хвилею або селективним паянням. Метод в даний час є найбільш поширеним для складання вузлів по комбінованій технології.

При складанні вузлів, що мають компоненти для монтажу на поверхню з обох сторін плати, спочатку виконується нанесення пасти і встановлення на клей компонентів з одного боку, потім паяння оплавленням, потім установка компонентів на пасту з іншого боку і знову паяння оплавленням. При цьому плата повинна перевертатися після першого паяння, що потребує встановлення в лінію спеціальних пристроїв перевертання. При другому паянні вже існуючі паяні з'єднання, як правило, розплавляються, тому компоненти з нижньої сторони плати бажано встановлювати на клей, проте в деяких випадках, коли застосовуються легкі компоненти, клей не наноситься, і компоненти утримуються силами поверхневого натягу припою.

4.4 Нанесення паяльної пасти при поверхневому монтажі

Нанесення пасти на контактні майданчики виконується *дозатором* при відпрацюванні макетного зразка плати, а при серійному виготовленні модулів використовується *трафарет*.

Використання дозатора – більш гнучкий, але менш точний і продуктивний метод, зазвичай застосовується при дослідному виробництві. Пасти для дозування постачаються в стандартних шприцах, сумісних з більшою частиною обладнання. На шприц встановлюються голки різного діаметра, що забезпечують нанесення певної кількості пасти. Також кількість пасти може регулюватися тиском і часом нанесення. При тривалому дозуванні паста нагрівається, що змінює її реологічні властивості і може призводити до погіршення якості друку.

Дозування може проводитися вручну або на автоматичному обладнанні. При цьому кількість нанесеної пасти визначається оператором або блоком управління. Деякі автомати установки компонентів початкового рівня мають можливість установки дозатора замість установочної головки.

Трафаретний друк – найбільш поширений метод нанесення пасти в серійному виробництві. Паста наноситься шляхом продавлювання ракелем через апертури (отвори) в металевому трафареті. Кількість пасти визначається розміром апертур і товщиною трафарету. Апертури, як правило, виконуються дещо меншими за розмірами, ніж контактні майданчики (приблизно на 5–10% з кожної сторони).



Рисунок 4.10 – Дозатор пасти, керований електронним блоком

У деяких випадках для отримання необхідної кількості пасти застосовуються ступінчасті трафарети із змінною товщиною. Трафарет зазвичай виконується з нержавіючої сталі (рис. 4.11) методом лазерного різання (рис. 4.12). Також застосовуються мідні трафарети, що одержуються травленням, проте їх застосування обмежене досить низькою роздільною здатністю.

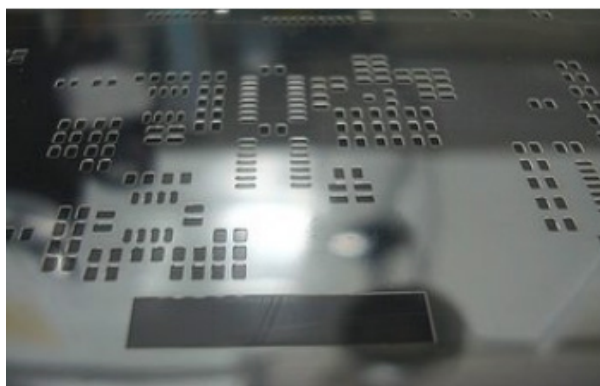


Рисунок 4.11 – Сталевий трафарет

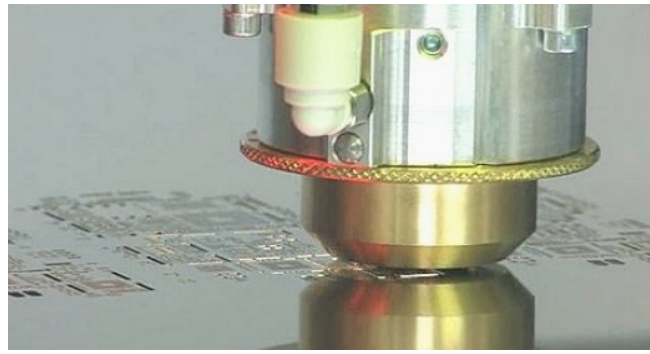


Рисунок 4.12 – Виготовлення трафарету за допомогою лазера

Трафаретний друк виконується на автоматах, напівавтоматах і вручну. Основними режимами, що впливають на якість друку, є швидкість, кут нахилу і зусилля ракеля. Швидкість ракеля зазвичай задається характеристиками пасти. Типове її значення становить близько 20–25 мм/с, проте сучасні пасти допускають друк зі швидкістю 150–200 мм/с. Типовий кут нахилу ракеля становить 60°. Ракель повинен рухатися таким чином, щоб паста утворила валик, що котиться.

4.5 Особливості паяння при поверхневому монтажі

Як згадувалося вище, двома головними технологіями паяння, що використовуються при поверхневому монтажі, є *паяння хвилею* і *паяння оплавленням*.

Паяння хвилею є різновидом паяння в проточному припої і довгий час застосовувалося в для монтажу в отвори. Як правило, плати із установленими в отвори компонентами піддавалися попередньому флюсуванню за допомогою пінного флюсувальника, а потім пропускалися через одинарну ламінарну хвилю припою. Однак цей процес непридатний для паяння поверхнево монтованих компонентів. Наявність компонентів на нижній стороні плати є перешкодою для ламінарного потоку припою і, отже, приводить до ефекту затінення, загальною ознакою якого є те, що виводи з заднього краю компонента мали недостатню кількість припою. Крім того, безпосередній контакт компонентів на нижній стороні плати з гарячою хвилею припою також призводить до потенційної можливості ушкоджень внаслідок термоудару. Для мінімізації ефекту затінення використовується подвійна хвиля, в якій турбулентна хвиля передує ламінарній.

Турбулентна хвиля забезпечує змочування всіх виводів, у той час як наступна ламінарна хвиля видаляє надлишки припою для того, щоб мінімізувати виникнення перемичок припою між виводами. Потенційна можливість термоудару знижується шляхом забезпечення значного попереднього нагрівання перед паянням хвилею.

Використання подвійної хвилі та належного попереднього нагрівання дозволяє паяти хвилею компоненти малих розмірів. Однак для великих ко-

рпусів компонентів і компонентів з малим кроком виводів паяні з'єднання з дефіцитом припою або виникнення перемичок припою є все ще проблемами, з якими доводиться рахуватися.

Для того щоб виключити труднощі, наявні при паянні SMD-компонентів хвилею припою, в технологіях поверхневого монтажу була освоєна і розвинена технологія паяння оплавленням, при якій порошкоподібний припій і флюс попередньо змішуються для утворення паяльної пасти. Реологія пасти зазвичай розробляється таким чином, щоб паста була тиксотропною для полегшення процесу нанесення. Плати з встановленими на пасту компонентами нагріваються для розплавлення порошкоподібного припою в пасті. При нагріванні флюс вступає у взаємодію і відповідно видаляє оксиди з частинок припою і металевих поверхонь виводів компонентів і контактних майданчиків і, отже, дозволяє припою змочувати поверхні виводів компонентів і контактних майданчиків плат утворювати паяні з'єднання. Деякі поширені методи нагрівання припою оплавленням складаються з інфрачервоного нагрівання, паяння в паровій фазі, конвекційного нагрівання.

Застосування технології з використанням паяльної пасти має значні переваги перед паянням хвилею припою:

- паяльна паста служить не тільки матеріалом для паяння, але і клеєм для фіксації компонентів на монтажному полі плати, що дозволяє уникнути необхідності використання клею для кріплення компонентів, які необхідні при паянні хвилею припою;
- нанесення паяльної пасти зазвичай здійснюється груповим методом – через металевий або сітчастий трафарет, або послідовним дозуванням, або переносом; нанесення певної кількості припою на контактні майданчики забезпечує повторюваність кількості припою в паяних з'єднаннях і, отже, усуває проблеми, пов'язані з недостатньою кількістю припою у з'єднаннях з причини ефекту затінення, що зустрічається при паянні хвилею припою, більше того, нанесення зумовленої кількості припою також знижує частоту утворення перемичок припою; це особливо стосується електронних модулів, що містять компоненти з малим кроком виводів;
- використання паяння оплавленням дозволяє забезпечити добре керований температурний профіль з поступовим нагріванням, таким чином, виключаючи потенційну можливість пошкодження компонентів внаслідок термоудару, що викликається паянням хвилею;
- застосування паяльної пасти надає можливість каскадного паяння припоями з різною температурою плавлення; після першого паяння високотемпературним припоєм паяльна паста з меншою температурою плавлення може утворювати повноцінні паяні з'єднання без повторного розплавлення паяних з'єднань, сфор-

мованих при першому паянні; такий прийом особливо важливий для змішаної технології паяння звичайних компонентів і компонентів з покриттям для безсвинцевого паяння;

- поведінка паяльної пасти при паянні не чутлива до типу паяльної маски, використаної на друкованій платі; при паянні хвилею припою паяльна маска з гладкою поверхнею часто буває причиною утворення кульок і перемичок припою.

Технологія поверхневого монтажу робить можливим розвиток електронної промисловості в напрямку зменшення розмірів, маси, підвищення щільності монтажу, швидкодії і зниження вартості.

Конкуруючи з паянням хвилею, паяння оплавленням швидко стало основною технологією з'єднання при серійному виробництві завдяки більш високому виходу придатних виробів, продуктивності і надійності. Корпуси з матричним розташуванням виводів порівняно з корпусами із периферійним розташуванням виводів зміщуються у бік більш малого кроку і забезпечують більш високу щільність виводів разом з легшим виробництвом, меншими розмірами корпусу і більш високою продуктивністю. Очевидно, що монтаж їх на плату можливий тільки методами поверхневого монтажу.

Контрольні запитання

1. Які вимоги висуваються до компонентів для поверхневого монтажу?
2. Технологічні особливості монтажу SMD-компонентів.
3. Що означає термін "крило чайки" ?
4. Які методи паяння використовуються при поверхневому монтажі ?
5. Які особливості SMD-корпусів напівпровідникових дискретних компонентів?
6. Яка послідовність операцій при застосуванні технології поверхневого монтажу з використанням паяння оплавленням ?
7. Яка послідовність операцій при застосуванні технології поверхневого монтажу з використанням паяння хвилею ?
8. Якими методами здійснюється нанесення паяльної пасти при поверхневому монтажі ?
9. Як виконується встановлення компонентів, які монтуються на поверхні?
10. Які переваги має метод паяння оплавлення перед паянням хвилею?
11. Які види хвиль використовуються при паянні хвилею ?
12. Коли доцільно використовувати ручний дозатор при нанесенні паяльної пасти ?

СЛОВНИК НАЙБІЛЬШ ВЖИВАНИХ ТЕРМІНІВ

<i>Біполярний транзистор</i>	bipolar transistor	биполярный транзистор
<i>Діелектрик</i>	insulator	диэлектрик
<i>Діод</i>	diode	диод
<i>Друкована плата</i>	printed circuit board	печатная плата
<i>Електричне коло</i>	electric circuit	электрическая цепь
<i>Електронні компоненти</i>	electronic components	электронные компоненты
<i>Клей</i>	glue	клей
<i>Компоненти для поверхневого монтажу</i>	surface mount devices	компоненты для поверхностного монтажа
<i>Конденсатор</i>	capasitor	конденсатор
<i>Корпус</i>	casing	корпус
<i>Катушка індуктивності</i>	inductor	катушка индуктивности
<i>Маркування</i>	legend	маркировка
<i>Монтаж в отвори</i>	through-hole technology	монтаж в отверстия
<i>Напівпровідник</i>	semiconductor	полупроводник
<i>Паяння</i>	soldering	пайка
<i>Паяння хвилею припою</i>	wave soldering	пайка волной припоя
<i>Паяльна станція</i>	soldering station	паяльная станция
<i>Поверхневий монтаж</i>	surface mount technology	поверхностный монтаж
<i>Полевий транзистор</i>	field-effect transistor	полевой транзистор
<i>Припій</i>	solder	припой
<i>Припійна паста</i>	brazing paste	припойная паста
<i>Провідник</i>	conductor	проводник
<i>Резистор</i>	resistor	резистор
<i>Селективне паяння</i>	selective soldering	селективное паяние
<i>Трансформатор</i>	transformer	трансформатор
<i>Флюс</i>	flux	флюс

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Головин О. В. Радиоприемные устройства / Головин О. В. – М. : Горячая линия-Телеком, 2004. – 384 с.
2. Грабчак О. В. Монтаж радіоелектронної апаратури : навчальний посібник / О. В. Грабчак, В. М. Мізерний, О. В. Бурдейна. – Вінниця : ВДТУ, 2000. – 116 с.
3. Гуляева Л. Н. Высококвалифицированный монтажник радиоэлектронной аппаратуры : учебное пособие / Гуляева Л. Н. – М. : Издательский центр "Академия". – 2007. – 127 с.
4. Гуляева Л. Н. Технология монтажа и регулировка радиоэлектронной аппаратуры и приборов / Гуляева Л. Н. – М. : Издательский центр "Академия", 2009. – 256 с.
5. Гусев В. Г. Электроника и микропроцессорная техника : учебник для ВУЗов / В. Г. Гусев, Ю. М. Гусев. – М. : Высшая школа, 2008. – 798 с.
6. Журавлева Л. В. Радиоэлектроника / Журавлева Л. В. – М. : АСАДЕМА, 2008. – 208 с.
7. Козак А. А. Робоча спеціальність "Монтажник РЕА та приладів" : навчальний посібник / А. А. Козак, А. А. Храбан. – Вінниця : ВДТУ, 1997. – 95 с.
8. Медведев А. М. Сборка и монтаж электронных устройств / Медведев А. М. – М. : Техносфера, 2007. – 256 с.
9. Мэнгин Ч. Г. Технология поверхностного монтажа / Ч. Г. Мэнгин, С. Макклелланд. – М. : Мир, 1990. – 276 с.
10. Мисюль П. И. Ремонт, настройка и проверка РТА. Специальная технология / Мисюль П. И. – Ростов-на-Дону : Феникс, 2007. – 506 с.
11. Нинг-Ченг Ли. Технология пайки оплавлением, поиск и устранение дефектов: поверхностный монтаж, BGA, CSP Flip-Chip технологии / Нинг-Ченг Ли – М. : Издательский дом "Технологии", 2006. – 392 с.
12. Пирогова Е. В. Проектирование и технология печатных плат : учебник / Пирогова Е. В. – М. : Форум: Инфра-М, 2005.
13. Садченков Д. А. Маркировка радиодеталей отечественных и зарубежных : справочное пособие / Садченков Д. А. – М. : СОЛОН-Р, 2002. – 2008 с.
14. Селиванова З. М. Технология радиоэлектронных средств : учебное пособие / Селиванова З. М. – Тамбов : ИТГУ – 2010. – 80 с.
15. Ярочкина Г. В. Радиоэлектроника: Рабочая тетрадь / Ярочкина Г. В. – М. : АСАДЕМА, 2003. – 112 с.

Навчальне видання

**Крилик Людмила Вікторівна
Селецька Олена Олександрівна**

МОНТАЖ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ПРИЛАДІВ. СПЕЦІАЛЬНА ТЕХНОЛОГІЯ

Навчальний посібник

Редактор Т. Старічек

Оригінал-макет підготовлено О. Селецькою

Підписано до друку 4.05.2017 р.
Формат 29,7×42¼. Папір офсетний.
Гарнітура Times New Roman. Ум. друк. арк. 9.
Наклад 50 пр. Зам. № 2017-081.

Видавець та виготовлювач
Вінницький національний технічний університет,
інформаційний редакційно-видавничий центр.

ВНТУ, ГНК, к. 114.
Хмельницьке шосе, 95,
м. Вінниця, 21021.
Тел. (0432) 59-85-32, 59-81-59,
press.vntu.edu.ua,
E-mail: kivc.vntu@gmail.com.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.