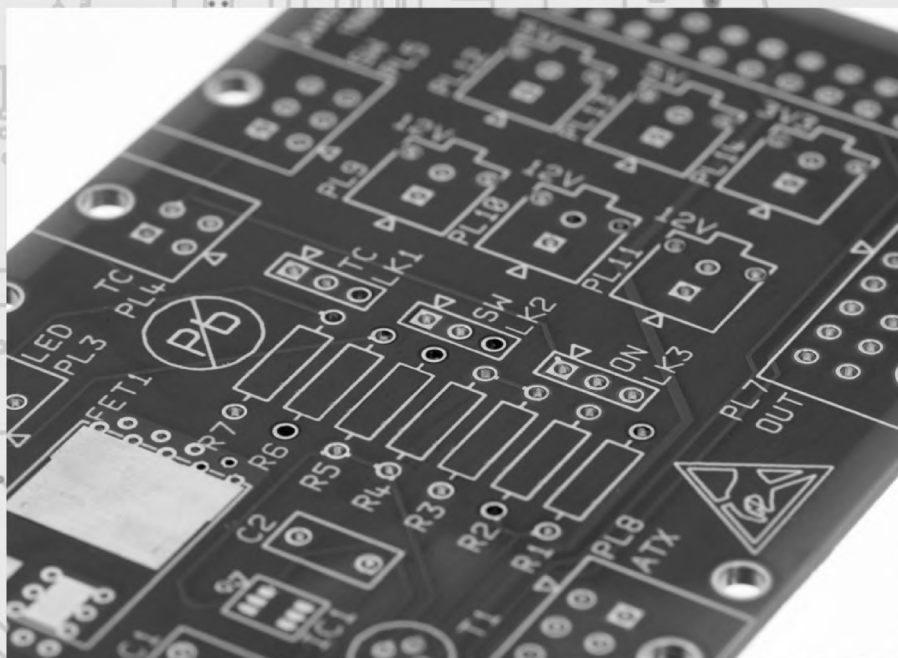


Бутурлакін О.П., Овчаренко В.В., Чичура І.І.

ДРУКОВАНІ ПЛАТИ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

Частина I



Ужгород - 2017

ЗМІСТ

	стор.
Вступ	3
1 Конструювання друкованих плат	4
2 Оцінка електричних параметрів друкованих плат	20
3 Послідовність етапів конструювання друкованих плат	24
4 Приклад виконання розрахунків з конструювання друкованої плати	34
Література	38
Додаток 1. Матеріали, які використовуються при конструюванні друкованих плат	39

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«УЖГОРОДСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА ПРИЛАДОБУДУВАННЯ**

Бутурлакін О.П., Овчаренко В.В., Чичура І.І.

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ
КУРСОВОГО ПРОЕКТУ**

ДРУКОВАНІ ПЛАТИ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

Частина I

для студентів інженерно-технічного факультету
спеціальності «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Ужгород -2017

Друковані плати (частина І). Методичні вказівки до виконання курсового проекту для студентів інженерно- технічного факультету спеціальностей «Приладобудування» та «Електронні системи». – Ужгород, УжНУ, 2016. – 40 с.

Укладачі:

- Бутурлакін О.П.* – канд. фіз.-мат. наук, доцент кафедри приладобудування;
Овчаренко В.В. – ст. викладач кафедри приладобудування;
Чичура І.І. – викладач кафедри приладобудування

Рецензенти:

- Спесивих О.О.* – канд. фіз.-мат. наук, доцент кафедри електронних систем;
Козусенок О.В. – ст. викладач кафедри приладобудування

Відповідальний за випуск:

- Турянниця І.І.* – канд. фіз.-мат. наук, завідувач кафедри приладобудування

Затверджено на засіданні кафедри приладобудування
25 вересня 2017 р., протокол № 2.

Схвалено методичною комісією інженерно-технічного факультету
10 листопада 2017 р., протокол № 5.

ВСТУП

При виробництві засобів машинобудування, приладобудування, обчислювальної техніки та побутової радіоелектронної апаратури широко застосовуються друковані плати як один із ефективних способів, що забезпечують автоматизацію монтажних операцій, зниження габаритних розмірів апаратури, металоємності та значне покращення конструктивних і експлуатаційних показників виробів. Застосування друкованих плат дозволяє спростити настройку апаратури і виключити можливість помилок при її монтажі, оскільки розміщення провідників і монтажних отворів є однаковим для всіх плат даної схеми. Використання друкованих плат обумовлює також можливість суттєвого підвищення рівня об'ємної інтеграції, забезпечує оптимальні умови для відведення тепла, кращу електромагнітну сумісність елементів РЕА у порівнянні із об'ємним монтажем.

Пропоноване навчальне видання – перша в УжНУ методична розробка з циклу присвяченого конструюванню радіоапаратури – є спробою узагальнення стану, тенденцій розвитку, нормативних матеріалів, засобів та інструментарію конструювання і технології розробки друкованих плат.

В першому розділі систематизовано викладені загальні положення і питання, пов'язані з конструюванням друкованих плат, приведені чисельні вимоги та норми діючих стандартів у цій галузі, зроблено огляд сучасних матеріалів для виготовлення плат, наведені базові формули для виконання конструкторських розрахунків. У другому розділі розглядаються питання, пов'язані з оцінкою електричних параметрів друкованих плат, знання яких необхідно на етапі конструкторської проробки технічного завдання. Третій розділ присвячений розгляду основних етапів конструювання друкованих плат, змісту і наповнення кожного з цих етапів та оцінці конструктивних параметрів об'єкта проектування. Даються вказівки щодо оформлення графічної документації друкованих плат. В останньому розділі наведено типовий приклад виконання розрахунків по конструкторській проробці друкованої плати закінченого вузла для газоаналітичної техніки.

У додатку наведені вибіркові переліки матеріалів, які використовуються при виготовленні друкованих плат.

Методична розробка розрахована на студентів інженерних спеціальностей вищих учбових закладів України за напрямками приладобудування, електронні системи і комп'ютерна інженерія, а також може бути корисною для аспірантів та викладачів

1 КОНСТРУЮВАННЯ ДРУКОВАНИХ ПЛАТ

Головною метою процесу конструювання є створення комутаційного пристрою для об'єднання групи ЕРЕ до одного функціонального вузла, який забезпечує необхідні механічні і електричні параметри у заданому діапазоні експлуатаційних характеристик при мінімальних витратах.

Для цього необхідно:

- визначити тип друкованої плати (ДП);
- визначити або призначити клас точності ДП;
- визначити габаритні розміри та конструкцію ДП;
- вибрати матеріал основи для ДП;
- вибрати варіанти встановлення і розміщення навісних ЕРЕ на ДП;
- визначити топологічні елементи та особливості друкованого рисунка ДП;
 - розмістити всі елементи на платі і здійснити трасування з'єднань;
 - забезпечити максимальну автоматизацію процесів виготовлення та контролю плати, процесів складання, пайки, проміжкового контролю вузлів;
 - виготовити конструкторську документацію.

Конструювання ДП починають з детального вивчення ТЗ, принципової електричної схеми та компоновки виробу, до складу якого має входити проєктована ДП. На основі вимог, які закладені у ТЗ, визначають умови експлуатації, зберігання та транспортування розроблюваної ДП.

Знання компоновки виробу дозволяє визначити розміри і форму ДП, способи і точки кріплення, конфігурацію пазів, вирізів, отворів і т.п. Відомості про номенклатуру елементної бази і електричні характеристики принципової схеми визначають компоновку ЕРЕ, розміщення елементів рисунку ДП, розміри цих топологічних елементів, кількість провідних шарів, клас точності.

Експлуатаційні характеристики виробу визначають вибір типу матеріалу основи і її товщину, а також тип конструкційних покриттів. При виборі типу ДП слід звертати особливу увагу на техніко-економічні показники, які залежать від складності провідного рисунку, кількості шарів і типу матеріалу основи ДП. Складність друкованого рисунку визначається відстанню між його топологічними елементами, шириною і числом провідників, числом, формою і розмірами отворів, допустимими відхиленнями від номінальних значень

У відповідності до значень основних параметрів і граничних допустимих відхилень елементів конструкції (основи плати, провідників, контактних площадок, отворів) ГОСТ 23751–86 встановлює **п'ять класів точності** друкованих плат [1]. Вони є обов'язковими для ручного та автоматизованого методів проектування ДП і повинні забезпечувати автоматичне встановлення виробів електронної техніки у відведені для них посадочні місця на ДП при виконанні монтажних і складальних операцій. Регламентовані у ГОСТ 23751–86 параметри конструкції ДП та встановлені для них літерні позначення приведені на рис.1. Найменші номінальні значення основних розмірів елементів конструкції ДП для вузького місця в залежності від класу точності приведені у таблиці 1.

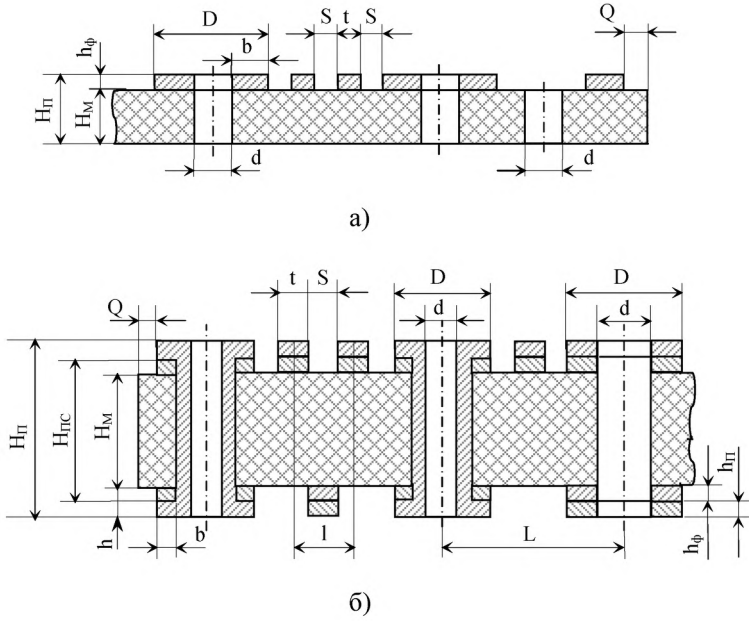


Рис.1. Літерні позначення розмірів конструкції ДП, регламентовані ГОСТ 23751–86:
 а) одностороння ДП; б) двостороння ДП;
 H_n – товщина ДП; H_m – товщина основи ДП; h_ϕ – товщина фольги; b – гарантійний пояс; D – діаметр контактної площадки; d – діаметр отвору; S – відстань між краями сусідніх елементів провідного рисунку; t – ширина друкованого провідника; Q – відстань від краю ДП, вирізу, пазу до елементів провідного рисунку; h – товщина провідного рисунку; l – відстань між центрами (осями) елементів конструкції ДП.

Таблиця 1. *Найменші номінальні значення основних розмірів елементів ДП [1]*

Умовне позначення розміру	Номінальне значення основних розмірів для класу точності				
	1	2	3	4	5
t	0,75	0,45	0,25	0,15	0,1
S	0,75	0,45	0,25	0,15	0,1
B	0,30	0,20	0,1	0,05	0,025
γ^*	0,40	0,40	0,33	0,25	0,20

γ^* – відношення номінального діаметра найменшого із металізованих отворів до товщини друкованої плати

Для вільного місця на ДП вказані розміри допускається призначати за довільним більш низьким класом точності, а для першого класу – збільшувати у 2 рази. Залежності працёмісткості виготовлення 1 дм² друкованої плати в умовах серійного виробництва від густини отворів і класу точності представлені на рис.2. Враховуючи той факт, що при курсовому проектуванні розробляються тільки односторонні друковані плати (ОДП) і двосторонні друковані плати (ДДП), представлені залежності включають тільки 4 класи точності, оскільки останній – п'ятий клас точності забезпечує дотримання регламентованих вимог до конструкції багат шарових друкованих плат (БДП).

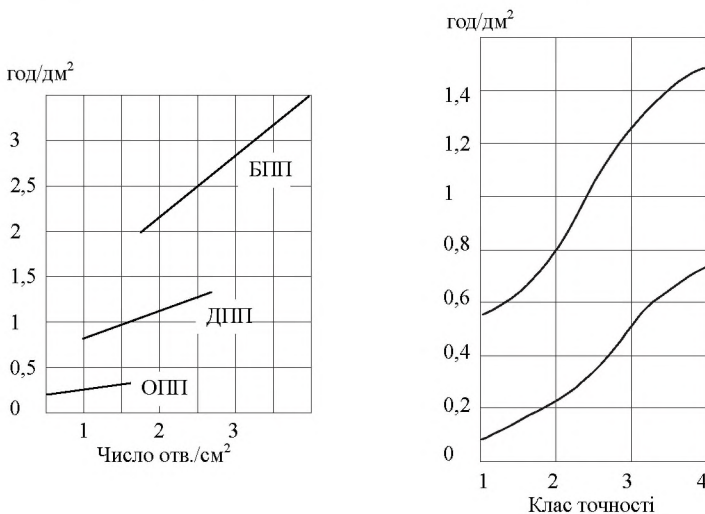


Рис.2. Працёмісткість виготовлення ДП в залежності від густини розміщення отворів (а) і класу точності (б) [2]

При виборі типу ДП необхідно враховувати, що ОДП і ДДП без з'єднання провідних шарів прості за конструкцією і нескладні у виготовленні. Комутаційна здатність однієї ДДП безміжшарових з'єднань не може бути вищою ніж для двох ОДП тієї ж площі. Такі плати доцільно застосовувати при використанні безвивідних елементів або ЕРЕ з планарними виводами. З'єднання провідних шарів ДДП може здійснюватись відрізками провідникового матеріалу (штирями, відрізками дроту, пустотілими заклепками), гальванічно осадженою міддю. Такі плати мають більші комутаційні переваги і являються перспективними для виробництва ДП малої і середньої складності, оскільки в технологічних процесах по їх виготовленню відсутні працемісткі гальванічні процеси. Двосторонні друковані плати з гальванічним з'єднанням провідних шарів в наш час являються найбільш поширеними конструкціями. ДДП такого типу дозволяють забезпечити найбільшу у порівнянні з іншими типами ДП середньої складності густину розміщення ЕРЕ при високій надійності з'єднань. ОДП також дуже широко застосовуються для забезпечення найскладніших, мало насичених ЕРЕ електронних вузлів і схем (блоки живлення, вузли комутації, попередні підсилювачі для ПВП і т.п.).

Порядок вибору розмірів друкованих плат регламентується ГОСТ 10317-79 [1]. Цей стандарт встановлює основні розміри одно- і двосторонніх ДП на жорсткому і гнучкому діелектрику прямокутної форми. Максимальний розмір довільної сторони ДП повинен бути не більше 470 мм (див. рис.3 і табл.2). При цьому співвідношення лінійних розмірів сторін повинно бути не більше 3:1 і не менше 1:3. Таким чином, заштриховане поле на рис.3 представляє собою область допустимих розмірів сторін друкованої плати. Вибір лінійних розмірів сторін за межами вказаної зони може бути здійсненим лише при наявності спеціальних конструктивних вимог, які вказуються у ТЗ на розробку даного вузла.

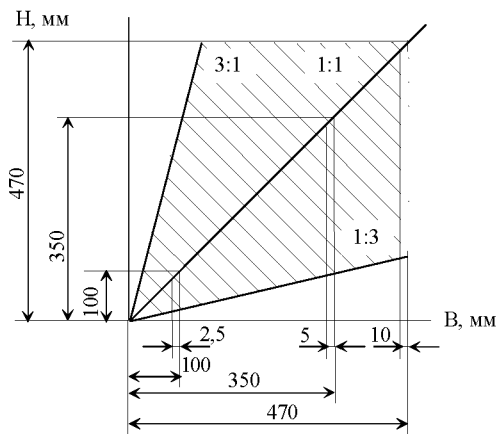


Рис.3. До визначення розмірів сторін ДП і співвідношення між ними [5]

Таблиця 2. **Максимальні розміри ДП, мм**

Вид плати	Клас точності			
	1	2	3	4
Одностороння	470×470	470×470	400×400	240×240
Двостороння	470×470	470×470	400×400	180×180
Багатошарова	470×470	470×470	240×240	180×180

Розміри кожної сторони ДП повинні бути кратними:

- 2,5 – при довжині до 100 мм;
- 5,0 – при довжині до 350 мм;
- 10,0 – при довжині більше 350 мм.

Відхилення сторін від перпендикулярності повинно бути не більше 0,2 мм на 100 мм довжини.

При остаточному призначенні габаритних розмірів ДП рекомендується керуватися регламентованим ГОСТ 10317–79 переліком стандартних лінійних розмірів, які приведені у таблиці 3. При необхідності відступлення від розмірів, які приведені у таблиці 3, слід застосовувати приведені вище вимоги по кратності сторін. Максимальні розміри ДП при необхідності можуть бути узгоджені за призначеними класами точності у відповідності з вимогами, наведеними у таблиці 2.

Основний крок координатної сітки, встановлений нормативними документами, має дорівнювати 2,5 мм. При використанні кроку координатної сітки меншого за основний, необхідно застосовувати крок, рівний 1,25 і 0,625 мм.

При виборі геометричних розмірів типових масових ДП необхідно користуватись у першу чергу розмірами оптимальних рядів уніфікованих базових несучих конструкцій (виділено жирним у табл.3), а кількість типорозмірів у одному виробі зводити до мінімуму.

Слід пам'ятати, що збільшення розмірів ДП веде до збільшення похибок при їх виготовленні, а відхилення від прямокутності, наявність пазів і вирізів піднімає витрати праці при виготовленні.

Товщина ДП визначається наступними факторами:

- вихідним матеріалом, закладеним у ТЗ;
- використовуваною елементною базою;
- можливими і діючими механічними навантаженнями.

Бажаними для призначення значеннями товщин ДП являються 0,8; 1,0; 1,5; 2,0 мм. Товщина ДП повинна бути узгоджена з діаметрами застосовуваних металізованих отворів. При цьому необхідно пам'ятати, що для якісної металізації відношення діаметра металізованого отвору до товщини плати повинно бути не більше 0,3. При використанні друкованих роз'єднувачів сумарну товщину ДП у зоні кінцевих контактів встановлюють у залежності від вимог на роз'єднувач.

Таблиця 3. Рекомендовані лінійні розміри ДП, мм [3]

Ш	Д	Ш	Д	Ш	Д	Ш	Д	Ш	Д	Ш	Д		
10	10	45	45	80	80	110	110	140	140	180	180		
	15		50		85		120		150		150	190	
	20		60		90		130		160		160	200	
	30		70		95		135		170		170	220	
	40		75		100		140		180		180	240	
15	15	80	80	110	110	140	140	180	180	260	260		
	20		85		120		150		150		190	280	
	25		90		130		160		160		200	300	
	30		100		140		170		170		220	320	
20	20	50	50	85	85	120	120	150	150	200	200		
	25		60		90		130		160		160	180	220
	30		75		100		140		170		170	190	240
	40		80		110		150		180		180	260	360
	45	85	85	85	120	120	150	150	200	200	220		
	50	90		90		130		160		160	180	240	
	60	95		95		140		170		170	190	260	
	80	100		100		150		180		180	200	300	
30	30	60	60	90	90	120	120	160	160	220	220		
	40		75		95		130		170		170	190	240
	45		80		100		140		180		180	200	260
	50		85		110		150		190		190	220	280
	60		90		120		160		200		200	240	300
	90		100		130		170		220		220	260	340
40	40	75	75	100	100	130	130	160	160	220	220		
	45		80		110		140		170		170	190	240
	50		85		120		150		180		180	200	260
	60		90		130		160		190		190	220	280
	75	95	100	95	120	120	150	150	200	200	240		
	80	100		100		130		160		160	180	260	
	100	110		110		140		170		170	190	280	
	120	120		120		150		180		180	200	300	
140	130	135	130	100	100	135	135	170	170	240			
160	140		140		150		180		180	190	340		

Примітка: Ш – ширина плати; Д – довжина плати; виділені жирним шрифтом розміри Д×Ш є найбільш оптимальними

При конструюванні ДП необхідно особливу увагу приділяти вибору основного матеріалу, оскільки саме цей вибір має забезпечити стабільність фізико-механічних і електричних параметрів ДП після дії механічних навантажень, кліматичних впливів і агресивних хімічних середовищ. Для друкованих плат, які експлуатуються при малих механічних навантаженнях, слід використовувати гетинакс; при середніх і великих механічних навантаженнях – склотекстоліт. У випадку експлуатації ДП в умовах вібраційних навантажень необхідно вибирати матеріал, який забезпечує при заданих габаритах і точках кріплення відсутність резонансних явищ. Підвищити жорсткість конструкції ДП можливо шляхом введення додаткових точок кріплення або металічного обрамлення.

Вибираючи матеріал для ДП певного типу, необхідно чітко представляти можливі впливи на цей матеріал агресивних середовищ, що застосовуються в процесі виготовлення. ДП з гальванічним з'єднанням провідних шарів у процесі виготовлення піддаються дії довготривалих хімічних реакцій у гальванічних ваннах, що негативно впливає на зчеплення фольги з матеріалом основи і на саму основу. Це може привести до відшарування тонких провідників та розтріскування і розшарування матеріалу діелектричної основи. Для виконання ДП в цьому випадку необхідно застосовувати матеріал типу СФ, а для плат із складним провідним рисунком – матеріали типу СФН, СТФ, ФТС, ФДМ. Матеріали, рекомендовані для виготовлення ДП приведені у таблиці 4.

При виборі матеріалів для ДП необхідно мати на увазі, що матеріали на основі паперу (типу ГФ) легше обробляються при меншому зношенні інструмента і дозволяють застосовувати штамповку для обробки контуру і виконання отворів. Стабільність більшості механічних і електричних параметрів ДП при дії вологи і підвищених температур визначається оптимальним вибором матеріалу основи. Вплив високих температур і вологи веде до перерозподілу внутрішніх напружень, які руйнують клейовий шар. При цьому мають місце деформації плати, усадка і розшарування матеріалу основи, відшарування фрагментів провідного рисунку. Тому при конструюванні ДП, призначених для роботи в умовах підвищення температур і вологості, необхідно використовувати матеріали типу СФПН СТФ, ФДМТ ФДМ. Основні фізичні характеристики базових матеріалів для виробництва ДП приведені у таблиці 5. Вибір матеріалу ДП обов'язково підлягає узгодженню по фізичних параметрах, приведених в цій таблиці, і вимогами ТЗ та специфікою електричних режимів експлуатації друкованого вузла.

Розміщення навісних ЕРЕ на ДП завжди необхідно узгоджувати з конструктивними вимогами на друкований вузол, блок і пристрій в цілому. При розміщенні навісних елементів необхідно передбачати їх раціональне взаємне розміщення з метою забезпечення наступних вимог:

Таблиця 4. **Матеріали для друкованих плат [2, 3, 5]**

Матеріал	Марка матеріалу	Товщина фольги, нкм	Товщина матеріалу з фольгою, мм	Міцність зчеплення, г/мм²	Область застосування
Гетинакс фольгований	ГФ-1-35	35	1,5; 2,0; 3,0;	220,0	Одно- і двосторонні ДП без гальванічного з'єднання провідних шарів
	ГФ-2-35		1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0		
Склотекстоліт фольгований	СФ-1-35	35	0,8; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0	300,0	Одно- і двосторонні ДП з гальванічного з'єднання провідних шарів
	СФ-1-50 СФ-2-50		0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0		
Склотекстоліт фольгований теплостійкий	СТФ-1-35	35	0,13; 0,15; 0,2; 0,25; 0,5	400,0	Одно-, двосторонні гнучкі ДП з підвищеною температурною стійкістю
	СТФ-2-35		0,8; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5		
Склотекстоліт фольгований нагрівостійкий	СФПН-1-50	50	0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0	450,0	Одно-, двосторонні ДП з підвищеною нагрівостійкістю і вологостійкістю
	СФПН-2-50				
Діелектрик фольгований тонкий	ФДМ-1-35	35	0,25; 0,35	100,0	Одно- і двосторонні гнучкі ДП
	ФДМ-2-35				
Діелектрик фольгований для мікроселектроніки	ФДМЭ-1-35	35	0,1	100,0	Односторонні і гнучкі ДП для спеціального застосування
Фольгований травниковий діелектрик для багатопарового друкованого монтажу	ФДМТ-1-35	35	0,1; 0,25	150,0	Одно- і багатопарові ДП спеціального застосування
	ФДМТ-2-35				

Таблиця 5. Основні фізичні характеристики базових матеріалів для ДП [5]

Назва фізичної величини	Позначення	Гетинакс (ГФ)	Склогекстоліт на епоксидній основі (СФ, СФТ)	Поламід (ФДМ)	Кераміка 22ХС (ФДМЭ)	Фторопласт 4Д (ФДМТ)
Густина без фольги, $\text{кг}\times\text{м}^{-3}$	ρ	1300... 1400	1600... 1900	1400	3600	2200
Відносна діелектрична проникність	ϵ	4,5... 6,0	5... 6	3,5... 4,0	10,3	4,0
Тангенс кута діелектричних втраг	$\text{tg } \delta$	0,008... 0,02	0,005... 0,02	0,002... 0,05	$(5... 6)\times 10^{-4}$	$(2... 3)\times 10^{-4}$
Об'ємний питомий опір, $\text{Ом}\times\text{см}$	ρ	$10^{12}... 10^{14}$	$10^{14}... 10^{15}$	$10^{16}... 10^{17}$	$10^{14}... 10^{15}$	$10^{18}... 10^{19}$
Інтервал робочих температур, $^{\circ}\text{C}$	Δ	-60... +80	-60... +100	-260... +250	-200... +400	-200... +260
Коефіцієнт теплопровідності, $\text{Вт}\times\text{м}^{-1}\times\text{К}^{-1}$	χ	0,25... 0,30	0,34... 0,74	0,3	10... 20	0,25
$\text{ТКЛР}, \times 10^{-6} \text{ К}^{-1}$	α_t	22	8... 9	22... 26	3... 6	80... 250

- забезпечення простого трасування;
- малий взаємний вплив на електричні параметри і швидкодію;
- можливість застосування автоматичного складання, пайки, контролю;
- малі габарити і маса;
- можливість виконання ремонтів і настроювання;
- забезпечення ефективного тепловідведення.

Варіант встановлення ЕРЕ на ДП повинен вибиратися у відповідності із заданими умовами експлуатації та іншими вимогами до конструкції вузла. У загальному випадку варіанти встановлення ЕРЕ на ДП регламентуються ОСТ 4.010.030–81 [6]. При встановленні та закріпленні навісних ЕРЕ на ДП необхідно враховувати наступні вимоги:

- працездатність елементів в заданих ТЗ умовах експлуатації;
- раціональну компоновку напівпровідникових елементів і мікросхем по тепловому режиму (віддалення таких елементів від джерел, які виділяють велику кількість тепла);
- вплив магнітних полів на елементи, критичні до магнітних полів;
- доступність підборочних і регулюючих елементів схеми при ремонті і регулюванні параметрів;
- захист монтажу, розміщеного поблизу схемних елементів;
- розміщення масивних елементів (масою більше 60 г) ближче до місць закріплення плати;
- можливість доступу до критичних елементів (особливо мікросхем) для їх заміни;
- покриття вологозахисним лаком (за виключенням місць, які не підлягають захисту).

Детально всі питання встановлення вивідних і безвивідних ЕРЕ на одно- і двосторонні ДП висвітлені у довіднику [7], де також приведені рекомендовані варіанти формування виводів, регламентовані варіанти стандартного встановлення і закріплення ЕРЕ на ДП.

Розміщення елементів конструкції ДП регламентується умовною координатною сіткою з двох взаємно перпендикулярних систем паралельних ліній, розміщених на однаковій відстані одна від другої. Ця відстань називається кроком координатної сітки. Основний крок координатної сітки – 2,5 мм. При використанні кроку менше за основний рекомендується призначати крок, який може дорівнювати 1,25 або 0,625 мм. При використанні імпоротної компонентної бази слід користуватись дюймовою координатною сіткою, для якої основним кроком є 2,54 мм, а додатковими 1,27 мм і 0,635 мм.

Дві взаємно перпендикулярні лінії координатної сітки з точкою перетину у лівому куті креслення плати використовують як вісі координат, а точку їх перетину (вузол координатної сітки – як початок або базу координат).

Центри монтажних отворів і контактних площинок під виводи навісних ЕРЕ розміщуються у вузлах координатної сітки.

Центри монтажних отворів під неформовані виводи багатовивідних ЕРЕ, міжцентрові відстані яких не кратні кроку координатної сітки, розміщують таким чином, щоб у вузлі координатної сітки знаходився центр, хоча б одного із монтажних отворів, а центри монтажних отворів під інші виводи виконуються у відповідності з вимогами конструкції встановлюваного елемента. При виборі і призначенні ЕРЕ необхідно враховувати, що використання таких елементів значно ускладнює процеси виготовлення і контролю ДП, складання друкованих вузлів.

Номінальні значення діаметрів монтажних отворів d розраховуються за формулою:

$$d = d_{\text{ел}} + \left| \Delta d_{\text{н.в.}} \right| + r, \quad (1.1)$$

де $d_{\text{ел}}$ – максимальний діаметр виводу встановлюваного ЕРЕ;

$\Delta d_{\text{н.в.}}$ – мінімальне граничне відхилення від номінального діаметра монтажного отвору для призначеного класу точності;

r – різця між мінімальним діаметром отвору і максимальним діаметром встановлюваного виводу (практично, виходячи із умов паяння визначають у межах 0,1... 0,4 мм).

Діаметри монтажних, перехідних, металізованих і неметалізованих отворів слід вибирати із типового ряду значень:

0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0; 1,1; 1,2; 1,3; 1,4; 1,5; 1,6; 1,7; 1,8;
2,0; 2,1; 2,2; 2,3; 2,4; 2,5; 2,6; 2,7; 2,8; 3,0 мм

В промисловості рекомендовано використовувати наступний раціоналізований ряд отворів:

0,7; 0,9; 1,1; 1,3; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0 мм

Граничні відхилення діаметрів монтажних отворів Δd і відхилення від номінального положення центра отвору δd приведені, відповідно, у таблицях 6, 7

Розміри і конфігурацію кріпильних та інших конструктивних отворів вибирають в залежності від вимог конструкції встановлюваного елемента. Число типорозмірів довільних отворів на платі слід обмежувати, так як воно збільшує кількість інструментів і нормативний час процесу обробки.

Таблиця 6. **Граничні відхилення монтажних і перехідних отворів ДП для призначених класів точності [5]**

Діаметр отвору d , мм	Наявність металізації	Граничне відхилення Δd , м для класу точності				
		1	2	3	4	5
До 1,0	без металізації	$\pm 0,10$	$\pm 0,10$	$\pm 0,05$	$\pm 0,05$	$\pm 0,025$
	з металізацією без оплавлення	$\pm 0,05$	$\pm 0,05$	+0	+0	+0
	з металізацією і оплавленням	-0,15	-0,15	-0,10	-0,1	-0,075
	з металізацією і оплавленням	+0,05	+0,05	+0	+0	+0
Більше 1,0	без металізації	$\pm 0,15$	$\pm 0,15$	$\pm 0,10$	$\pm 0,10$	$\pm 0,10$
	з металізацією без оплавлення	+0,1	+0,1	+0,05	+0,05	+0,05
	з металізацією і оплавленням	-0,2	-0,2	-0,15	-0,15	-0,15
	з металізацією і оплавленням	+0,1	+0,1	+0,05	+0,05	+0,05

Таблиця 7. **Величини позиційних допусків розміщення центрів отворів δd для класів точності [5]**

Розмір плати по більшій стороні, мм	δd , мм для класів точності				
	1	2	3	4	5
До 180 включно	0,20	0,15	0,08	0,05	0,05
Більше 180 до 360 включно	0,25	0,20	0,10	0,08	0,08
Більше 360 до максимального значення	0,30	0,25	0,10	0,10	0,10

При конструюванні ДП всі монтажні отвори мають бути розміщеними у зоні контактних площинок (КП). Металізовані отвори повинні мати КП з двох сторін ДП. КП можуть мати довільну форму [3], однак бажано використовувати площинки круглої форми. КП, призначені під встановлення першого виводу багатовивідного елемента (мікросхеми, роз'єднувач, набір елементів і т.п.), повинні відрізнятися по формі від інших. З боку пайки бажано виконувати КП асиметричної форми, збільшуючи їх у вільну від провідного рисунка сторону. Бібліотека КП та груп друкованих контактів для провідного рисунка ДП за ГОСТ 23751-86 приведена у додатках до довідника [3].

Мінімальний діаметр КП D_k навкруги монтажного отвору розраховується з а формулою:

$$D_k = (d + \Delta d_{\text{в.в.}}) + 2b_{\text{н}} + \Delta t_{\text{в.в.}} + 2\Delta d_{\text{тр}} + (\delta d^2 + \delta p^2 + \Delta t_{\text{н.в.}}^2)^{0,5} \quad (1.2)$$

де $\Delta d_{\text{в.в.}}$ – верхнє граничне відхилення діаметра отвору;

$b_{\text{н}}$ – гарантований поясок на зовнішньому шарі;

$\Delta t_{\text{в.в.}}, \Delta t_{\text{н.в.}}$ – верхнє і нижнє граничне відхилення ширини провідника, відповідно;

$\Delta d_{\text{тр}}$ – допуск на підтравлення діелектрика;

δp – допуск на розміщення контактних площинок для ОДП і ДДП.

Допуски на основні топологічні параметри ОДП і ДДП, які входять до формули (1.2) для призначених класів точності визначають за таблицею 8.

Таблиця 8. Основні топологічні параметри ДП, необхідні для визначення D_k [1, 3]

Параметр	Клас точності				
	1	2	3	4	5
Верхнє граничне відхилення діаметра отвору $\Delta d_{\text{в.в.}}$ (без металізації, $d \leq 1$ мм) мм	+0,10	+0,10	+0,05	+0,05	+0,03
Теж саме, для $d \geq 1$ мм	+0,15	+0,15	+0,10	+0,10	+0,05
Верхнє граничне відхилення діаметра отвору $\Delta d_{\text{в.в.}}$ (з металізацією, $d \leq 1$ мм) мм	+0,10	+0,10	+0,05	+0,05	+0,05
Теж саме, для $d \geq 1$ мм	+0,15	+0,15	+0,10	+0,10	+0,05
Верхнє граничне відхилення на ширину провідника, $\Delta t_{\text{в.в.}}$, мм (без покриття) (з покриттям)	$\frac{+0,15}{+0,25}$	$\frac{+0,10}{+0,15}$	$\frac{+0,03}{+0,10}$	$\frac{+0,03}{+0,05}$	$\frac{+0,01}{+0,03}$
Нижнє граничне відхилення на ширину провідника, $\Delta t_{\text{н.в.}}$, мм (без покриття) (з покриттям)	$\frac{-0,15}{-0,20}$	$\frac{-0,10}{-0,10}$	$\frac{-0,03}{-0,08}$	$\frac{-0,03}{-0,05}$	$\frac{-0,01}{-0,03}$
Допуск на підтравлення $\Delta d_{\text{тр}}$, мм	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03

Для контактних площинок довільної форми мінімальний розмір визначається діаметром вписаного кола. Форма, розміри і розміщення КП під планарні виводи ЕРЕ визначаються ТУ на елемент та умовами, що забезпечують якісну пайку при ручному і автоматизованому методах.

Кінцеві друковані контакти для друкованих з'єднувачів розміщують по краю ДП. Розміри кінцевих контактів, їх крок та допустимі відхилення від номінальних значень визначаються за ТУ на гребінчасті друковані з'єднувачі.

Контрольні контактні площинки для автоматичного контролю і діагностики виконують круглої форми діаметром не менше 2 мм і розміщують у вузлах координатної сітки з кроком 2,5 мм у вільних місцях у шаховому порядку так, щоб відстань між центрами сусідніх КП, що лежать а одній лінії координатної сітки, була кратна 5, а на сусідніх – кратна 2,5.

Після розміщення КП, отворів і визначення заборонених зон на корисному полі друкованих провідників виконується трасування провідників, що з'єднують КП. Всі елементи друкованого рисунку розміщують від краю плати, вирізу, неметалізованого отвору діаметром більше 1,5 мм на відстані не менше товщини плати, для плат товщиною менше 1 мм – на відстані не менше 1 мм.

При необхідності переведення провідника з одного друкованого шару на інший використовуються металізовані перехідні отвори, в які не впаюються виводи ЕРЕ. Крім того, можуть використовуватися неметалізовані отвори, куди встановлюються куски мідного дроту, штирі і пустотілі заклепки.

Провідники розміщуються по корисній площині друкованого рисунку ДП рівномірно на максимально можливій відстані від сусідніх елементів плати з врахуванням дотримання наступних вимог:

- паралельно лініям координатної сітки або під кутом, кратним 15°;
- паралельно напрямку руху хвилі припою або під кутом до нього не більше 30° з боку пайки, якщо друкований рисунок не покривається захисним шаром (маскою);
- по взаємно перпендикулярних напрямках – на сусідніх провідних шарах ДП;
- перпендикулярно до дотичної по контуру круглої КП або однієї із сторін КП, якщо її форма відрізняється від круглої.

Друковані провідники виконуються однакової максимально можливої ширини по всій довжині провідника. Номінальне значення ширини провідника t визначається за формулою:

$$t = t_{\text{м.д.}} + \left| \Delta t_{\text{н.в.}} \right|, \quad (1.3)$$

де $\Delta t_{\text{н.в.}}$ – мінімально допустима ширина провідника, що визначається класом точності (див. табл. 9) та можливим струмовим навантаженням.

Номинальне значення відстані між сусідніми елементами провідного рисунку визначається за формулою:

$$S = S_{\text{м.д.}} + \Delta t_{\text{в.в.}} + \delta l \quad (1.4)$$

де $S_{\text{м.д.}}$ – мінімально допустима відстань між сусідніми елементами друкованого рисунку (див. табл.);

δl – допуск на розміщення провідників відповідно до класу точності ДП (табл. 9).

Мінімально допустиму відстань між сусідніми елементами друкованого рисунку вибирають, виходячи із необхідності забезпечення електричної міцності ізоляції або за таблицею – у відповідності з класом точності.

Мінімальна відстань l для прокладки n провідників між двома отворами з КП діаметрами D_{1k} і D_{2k} :

$$l = \frac{D_{1k} + D_{2k}}{2} + t \cdot n + S(n+1) + \delta l \quad (1.5)$$

де n – число провідників.

Маркувальні знаки, що виконуються із провідникового матеріалу (фольги), розміщують на вільному полі ДП таким чином, щоб сумарна відстань між сусідніми елементами друкованого рисунку буда не менше мінімально допустимої. Шрифт для маркування друкованих провідників повинен бути не менше 2,5 мм.

Стабільність електричних, механічних та інших параметрів друкованих провідників може бути забезпечена застосуванням металічних і неметалічних покриттів, характер яких може вплинути на технологічний процес виготовлення та термін її зберігання.

На основу друкованого рисунку, як правило, наноситься електроізоляційне покриття із компаундів або полімерних плівок з метою збереження їх електроізоляційних властивостей при дії вологи та різноманітних забруднювачів. Використання захисного діелектричного покриття не є підставою для збільшення допустимих значень електричних параметрів плати.

Контактні площинки, друковані провідники і металізовані отвори покриваються металами або сплавами для покращення змочування припоєм при пайці. В якості такого покриття елементів друкованого рисунку використовуються метали і сплави, перераховані в таблиці 9.

Провідники і екрани, як правило, разом з діелектричною основою ДП захищаються електроізоляційними покриттями, які дозволяють зменшити витрати припою при груповій пайці хвилею, захистити друкований рисунок від забруднення.

Друковані контакти перемикачів і кінцеві контакти друкованих з'єднувачів покриваються благородними металами: сріблом, золотом, паладієм та сплавами, що забезпечують захист поверхні від окислення, високу зносостійкість при терті і при переміщенні контактів.

Таблиця 9. **Параметри топологічних елементів друкованого рисунку [5]**

Параметр	Клас точності				
	1	2	3	4	5
Допуск на розміщення провідників δl , мм	0,15	0,10	0,05	0,03	0,025
Мінімально допустима відстань між сусідніми елементами $S_{м.д.}$, мм	0,60	0,45	0,25	0,15	0,10
Мінімально допустиме значення ширини друкованого провідника $t_{м.д.}$, мм	0,60	0,45	0,5	0,15	0,10

Таблиця 10. **Види покриття для провідного рисунку [5]**

Покриття	Товщина, мм	Призначення покриття
Сплав «Розе»	4... 10	Захисне від корозії, покращення умов пайки
Сплав олово-свинець	9... 12	Те ж саме
Срібне	6... 12	Покращення електропровідності і підвищення зносостійкості контактів
Сплав срібло-сурма	6... 12	Те ж саме
Золоте	0,5... 2,5	Зниження перехідного опору і підвищення зносостійкості
Паладієве	1... 5	Підвищення зносостійкості кінцевих контактів і перемикачів
Нікелеве	3... 6	Придання поверхням перемикачів необхідної твердості

2 ОЦІНКА ЕЛЕКТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ДРУКОВАНИХ ПЛАТ

Розміри елементів друкованого рисунку та їх взаємне розміщення впливають на електричні параметри ДП і повинні максимально враховуватись при її конструюванні. До таких електричних параметрів належать наступні:

- омичний опір провідників;
- допустиме струмове навантаження;
- електрична міцність і опір ізоляції;
- електрична ємність друкованого монтажу.

Опір друкованих провідників. Омичний опір друкованих провідників у звичайних низькочастотних ДП, як правило, не впливає суттєво на роботу схеми, однак при значній довжині і мінімальній ширині провідника ця величина може суттєво вплинути на оптимальний режим роботи схеми.

Опір провідника із одного металу розраховується за формулою:

$$R = \frac{\rho}{h} \sum_{i=1}^k \frac{L_i}{t_i}, \quad (2.1)$$

де ρ – питомий опір провідника (див. табл.11);

h – товщина провідника;

k – число ділянок провідника на його довжині, які мають різну ширину;

L_i – довжина i -тої ділянки провідника шириною t_i ;

t_i – ширина провідника на i -тій ділянці.

Опір провідників з додатковим покриттям розраховують як сумарну величину, якщо питомий опір покриття значно відрізняється від питомого опору основного металу.

Омичний опір друкованого провідника з мідної фольги постійної ширини можна орієнтовно визначити за графіком на рис.4.

Допустиме струмове навантаження. Збільшення густини і компоновки навісних елементів ЕРЕ на ДП приводить до збільшення енергомісткості друкованих вузлів і збільшення струмового навантаження на друковані провідники, що збільшує теплове нагрівання провідників. Таке додаткове виділення тепла при нагріванні провідників обов'язково повинно прийматися до уваги при розрахунках теплового режиму роботи РЕА.

Величину струмового навантаження одиночних провідників з мідної фольги при постійній ширині і перерізі S можна орієнтовно визначити за графіком на рис.5.

Для провідників, розміщених на відстані, меншій за їх ширину, а також для провідників, виконаних із гальванічно осадженої міді, величину допустимого струмового навантаження слід зменшити на 15... 20%.

Таблиця 11. **Питомий електричний опір ρ металічного покриття друкованих провідників [5]**

Метал	Питомий опір ρ , $\times 10^{-6}$ Ом/см
Мідна фольга	1,72
Гальванічна мідь	1,90
Хімічна мідь	2,80
Олово	12,0
Срібло	1,59
Золото	2,22
Нікель	7,80
Паладій	10,80

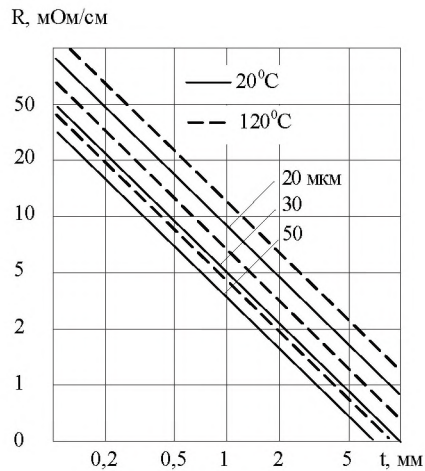


Рис.4. Залежність електричного опору друкованого провідника від його ширини [2]

Ширину друкованого провідника призначають з врахуванням наступних значень максимальних струмових навантажень:

- для фольги 100... 250 А/мм²;
- для гальванічної міді від 60 до 100 А/мм²;
- у вузьких місцях густина струму не має перевищувати 45–50 А/мм² при товщині фольги 50 мкм.

Електрична міцність ізоляції. Основний вплив на цей параметр мають тип матеріалу основи ДП, вид додаткового покриття і відстань між елементами друкованого рисунка. Відстань між елементами друкованого рисунка для матеріалів типу СФ і ГФ узгоджують і призначають в залежності від прикладеної напруги і умов експлуатації за таблицею 12. При визначенні відстані між елементами друкованого рисунка на платі необхідно приймати до уваги допустиме відхилення від номінального значення у відповідності з призначеним класом точності.

Опір ізоляції між елементами провідного рисунка ДП. Цей параметр визначається властивостями застосованого матеріалу, взаємним розміщенням і сумісною довжиною провідників, дією оточуючого середовища, наявністю забруднення поверхні.

Опір ізоляції R_S між двома провідниками, розміщеними в одній площині на зовнішніх шарах ДП:

$$R_S = \rho_S \frac{S}{L}, \quad (2.2)$$

де R_S – питомий поверхневий опір матеріалу основи, Ом;

ρ – відстань між провідниками, см;

L – сумісна довжина провідників, см.

Опір ізоляції між двома провідниками із змінною відстанню між ними визначається як сума опорів на окремих ділянках.

Опір ізоляції R_V між елементами друкованого рисунка, розміщеного на зовнішніх, або сусідніх провідних шарах:

$$R_V = \rho_V \frac{H_M}{P}, \quad (2.3)$$

де ρ_V – питомий опір матеріалу основи, Ом×см;

H_M – товщина матеріалу основи між елементами рисунка;

P – площа проекції одного елемента на проекцію другого, см².

Опір ізоляції для ДП необхідно вибирати таким, щоб цей опір був порівняним з розрахунковим, який отримується на основі питомих норм на матеріал основи ДП і особливо на впливав на шунтуючу дію опору ізоляції.

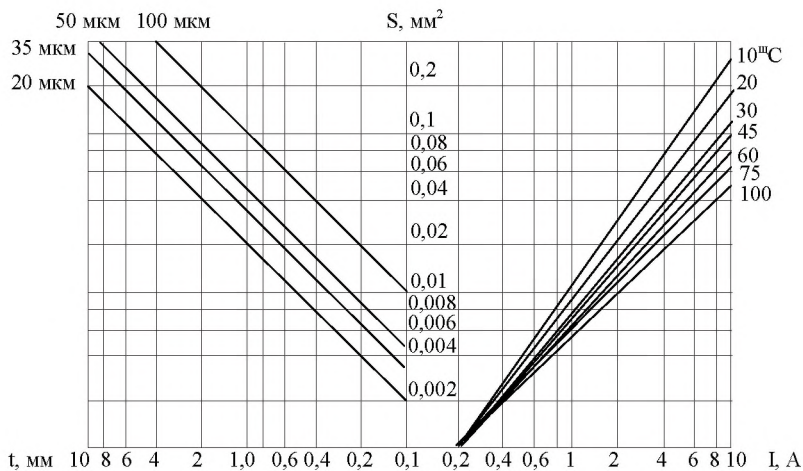


Рис.5. Залежність струмового навантаження від ширини провідника [2]

Таблиця 12. Допустимі відстані між елементами друкованого рисунка, розміщеними в одному шарі ДП [2]

Відстань між елементами провідного рисунка, мм	Робоча напруга, В	
	Гетинакс (ГФ)	Склотекстоліт (СФ)
Від 0,15 до 0,20	–	25
Вище 0,2 до 0,3	30	50
0,3 до 0,4	100	150
0,4 до 0,7	150	300
0,7 до 1,2	300	400
1,2 до 2,0	400	600
2,0 до 3,5	500	830
3,5 до 5,0	660	1160
5,0 до 7,5	1160	1600

3 ПОСЛІДОВНІСТЬ ЕТАПІВ КОНСТРУЮВАННЯ ДРУКОВАНИХ ПЛАТ

Послідовність етапів проектування і конструювання друкованих плат у вигляді структурної схеми алгоритму приведена на рис.6. Коротко розглянемо зміст кожного з цих етапів конструювання друкованих плат.

На першому етапі вивчається технічне завдання на розроблений виріб, його принципова електрична схема та компоновка, умови зберігання, транспортування і експлуатації. Визначаються конструктивні елементи другого ієрархічного рівня, їх електричні схеми.

На другому етапі аналізуються ЕРЕ, їх електричні і конструктивні характеристики, під'єднувальні розміри; визначаються способи контактних з'єднань ЕРЕ та вид міжконтактних електричних з'єднань, тобто тип друкованої плати (ОДП, ДДП або багатощарова ДП), а також вибирається основний вихідний матеріал для виготовлення друкованих плат. Зокрема, для виробів, що експлуатуються при малих механічних навантаженнях, в якості основи рекомендується використовувати гетинакс як найбільш дешевий і легкооброблюваний матеріал. Для середніх і великих механічних навантажень рекомендується застосовувати матеріали на основі склотекстоліту (СФ).

На третьому етапі визначаються розміри монтажної зони на друкованій платі. Під монтажною зоною розуміють простір на платі, який призначений для розміщення на ній активних і пасивних ЕРЕ, контактних площинок для контактної комутації і друкованих провідників для здійснення міжконтактних з'єднань. Для випадку переважного розміщення на ДП інтегральних мікросхем (ІМС) одного і того ж конструктивного виконання монтажна зона визначається у відповідності до рис.7. На цьому рис. штриховою лінією позначена монтажна зона, в якій розміщуються корпуси ІМС з базовими розмірами l_x і l_y (по вісям x і y), відповідно. Розміщення ІМС по горизонталі (вісь x) і вертикалі (вісь y) регулюється кроками t_x і t_y .

Якщо задано число корпусів ІМС, розміщених у одному ряді по горизонталі n_x і число рядів по вертикалі n_y , то загальне число ІМС, розміщених у монтажній зоні дорівнює:

$$N_{\text{ІМС}} = n_x \cdot n_y \quad (3.1)$$

При цьому n_x і n_y визначаються за наступними виразами:

$$n_x = \frac{L_x - 2x - l_x}{t_x} + 1; \quad (3.2)$$



Рис. 6. Побудова структурної схеми алгоритму конструювання друкованих плат

$$n_y = \frac{L_y - (y_1 + y_2) - 1_y}{t_y} + 1, \quad (3.3)$$

де L_x – повна довжина ДП по вісі x з врахуванням розмірів правого і лівого крайових технологічних полів по x ;

L_y – повна довжина ДП по вісі y з врахуванням нижнього y_1 і верхнього y_2 крайових технологічних полів.

Використовуючи вирази (3.2) і (3.3), легко визначити розміри монтажної зони:

по вісі x :
$$L_x - 2x = t_x(n_x - 1) + 1_x;$$

по вісі y :
$$L_y - (y_1 + y_2) = t_y(n_y - 1) + 1_y;$$

Рекомендовані [5] значення крайових полів будуть рівними $x \geq 2,5$ мм; $y_1 > 10$ мм; $y_2 \geq 12,5$ мм (конкретно розмір y_2 визначається конструкцією роз'єднувального вузла, який має бути застосовано на даній ДП).

Кінцеві повні розміри ДП L_x і L_y визначаються з врахуванням умов кратності і співвідношення між ними (див. рис.3) або призначаються за рекомендованими лінійними розмірами (див. табл.3).

У випадку принципової електричної схеми, яка представляє собою велике різноманіття типових активних і пасивних ЕРЕ, монтажну зону прийнято визначати шляхом сумування площин встановлення кожного з елементів схеми. Під площиною встановлення ЕРЕ розуміють площину прямокутника (квадрата), в яку вписується даний ЕРЕ разом з виводами, контактними площадками при встановленні його на плату. Конфігурації корпусів основних найбільш поширених ЕРЕ та їх площини встановлення з врахуванням кроку координатної сітки приведені у довіднику [7]. На цьому етапі конструювання ДП необхідно зібрати ескізи варіантів встановлення і площин встановлення всіх ЕРЕ, які входять до переліку елементів принципової електричної схеми.

Після цього сумарні площі встановлення всіх ЕРЕ поділяються на три групи:

- S_{MG} – сумарна площа встановлення малогабаритних ЕРЕ;
- S_{CG} – сумарна площа встановлення середньогабаритних ЕРЕ;
- S_{KG} – сумарна площа встановлення крупногабаритних ЕРЕ;

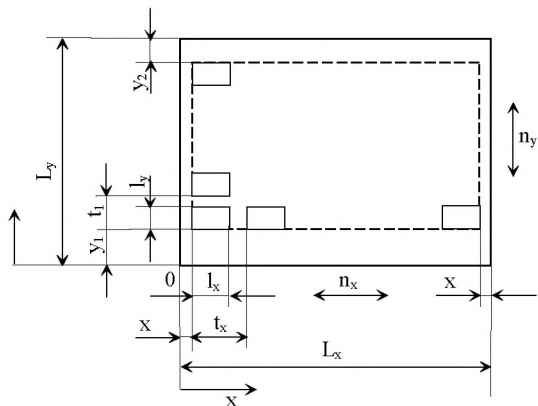
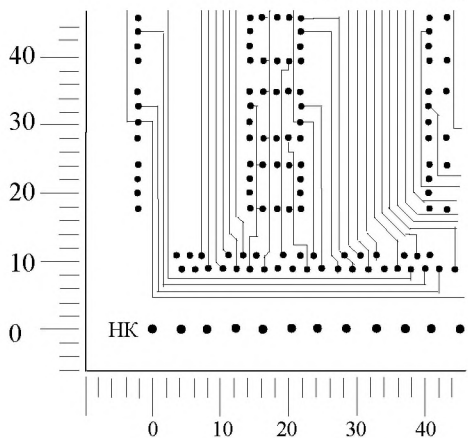
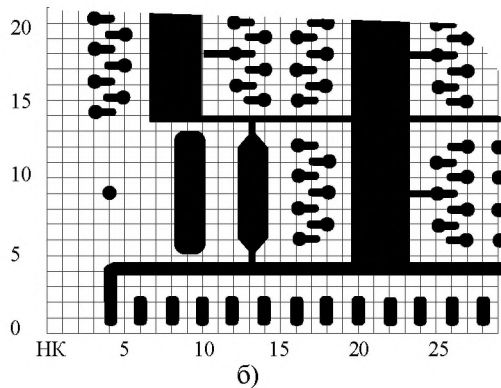


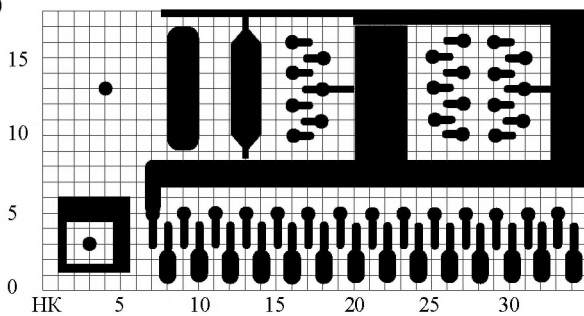
Рис. 7. Розміщення ІМС на друкованій платі: 1 – посадочне місце; 2 – границя зони розміщення; 3 – крайове поле плати



а)



б)



в)

Рис.8. Варіанти вибору початку координат

При виконанні такого поділу необхідно враховувати, що до *малогобаритних ЕРЕ* відносять мініатюрні резистори (0,125 і 0,25 Вт), діоди і стабілітрони у скляних корпусах, деякі типомінали керамічних конденсаторів та інші радіокомпоненти, які мають площу індивідуального встановлення $S_i \leq 1 \text{ см}^2$. До *середньогобаритних ЕРЕ* належать ІМС у прямокутних корпусах, резистори потужністю вище 0,5 Вт, конденсатори в циліндричних корпусах і подібні радіокомпоненти, які мають площу індивідуального встановлення $S_i \leq 2 \text{ см}^2$. До *крупногобаритних ЕРЕ* належать потужні резистори, конденсатори в прямокутних корпусах, змінні резистори, трансформатори, напівпровідникові прилади з радіаторами та інші, індивідуальна площа встановлення яких $S_i > 2 \text{ см}^2$.

З врахуванням встановлених позначень площа монтажної зони може бути визначена за формулами [5]:

- для низької густини монтажу (1, 2, 3 класи точності)

$$S_M = 4S_{MG} + 3S_{CG} + 1,5S_{KT} \quad (3.4)$$

- для високої густини монтажу (4 і 5 класи точності)

$$S_M = 2,5S_{MG} + 1,8S_{CG} + 1,2S_{KT} \quad (3.5)$$

Вважаючи монтажну зону квадратною і використовуючи отримане значення S_M , можна визначити лінійні розміри монтажної зони, які в подальшому можливо скоректувати з врахуванням вимог ГОСТ 10317–79 та закладеної у ТЗ конструкційної системи.

Розмір крайового поля, яке додається до площі монтажної зони S_M , визначається наступними факторами:

- розмір крайового поля з боку з'єднувача складає 15... 30 мм в залежності від типу і числа контактів роз'єднувача [3, 5];
- в інших місцях ширина крайового поля визначається конструкцією ДП і повинна бути не менша товщини плати;
- для плат товщиною менше 1 мм крайове поле повинно бути не менше 1 мм.

В цілому загальна площа ДП визначається сумою:

$$S_{з.п.} = S_M + S_{к.п.} \quad (3.6)$$

де S_M – площа монтажної зони, визначена за формулами (3.4) або (3.5);

$S_{к.п.}$ – площа крайового поля ДП, визначена з врахуванням зроблених вище зауважень.

Визначена за формулою (3.6) $S_{з.п.}$ буде вихідною для призначення геометричних розмірів ДП: довжини (Д) і ширини (Ш). Плата може мати прямокутну або квадратну форму з розмірами: $Д \times Ш \leq S_{з.п.}$. Розміри Д і Ш обов'язково необхідно узгодити з вимогами кратності сторін (рис.3) або із стандартними рекомендованими рядами лінійних розмірів ДП (див. табл.3).

На **четвертому етапі** здійснюється розміщення ЕРЕ в монтажній зоні (S_M). Попередньо виконується аналіз принципової електричної схеми з метою встановлення можливості об'єднання виводів ЕРЕ в єдину зону електричного приєднання; класифікацію провідників живлення і сигнальних ліній зв'язку; визначення місць можливих перехрещень провідників та можливих шляхів їх усунення.

Вихідну принципову електричну схему на цьому етапі необхідно *реконфігурувати*, тобто перетворити, не змінюючи електричних з'єднань і зв'язків, таким чином, щоб було зручно розробляти з'єднання за допомогою друкованого рисунка.

Послідовність і основні правила реконфігурації можна сформулювати наступним чином:

- електричні зв'язки між ЕРЕ на схемі зображають простими лініями;
- на умовному зображенні ЕРЕ з трьома і більше виводами розміщення виводів приводять у відповідність з реальними на встановлюваному на ДП елементі, якщо на виводи дивитися з боку друкованих провідників;
- усуваються всі перехрещення, які можуть бути ліквідовані шляхом графічної деформації схеми; перенесенням назначень ЕРЕ, поворотом їх домагаються мінімального числа перехрещень ліній електричного зв'язку;
- лінії зовнішніх зв'язків ґрунтують за межами схеми, на стороні, яка найбільше підходить для розміщення зони електричного приєднання;
- перехрещення, що залишились усувають, проводячи лінії зв'язку через ЕРЕ або їх виводи; зображення ЕРЕ при необхідності деформують: резистори продовжують, обкладки конденсаторів розсувають і т.п.;
- якщо перехрещення не може бути усунено або потребує перетину більшого числа ЕРЕ, його відмічають П-подібним переходом.

Слід відмітити, що перетворена схема являється робочим етапом при конструюванні ДП, але до складу документації вона не включається і тому вимоги ГОСТ і ДСТУ на неї не поширюються.

Реконфігурація принципової схеми дає можливість:

- усунути уявні та визначити дійсні місця перетину і перехрещення ліній електричного з'єднання, які не були зображені на принциповій схемі;
- намітити конкретні шляхи усунення перетинів і перехрещень на ДП;
- отримати приблизне взаємне розміщення ЕРЕ на ДП.

Реконфігурація принципової схеми має важливе значення і її необхідно виконувати послідовно, з ретельною перевіркою правильності внесених перетворень і можливих деформацій.

Всі ЕРЕ розміщують на ДП виходячи з перетвореної принципової електричної схеми. Найбільш швидко і просто в умовах студентського проектування ЕРЕ можливо розмістити, застосовуючи *метод макетування з темплатами*. Темплети вирізаються з картону, на одній стороні якого наклеєний міліметровий папір. Темплатам надають форму прямокутників і квадратів, розміри яких відповідають габаритним та встановлюючим розмірам ЕРЕ у масштабі 2:1. На верхньому боці темплета зображають спрощено корпус і виводи ЕРЕ, вказують його позиційне призначення, діаметр виводів елемента. Темплети розкладають на листку в клітинку розміром 5×5 мм, на якому виділено площу монтажно́ї зони. Досягнувши зручного розміщення, темплети по черзі забирають з листа, попередньо обводячи їх контури олівцем, монтажні отвори відмічають кружками діаметром 4 мм і на місці темплетів проставляють позиційні позначення ЕРЕ. При виконанні макетування методом темплет розміщення і орієнтацію ЕРЕ необхідно виконувати при дотриманні наступних вимог:

- корпуси ЕРЕ орієнтуються паралельно лініям координатної сітки з дотриманням кроку встановлення та у відповідності з призначеним класом точності;
- центри виводів ЕРЕ завжди мають бути прив'язані до вузлів координатної сітки.

Після закінчення попереднього макетування та визначення розмірів ЕРЕ в монтажній зоні робиться чорнове робоче креслення, на якому у подальшому буде виконуватись трасування з'єднань.

На п'ятому етапі конструювання ДП для виконання регулярності розміщення елементів трасування використовується координатна сітка, яка може виконуватись у прямокутній або полярній системах координат. Крок координатної сітки призначається із ряду, який приводився у попередньому розділі, і у прямокутній системі координати можуть прийматись:

- центр крайнього лівого нижнього отвору, який знаходиться на полі плати, в тому числі технологічного (рис.8 а);
- лівий нижній кут друкованої плати (рис.8 б);
- ліва нижня точка, утворена лініями побудови (рис.8 в).

Координатну сітку у полярній системі координат застосовують для креслень ДП з певною послідовністю розміщення з радіальною орієнтацією друкованих провідників, що повторюються. Крок координатної сітки у полярній системі координат задають кутом і діаметром. За нуль приймається центр друкованої плати.

Мінімальну ширину друкованого провідника вибирають із врахуванням струмового навантаження. Максимально допустимий струм, який проходить по друкованому провіднику можна оцінити за наступною формулою:

$$I_{\max} = j \cdot t \cdot h \quad (3.7)$$

де j – максимально допустима густина струму при заданій температурі, $[A/mm^2]$;

t – ширина друкованого провідника, мм;

h – товщина провідного покриття (фольги), мм.

Використовуючи формулу (3.7), за даними значеннями I_{\max} , j і h визначається мінімальна ширина друкованого провідника t . Уточнене значення t з врахуванням температурного режиму визначають за графіками на рис.5. Розрахунок на допустиме струмове навантаження слід виконувати для вузьких провідників ($t < 1$ мм), в яких струми перевищують 2 А. Для кіл, в яких струми не перевищують 2 А при ширині провідника $t = 1$ мм і $h > 50$ мкм, розрахунок на допустиме струмове навантаження можна не виконувати. Після визначення мінімальної ширини провідника t і відстані між провідниками S у відповідності з призначеним класом точності приступають до трасування. При виконанні трасування провідники розміщують в межах монтажної зони по можливості рівномірно паралельно лініям координатної сітки або під кутом кратним 15° .

Друковані провідники не повинні мати різких перегинів та гострих кутів. Зміна напрямку провідника повинна здійснюватись плавно з радіусом закруглення не менше 2 мм.

Провідники вхідних ВЧ кіл повинні прокладатися в першу чергу і бути максимально короткими. При прокладанні довгих провідників ($l_n > 200$ мм), на них слід передбачати проміжкові контактні площинки і монтажні отвори. У вузькому місці монтажної зони найменша відстань l для прокладки n -го числа провідників розраховується за формулою:

$$l = \frac{D_1 + D_2}{2} + t_n + S(n+1) + T_1 \quad (3.8)$$

де D_1, D_2 – діаметри контактних площинок між якими прокладаються провідники;

n – число провідників;

t – ширина провідника;

S – відстань між провідниками;

T_1 – позиційний допуск розміщення провідників у відповідності з класом точності.

Прокладка поряд вхідних і вихідних кіл схеми не рекомендується. Провідники у суміжних шарах ДДП і багатошарових ДП повинні бути перпендикулярні один одному. Друковані провідники, що проводять між двома близько розміщеними контактними площинками або отворами, слід розмішувати перпендикулярно вісі, яка з'єднує центри контактних площинок або отворів.

Заземлюючі провідники слід виготовляти максимальної ширини і площі.

При застосуванні екрануючих шарів останні повинні мати сітчасту конфігурацію з кроком 2... 5 мм. Комірки сітки повинні бути з заокругленими кутами.

Для запобігання відшарування провідного рисунку на провідниках, контактних площинках великої площини і екранах робляться ромбовидні та перехресно-штрихові вирізи.

Основні вимоги до трасування – не допустити перетину і перехреснення провідників. Якщо з'єднати друкованими провідниками без перетину всі розміщені у монтажній зоні ЕРЕ неможливо, то робиться їх перестановка з метою уникнення перетинів. Якщо і на цій стадії не вдається оптимально розвести всі з'єднання, то приймається рішення або про застосування перемичок із об'ємних провідників в місцях перетину друкованого рисунку, або про розробку двосторонньої чи багатошарової друкованої плати.

У випадку здійснення всіх необхідних з'єднань, переходять до **шостого етапу** проектування, в процесі якого здійснюється конструювання провідного рисунку. Цей етап називається етапом конструювання топологічних елементів провідного рисунку друкованої плати. До топологічних елементів, які підлягають проробці належать: контактні площинки, кінцеві контакти, монтажні, перехідні, фіксуючі та кріпильні отвори.

Конфігурація контактних площинок та їх розміри залежать від форми виводів ЕРЕ і діаметрів монтажних отворів. Найменший номінальний діаметр D_k контактної площинки з врахуванням призначеного класу точності розраховується за формулою (1.2). Діаметр монтажного отвору вибирають із ряду, який приводився вище, з врахуванням того, щоб між стінкою отвору і штиревим виводом ЕРЕ був зазор не менше 0,1 мм, що має забезпечити необхідну міцність пайки.

Монтажні отвори, призначені для встановлення ЕРЕ і формовані у межах контактних площинок, можуть бути металізованими і неметалізованими із зенковкою з обох боків друкованої плати. Перехідні отвори, що застосовуються для переходу з одного шару на інший, можуть виконуватись без металізації та зенковки.

У випадку неможливості отримання необхідних розмірів елементів провідного рисунку необхідно переглянути розміщення ЕРЕ, можливо змінити розміри монтажної зони і повторити повністю або частково дії п'ятого і шостого етапів.

В процесі виконання **сьомого етапу** конструюються елементи кріплення друкованої плати, в тому числі кріпильні отвори, які призначені для механічного під'єднання плати до шасі. Ці отвори виконуються без зенковки і металізації.

Для забезпечення точного розміщення друкованої плати при обробці та суміщенні шарів передбачаються фіксуючі отвори, які розміщуються або по діагоналі плати, або вздовж більшої сторони на максимальній відстані один від одного з обов'язковим розміщенням центра одного із отворів у вузлах координатної сітки.

У відповідності із рис.7 у районі допоміжної ділянки y_2 в залежності від конструкції обраного приєднувача розміщуються контактні площинки і отвори для під'єднання вилки або розетки (кінцевих контактів), розміри яких визначаються відповідною частиною обраного роз'єднувача.

У випадку необхідності надання ДП більшої жорсткості і міцності передбачається її обрамлення металічною рамкою.

На **восьмому і дев'ятому етапах** уточнюються зовнішні розміри ДП з врахуванням внесених змін у розміри монтажної зони. Остаточні визначаються розміри допоміжних полів по осях x і y та зовнішні розміри округляються з врахуванням вимог призначеної конструкційної системи. До зовнішніх розмірів ДП з кожного боку плати додається технологічний припуск, який дорівнює ~ 30 мм; тим самим визначається розмір заготовки ДП, який надходить до подальшої технологічної обробки. Після повної обробки заготовка обрізається у межах зовнішніх розмірів із зняттям фаски по контуру плати.

При оформленні документації на ДП керуються загальними правилами виконання креслень ЄСКД та ГОСТ 2.417-78. Креслення плати виконуються лініями, товщина яких повинна задовольняти вимогам мікрофільмування. При заданні розмірів нанесенням координатної сітки всі лінії сітки повинні нумеруватися. Допускається виділяти на кресленні окремі лінії координатної сітки, які повторюються через визначені інтервали.

4 ПРИКЛАД ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКІВ З КОНСТРУЮВАННЯ ДРУКОВАНИХ ПЛАТ

Приклад виконання базових розрахунків з конструювання ДП розглянемо для випадку розробки друкованого вузла дозатора газового. Вихідними документами є ТЗ, принципова електрична схема вузла РЕА 966801 ЭЗ та перелік документів до неї.

Дозатор газовий повинен бути виконаний як закінчений вузол та експлуатуватися у побутових приміщеннях як у нормальних так і в умовах з підвищеною температурою та вологістю. Тому доцільно використати для плати друкованої фольгований матеріал на основі склотекстоліту товщиною 1,5 мм.

Використання ЕРЕ з відстанню між виводами кратними 2,5 мм дозволяє вибрати крок координатної сітки рівний 2,5 мм.

Розрахунок площі монтажної зони S_M для низької густини монтажу виконаємо на основі формули (3.4):

$$S_M = 4S_{MG} + 3S_{CG} + 1,5S_{KG}$$

де S_{MG} , S_{CG} , S_{KG} відповідно сумарні установи площі малогабаритних (всі мініатюрні елементи), середньо габаритні (МС у прямокутних корпусах, постійні опори вище 0,5 Вт, конденсатори у круглих корпусах і т. д.) та крупно габаритні (трансформатор, напівпровідникові прилади на радіаторах і т.д.).

Під установчою площею ЕРЕ розуміють площу прямокутника (квадрата), у яку вписується ЕРЕ разом з виводом та контактними площинками при його установці на плати друкованої.

Результати розрахунків установчих площ ЕРЕ, варіанти встановлення їх за ОСТ 4.010.030-81, а також розміри виводів елементів приведені у табл. 13.

Площа монтажної зони згідно (3.4):

$$S_M = 4S_{MG} + 3S_{CG} + 1,5S_{KG} = 4 \cdot 638 + 3 \cdot 538 + 1,5 \cdot 850 = 8941 \text{ мм}^2$$

У випадку квадратної зони розміри ДП складала би $95 \times 95 \text{ мм}^2$. Враховуючи установку потенціометрів на платі у вертикальному положенні, розроблена плата друкована має вид прямокутника розміром $60 \times 80 \text{ мм}^2$.

Розрахунок отворів, ширини провідного рисунка виконаємо для плати друкованої другого класу точності згідно ГОСТ 23751-75. Це доцільно бо плати даного класу дешевші у виготовленні і рекомендуються для плат з низькою густиною монтажу, тобто де не потрібна висока точність.

Таблиця 13. Розрахункова таблиця установчих площ під РЕА

Категорія установчих площ	Елементи та їх тип	Варіант установки за ОСТ 4.010.030-81	Діаметр виводу, мм	Установча площа одного елемента, мм ²	Кількість, шт.	Установча площа однотипних елементів, мм ²
S _{МГ}	Резистори С2-2-0,125	Ia	0,6	22	12	264
	Транзистор КТ315 Б	Пв	0,5	25	2	50
	Індикатор один. АЛ 307	Пв	0,8	25	2	50
	Конденсатори К73-9-2	Пв	0	25	2	50
		Пв	0,6	50	3	150
Всього						638
S _{СГ}	Мікросхеми КР142ЕН5А	VIa	0,5	100	1	100
	Мікросхеми КР1006ВИ1	VIa	0,5	75	2	150
	Потенціометр СП5-3-0,5Вт	Vв	0,5	144	2	288
Всього						538
S _{КГ}	Дзвоник електромагнітний	VIIIa	0,8	225	1	225
	Панелька ІПЛ-7-3Пв	VIIIa		625	1	625
Всього						850

Для визначення розмірів отворів плати друкованої під виводи елементів необхідно знайти еквівалентні діаметри $d_{\text{екв}}$ виводів з прямокутним перерізом

$$d_{\text{екв}} = \sqrt{a^2 + b^2},$$

де a і b – сторони прямокутника.

Для мікросхеми КР142ЕН5А:

$$d_{\text{екв1}} = \sqrt{0,95^2 + 0,2^2} = \sqrt{0,943} \approx 0,97 \text{ мм}$$

а для мікросхем серії К1006ВИ1:

$$d_{\text{екв2}} = \sqrt{0,5^2 + 0,3^2} = \sqrt{0,34} \approx 0,58 \text{ мм}$$

Враховуючи допуски на розміри ЕРЕ, необхідність вільного проходження виводів у монтажних отворах, діаметри отворів повинні бути на $0,2 \div 0,3$ мм більшими від розрахованих. Згідно ОСТ 4.010.010–78 рекомендується також обмеження номенклатури діаметрів отворів – 0,8; 1,2; 1,5 мм, що підвищує технологічність монтажних процесів. Тому обмежимося трьома розмірами – 0,8; 1,2 та 1,5 мм.

Кріплення плати друкованої передбачається під гвинт 1М3, а діаметр отвору до них – $d = 3,4 \text{ h } 14$.

Для покращення паяємості передбачається поверхню провідного рисунку, контактних площадок покрити сплавом Розе ТУ6-0.9406Г–88.

Матеріали плати друкованої – Сф-1-35Г-1,5 ГОСТ 1016–78.

Розрахунок мінімального діаметра контактної площадки D навколо монтажного отвору проведемо за формулою (ГОСТ 23751–75):

$$D = \left(d + \Delta d_{bb} \right) + 2b_m + \Delta t_{bb} + \left(\delta d^2 + \delta p^2 + \Delta t_{mb}^2 \right)^{0,5}$$

- де d – номінальне значення діаметрів монтажного отвору;
 Δd_{bb} – верхнє граничне відхилення діаметру контактної площини;
 b_m – гарантійний поясок на зовнішньому шарі;
 Δt_{bb} – верхнє граничне відхилення ширини провідника;
 δd – допуск на розташування отворів;
 δp – допуск на розташування контактних площин;
 Δt_{mb} – нижнє граничне відхилення ширини провідника.

Для плати друкованої 2 класу точності з покриттям:

$$\Delta d_{bb} = 0,10 \text{ мм}; \quad \Delta t_{mb} = 0,10 \text{ мм};$$

$$b_m = 0,20 \text{ мм}; \quad \delta p = 0,25 \text{ мм};$$

$$\Delta t_{bb} = 0,15 \text{ мм}; \quad \delta d = 0,15 \text{ мм}.$$

Для отвору $d = 0,8$ мм мінімальний діаметр контактної площини $D_{0,8}$ рівний:

$$D_{0,8} = (0,80 + 0,10) + 2 \cdot 0,2 + 0,15 + (0,15^2 + 0,25^2 + 0,10^2)^{0,5} = \\ = 0,90 + 0,40 + 0,15 + (0,02 + 0,06 + 0,01)^{0,5} = 1,75 \text{ мм}.$$

Для отвору з $d = 1,2$ мм:

$$D_{1,2} = (1,2 + 0,1) + 2 \cdot 0,2 + 0,1 + (0,15^2 + 0,25^2 + 0,10^2)^{0,5} = 2,25 \text{ мм},$$

а для отвору з $d = 1,5$ мм:

$$D_{1,5} = (1,5 + 0,1) + 2 \cdot 0,2 + 0,1 + (0,15^2 + 0,25^2 + 0,10^2)^{0,5} = 2,4 \text{ мм}.$$

Мінімальне значення номінальної ширини провідників для плати друкованої 2 класу точності $t = 0,45$ мм, а допуск на ширину провідників Δt з покриттям $\Delta t = \begin{matrix} +0,15 \\ -0,10 \end{matrix}$ мм.

Правильність топології та вибору матеріалу проведемо виконанням електричних розрахунків – запасу міцності плати за напругою. Для цього визначимо мінімальну відстань S_{min} між двома поруч розташованими провідниками:

$$S_{\min} = S_k - D_{k \max} = 2,5 - 2,4 = 0,1 \text{ мм},$$

де S_k – крок координатної сітки;

$D_{k \max}$ – максимальний діаметр контактної площинки (для діаметра отвору 1,5 мм).

Згідно з ГОСТ 23751–75 для відстані між елементами провідного рисунка від 0,1 до 0,2 мм включно для фольгованого склотекстоліту значення допустимої робочої напруги $U_{\text{роб}} \leq 25\text{В}$.

Не дивлячись на те, що запас міцності за напругою n_u :

$$n_u = \frac{U_{\text{роб}}}{U_{\text{роб.мак}}} = \frac{25}{5} = 5 \text{ раз},$$

де $U_{\text{робмак}}$ – максимальне значення робочої напруги пристрою управління, рівне напрузі живлення, доцільно у вузьких місцях збільшити S_{\min} до 0,35 мм для виключення утворення перемичок під час проведення електромонтажних робіт.

Для 2-го класу точності мінімальна площа поперечного перерізу провідного рисунку S :

$$S = (t - \Delta t) \cdot h = (0,45 - 0,1) \cdot 0,035 = 0,012 \text{ мм}^2$$

де h – товщина фольги, яка рівна 35 мкм.

Максимальний струм споживання $I_{\text{мак}}$ газосигналізатора складає 0,305 А, тому максимальна щільність струму $J_{\text{мак}}$ через провідники друковані:

$$J_{\text{мак}} = \frac{I_{\text{макс}}}{S} = \frac{0,305}{0,012} \approx 25 \text{ А/мм}^2$$

Допустима щільність струму для фольги $J_{\text{доп}}$ від 100 до 250 А/мм² (ГОСТ 23751–75). Запас міцності за струмом n_j :

$$n_j = \frac{J_{\text{доп}}}{J_{\text{макс}}} = \frac{100}{25} = 4 \gg 1,$$

що вказує на правильність проведеного конструюван

ЛИТЕРАТУРА

Основна:

1. ГОСТ 23751–86. Платы печатные. Общие технические условия. – Введ. 01.01.87.
2. Справочник конструктора РЕА: компоненты, механизмы, надежность / Под ред. Р.Г.Варламова. – М.: Радио и связь, 1985.
3. Практическое пособие по учебному конструированию РЕА / Белинский В.Т. и др. – Под ред. К.Б.Круковского-Синевица. – К.: ВШ, 1992.
4. ГОСТ 10317–79. Платы печатные. Основные размеры. – Введ. 01.01.79.
5. Чернышев Л.А. Основы конструирования и надежности электронных вычислительных средств. – М.: Радио и связь, 1998.
6. ОСТ 4.010.030–81. Установка навесных элементов на печатные платы. Конструирование. – Введ. 01.01.83.
7. Справочник по конструированию радиоэлектронной аппаратуры (печатные узлы) / А.И.Горобец, А.И.Степаненко, В.М.Коронкевич. – К.: Техника, 1985. – 312 с.

Додаткова:

1. Конструирование и технология печатных плат. Учеб. пособие для радиотехн. спец. вузов // Под ред. А.Т. Жигалова. – М.: ВШ, 1973. – 217 с.
2. Аренков А.Б. Печатные и пленочные элементы радиоэлектронной аппаратуры. – Л.: Энергия, 1971. – 316 с.
3. Ильин В.А. Технология изготовления печатных плат. Л.: Машиностроение, 1984. – 77 с.
4. Лега Ю.Г., Мельник Н.А. Конструювання радіоелектронної апаратури. Поверхневий монтаж електрорадіоелементів: Навчальний посібник. – Черкаси, ЧПТІ, 1999. – 131 с.

Таблиця 1-Д. **Матеріали, які використовуються
при конструюванні друкованих вузлів**

Назва матеріалу, тип, марка	ДСТУ, ГОСТ, ОСТ
Бірки маркіровочні для проводів та жил кабелів	ОСТ4.ГО.028.000
Папір кабельний марок К-08, К-120, КМП-120	ГОСТ 2824-75
Картон прокладочний	ГОСТ 9347-74
Клей БФ-2 і БФ-4	ГОСТ 12172-74
Клей Д-9	ОСТ4.ГО.029.204
Клей ЛН	ОСТ4.ГО.029.204
Клей ВК-9	ОСТ4.ГО.029.204
Клей 88НП і 88СА	ТУ38-105.540-73
Клей ПВА-М	ТУ6-15-761-85
Компаунд «Виксинт ПК-68»	ТУ38.103508-81
Лак МЛ-92	ГОСТ 15865-70
Лак НЦ-134	ТУ6-10-1291-77
Лак НЦ-132	ГОСТ 6631-74
Лак НЦ-62	ОСТ6-10-391-74
Лакотканина електроізоляційна ЛШМ	ГОСТ 2214-78
Мастика І-9м	ОСТ 92-3234-73
Нитки бавовняні	ГОСТ 6309-80
Паста КПП-8	МРТУ6-02-354-66)
Припій ПОС-61	ГОСТ 21931-76
Провода монтажні з ізоляцією зі спікаємої плівки	ТУ16-505.083-78
Провода монтажні теплостійкі	
з ізоляцією на основі фторопласту	ТУ16-505.185-71
Провода монтажні з плівкою або	
поліхлорвініловою ізоляцією МГШВ, МГШВЭ	ТУ16-505.437-80
Провідники мідні	ГОСТ 2112-79
Склотекстоліт (гетинакс) фольгований	ГОСТ 12652-74
Сплав Розе	ТУ6-09-4065-75
Спирт етиловий технічний	ГОСТ 17299-78
Трубки електроізоляційні з ПВХ пластикату	ГОСТ 19034-73
Фарби маркіровочні спеціальні БМ, КМ, СМ, ЧМ, ЗМ	ТУ29-02-859-79
Фарба емалева МЛ-12	ГОСТ 9754-76
Фарба емалева ПФ-115	ГОСТ 6465-76
Фарба емалева МЛ-165, МЛ-165ПМ, МС-160	ГОСТ 12034-77
Фарба нітроемалева НЦ-25	ГОСТ 5406-73
Епоксидний компаунд ЭЗК-6	ОСТ4.ГО.029-003

