

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ
ІНСТИТУТ» КАФЕДРА КЕОА

Домашня робота №4

**з курсу: «Фізико-теоретичні основи
конструювання»**

**Тема: «Вибір друкованої плати. Конструкторсько-технологічний
розрахунок елементів друкованого монтажу»**

Виконав:
студент 3-го курсу
гр. ДК-82
Ниш Є. Р.

1. Вибір друкованої плати

1.1. Вибір типу друкованої плати

Друкована плата (ДП) призначена для електричного з'єднання і являє собою ізоляційну основу на лицьовій стороні якої розміщені конструктивні елементи, а на зворотному боці розміщені елементи друкованого монтажу: друковані провідники, контактні площадки, металізовані монтажні отвори. Їх застосування підвищує надійність апаратури, забезпечує повторюваність електричних параметрів, створює передумови для автоматизації виробництва (висока продуктивність і низька собівартість), зменшує габарити і масу.

Друковані плати за конструкцією поділяються на такі класи:

- односторонні (одношарові) – ОДП;
- двосторонні (двошарові) - ДДП ;
- багатошарові - БДП.

ОДП можуть проводити малюнок на одній стороні діелектричної основи. Вони прості за конструкцією і у виготовленні. Монтажні і трасувальні можливості цих плат низькі. Надійність ОДП і механічна міцність кріплення елементів також невисока.

ДДП можуть проводити малюнок на двох сторонах основи. Вони володіють високою щільністю монтажу, підвищеною надійністю з'єднань. Дозволяють полегшити трасування провідників і оптимізувати розміри плати завдяки щільному розміщенню елементів. ДДП мають високу механічну міцність їх кріплення. Ці ДП допускають монтаж штирьових елементів з одного боку, а SMD - компонентів з двох сторін. Це дозволяє реалізувати на них більш складні схеми, ніж на ОДП. Тому ДДП широко застосовуються в електронній апаратурі.

БДП складаються з чергованих тонких шарів діелектрика і провідних малюнків. У процесі виробництва всі шари фізично з'єднуються в одне ціле - багатошарова основа. Залежно від технології виготовлення (пресування) БДП, електричне з'єднання багатошарової структури може бути здійснено або

наскрізними перехідними отворами, або із застосуванням міжшарових переходів. Міжшарові переходи з зовнішніх шарів на внутрішні називаються глухими, а між внутрішніми шарами - прихованими.

Згідно ТЗ та схеми електричної принципової вибираємо ДДП для нашого пристрою. Такий вибір зроблений виходячи з аналізу типів ДП. У зв'язку з кількістю зв'язків між елементами і потребою в зменшенні габаритів ДВ використання ОДП не оптимальне. Також виходячи з тривалості технологічного циклу і підвищеної вартості виробництва не використовуємо БДП. Вибір ДДП дозволяє забезпечити необхідну точність, щільність монтажу, надійність і забезпечити мінімальну вартість.

1.2. Вибір матеріалу ДП

Від вибору матеріалу ДП буде напряму залежати працездатність та надійність електронного пристрою при раціональних економічних витратах у виробництві. При виборі враховують наступні аспекти:

- призначення електронної системи: технічні умови до виробу, очікуваний робочий ресурс, елементна база з характеристиками по швидкодії, вихідному опору, рівню робочих сигналів, напрузі живлення і т. д.;
- ремонтпридатність та можливість виконання заміни вузлів;
- навколишні умови при зберіганні та роботі;
- базові та допоміжні матеріали: обсяг можливих поставок, вартість, необхідність відбору за спеціальними вимогами.

При виробництві ДП застосовуються вітчизняні та імпорتنі матеріали різних виробників. Матеріали, що застосовуються в якості основи для ДП повинні мати: високі електроізоляційні властивості, достатню механічну міцність, бути стійкими до кліматичних впливів. Цим вимогам задовольняють електротехнічні матеріали: склотекстоліт, кераміка, фторопластова плівка, сапфір і ін..

Найбільш поширеним матеріалом для виробництва ДДП і БДП є FR-4. Стандартний FR-4 представляє собою композитивний матеріал на основі скловолокна (склотекстоліта). Застосування FR-4 дозволяє отримати отвори

високої якості, а це важливо для монтажу елементів в отвори.

Відмінною характеристикою даного матеріалу є:

- високе значення адгезії фольги до підкладки діелектрика під впливом високої температури;
- високий об'ємний та поверхневий електричний опір;
- висока температура склування і стабільність геометричних розмірів.

Таким чином, для реалізації ДДП обраний сучасний, з високими параметрами матеріал FR4-2-35-1,5. Даний матеріал є фольгованим склотекстолітом з підвищеною нагрівостійкістю, товщиною 1,5 мм, облицьований з двох сторін мідною електролітичною фольгою товщиною 35 мкм.

1.3. Метод виготовлення ДП

При виборі необхідного методу виготовлення були розглянуті такі методи:

- комбінований позитивний метод;
- хімічний субтрактивний метод.

Комбінований позитивний метод має ряд переваг:

- можливість відтворення всіх типів друкованих елементів з високою точністю;
- захищеність фольгою ізоляції від технологічних розчинів - хороша надійність ізоляції;
- хороша міцність зчеплення металевих елементів плати з діелектричним підставою.

Також цей метод має недоліки:

- відносно велика глибина травлення (фольга + металізація) створює бічне підтравлювання, що обмежує роздільну здатність процесу;
- після травлення малюнка схеми, металорезист освітлюють для поліпшення пайки, або видаляють і, після нанесення паяльної маски,

осаджують фінішні покриття під пайку. Обидва варіанти вимагають додаткових капітальних витрат і прямих витрат.

Вивчивши переваги, недоліки комбінованого методу і вимоги викладені в ТЗ, будемо використовувати комбінований позитивний метод.

1.4. Вибір класу точності

Точність виготовлення ДП залежить від комплексу технологічних параметрів і з практичної точки зору визначає основні параметри елементів ДП. В першу чергу це відноситься до мінімальної ширини провідників, мінімального зазору між елементами провідного малюнка і до ряду інших параметрів. ГОСТ 23571-86 передбачає п'ять класів точності ДП.

При конструкторсько-технологічному розрахунку необхідно використовувати граничні значення елементів друкованого монтажу з урахуванням похибки їх виконання. Необхідні граничні значення елементів друкованого монтажу і допустимі похибки наведені в таблицях 1 і 2.

Таблиця 1. Граничні значення основних параметрів ДМ

Параметр	Позначення	Клас точності			
		2	3	4	5
Ширина друкованого провідника, мм	$b_{\text{пр}}^r$	0,45	0,25	0,15	0,10
Відстань між елементами друкованого монтажу, мм	l_{Γ}	0,45	0,25	0,15	0,10
Гарантований поясок, мм	$b_{\text{по}}$	0,20	0,10	0,05	0,03
Відношення номінального діаметру найменшого з металізованих отворів до товщини друкованої плати, мм	$K_{\text{дт}}$	0,40	0,33	0,25	0,20

Таблиця 2. Допустимі похибки виконання елементів ДМ

Похибка	Позначення	Максимальне значення, мм
Зміщення провідників відносно ліній КС	$\delta_{\text{сп}}$	0,05
Розташування отворів (всіх) відносно вузлу КС	δ_o	0,07
Розташування КМ відносно вузлу КС	$\delta_{\text{км}}$	0,015(0,05)
Фотокопії та фотошаблону	$\delta_{\text{фф}}$	0,06
Розташування КМ відносно вузлу КС на фотошаблоні	$\delta_{\text{сш}}$	0,05

Випуск ДП другого і третього класів здійснюється на рядовому обладнанні, а іноді навіть на обладнанні, що не спеціалізоване для виготовлення ДП. Такі ДП, з невисокими конструктивними параметрами, призначені для недорогих пристроїв з малою щільністю монтажу.

ДП третього класу - найбільш поширені, оскільки, з одного боку, забезпечують досить високу щільність трасування і монтажу, а з іншого - для їх виробництва досить рядового, хоча і спеціалізованого устаткування.

ДП четвертого класу точності мають велику щільність монтажу та використовуються переважно для монтажу на них компонентів SMD-типу. ДП такого класу виготовляються на високоточному обладнанні та мають високі вимоги до матеріалу. Також такі ДП можуть похвалитися гарною надійністю.

Виготовлення ДП п'ятого класу точності вимагає застосування унікального високоточного обладнання, спеціальних (як правило, дорогих) матеріалів і навіть створення у виробничих приміщеннях "чистої зони". Таким вимогам відповідає далеко не кожне виробництво.

Для нашої ДП вибираємо четвертий клас точності, так як він забезпечує достатню щільність трасування і монтажу з урахуванням необхідних габаритів пристрою.

2. Конструкторсько-технологічний розрахунок елементів ДП

2.1. Визначення мінімальної ширини друкованого провідника по постійному струму для ланцюгів живлення та землі

Мінімальна ширина друкованого провідника по постійному струму b_{minI}

(мм) для ланцюгів живлення та “землі” визначається виразом 2.1.1:

$$b_{minI} = \frac{I_{max}}{j_{доп} \cdot t_{пров}}, (2.1.1)$$

де I_{max} - максимально можливий струм в ланцюгу,

$j_{доп}$ - допустима щільність струму для ДП, що виготовлені комбінованим позитивним методом, $j_{доп} = 48 \frac{A}{мм^2}$

$t_{пров}$ - товщина друкованого провідника, що визначається виразом (2.1.2), мм Друкований провідник виготовлено комбінованим позитивним методом. Згідно методу виготовлення:

$$t_{пров} = h_{ф} + h_{ГМ} + h_{ХМ}, (2.1.2)$$

де $h_{ф}$ - товщина фольги, залежить від матеріалу, $h_{ф} = 0,035$ мм.

$h_{ГМ}$ - товщина шару гальванічно осадженої міді, $h_{ГМ} = 0,055$ мм.

$h_{ХМ}$ - товщина шару хімічно осадженої міді, $h_{ХМ} = 0,0065$ мм.

$$t_{пров} = 0,035 + 0,055 + 0,0065 = 0,0965 \text{ мм}$$

Параметр I_{max} у виразі (2.1.1) визначається як сума струмів, що споживають всі активні елементи схеми. Значення струмів, що споживаються елементами схеми представлені в таблиці 3.

Таблиця 3. Струми, які споживають елементи схеми

IC	Кількість IC	$I_{спож}$, мА
74HC860	1	5,2
74HCT74PW	1	20
74ACO2M96	1	20
74HC10QDREP	4	$15 \cdot 4 = 60$
74ACO4F	2	$4 \cdot 2 = 8$
74AC191SC	4	$5,2 \cdot 4 = 20,8$
CD4061A	1	12

$$I_{max} = 5,2 + 20 + 20 + 60 + 8 + 20,8 + 12 = 146 \text{ мА}$$

Тоді мінімальна ширина друкованого провідника на постійному струмі для ланцюгів живлення та “землі” визначається наступним чином:

$$b_{minI} = \frac{I_{max}}{j_{доп} \cdot t_{пров}} = \frac{146 \cdot 10^{-3}}{48 \cdot 0,0965} = 0,03152 \text{ мм}$$

Отримане значення $b_{minI} = 0,03152$ мм мінімальної ширини провідника включає в себе значення обраного 4-го класу точності (0,15 мм). Таким чином, розраховане значення відповідає оптимальній ширині провідника на постійному струмі для ланцюгів живлення та “землі”. Але для зменшення шляху проходження струму до всіх елементів було вирішено використовувати полігони для ланцюгів живлення та “землі”.

2.2. Визначення мінімальної ширини провідника з урахуванням допустимого падіння напруги на ньому

Мінімальна ширина провідника з урахуванням допустимого падіння напруги на ньому, визначається наступним виразом (2.2.1):

$$b_{minU} = \frac{\rho \cdot I_{max} \cdot L_{пров}}{t_{пров} \cdot U_{доп}}, (2.2.1)$$

де ρ – питомий опір провідника, виготовленого комбінованим позитивним методом, $\rho = 0,0175 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$

$L_{пров}$ - довжина самого довгого друкованого провідника на ДП,

$$L_{пров} = 0,1252 \text{ м}$$

$U_{доп}$ - допустиме падіння напруги на друкованому провіднику,

$$U_{доп} = 0,05 \cdot E_{п} = 0,05 \cdot 5 = 0,25 \text{ В}$$

$$b_{minU} = \frac{\rho \cdot I_{max} \cdot L_{пров}}{t_{пров} \cdot U_{доп}} = \frac{0,0175 \cdot 146 \cdot 10^{-3} \cdot 0,1252}{0,0965 \cdot 0,25} = 13 \cdot 10^{-3} \text{ мм}$$

2.3. Визначення номінального діаметра монтажного отвору

$$d \geq d_{ве} + \Delta d_{МО} + r, (2.3.1)$$

де $d_{ве}$ – діаметр виводу елемента, для якого визначається діаметр монтажного отвору,

$\Delta d_{МО}$ – нижнє граничне відхилення від номінального діаметру МО,

r - різниця між мінімальним діаметром МО та максимальним діаметром виводу елемента, $r = 0,1 \dots 0,2$ мм. В цьому випадку виходить якісне заповнення МО при пайці та оптимальна вага самої пайки.

$$d \geq d_{ве} + \Delta d_{МО} + r = 0,59 + 0,1 + 0,2 = 0,89 \text{ мм (для ХР1, ХР2, ХР3)}$$

2.4. Визначення діаметра контактної майданчика

$$D_{min} = D_{min1} + 1,5h_{\phi} + 0,03, (2.4.1)$$

де D_{min1} - мінімальний ефективний діаметр КМ, мм

h_{ϕ} - товщина фольги, $h_{\phi} = 0,035$ мм. Коефіцієнт $1,5h_{\phi}$ враховує підтравлювання фольги друкованого провідника в ширину,
0,03 - значить що КМ виготовляють комбінованим позитивним методом.

$$D_{min1} = 2 \cdot (b_{по} + \frac{d_{max}}{2} + \delta_o + \delta_{км}), (2.4.2)$$

де d_{max} - максимальний діаметр просвердленого отвору в ДП, мм

$b_{по}$ - ширина пояса КМ, (див. табл. 1)

δ_o - похибка розташування центру отвору відносно вузла КС, (див. табл. 2)

$\delta_{км}$ - похибка розташування центру КМ відносно вузлу КС, (див. табл. 2)

Максимальний діаметр просвердленого отвору ДП:

$$d_{max} = d + \Delta d + (0,1 \dots 0,15), (2.4.3)$$

де d – номінальний діаметр МО,

Δd – допуск діаметра отвору, $\Delta d = 0,05$ мм.

Для ХР1, ХР2, ХР3:

$$d_{max} = 0,89 + 0,05 + 0,1 = 1,04 \text{ мм}$$

$$D_{min1} = 2 \cdot \left(0,05 + \frac{1,04}{2} + 0,07 + 0,05 \right) = 1,38 \text{ мм}$$

$$D_{min} = 1,38 + (1,5 \cdot 0,035) + 0,03 = 1,43 \text{ мм}$$

Максимальний діаметр КМ для ХР1, ХР2, ХР3:

$$D_{max} = D_{min} + 0,02 = 1,43 + 0,02 = 1,45 \text{ мм}$$

Для поверхневого монтажу елементів схеми розміри контактної майданчика були взяті з datascheers.

2.5. Визначення мінімальної ширини провідника

$$b_{min} = b_{пр}^r + 1,5h_{\phi} + 0,03, (2.5.1)$$

де $b_{пр}^r$ - мінімальна ширина провідника. Визначаємо з таблиці класів

точності (табл.1). Для четвертого класу точності ДМ $b_{\text{пр}}^r = 0,15$ мм.

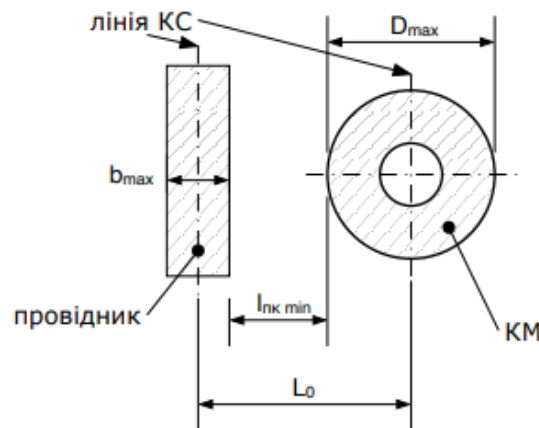
$$b_{\text{min}} = 0,15 + (1,5 \cdot 0,035) + 0,03 = 0,23 \text{ мм}$$

Максимальна ширина провідника:

$$b_{\text{max}} = b_{\text{min}} + 0,02, (2.5.2)$$

$$b_{\text{max}} = 0,23 + 0,02 = 0,25 \text{ мм}$$

2.6. Визначення мінімальної відстані між провідником і контактним майданчиком



$$l_{\text{ПКМ min}} = L_0 - \left(\frac{D_{\text{max}}}{2} + \delta_{\text{км}} + \frac{b_{\text{max}}}{2} + \delta_{\text{сп}} \right), (2.6.1)$$

де L_0 - відстань між центрами отвору та друкованого провідника, що є кратним кроку КС, $L_0 = 1,27$ мм

D_{max} - максимальний діаметер КМ,

b_{max} - максимальна ширина провідника,

$\delta_{\text{км}}$ - похибка розташування центру КМ відносно вузлу КС, $\delta_{\text{км}} = 0,05$ мм (табл. 2)

$\delta_{\text{сп}}$ - похибка, що враховує зміщення провідника, $\delta_{\text{сп}} = 0,05$ мм.

Для ХР1, ХР2, ХР3:

$$l_{\text{ПКМ min}} = 1,27 - \left(\frac{1,49}{2} + 0,05 + \frac{0,25}{2} + 0,05 \right) = 0,3 \text{ мм}$$

Для DD1...DD3:

$$l_{\text{ПКМ min}} = 1,27 - \left(\frac{0,82}{2} + 0,05 + \frac{0,25}{2} + 0,05 \right) = 0,62 \text{ мм}$$

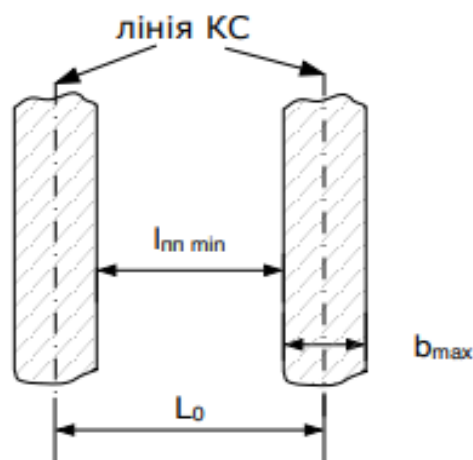
Для DD4...DD8:

$$l_{\text{ПКМ min}} = 1,27 - \left(\frac{0,79}{2} + 0,05 + \frac{0,25}{2} + 0,05 \right) = 0,65 \text{ мм}$$

Для DD9...DD13:

$$l_{\text{ПКМ min}} = 1,27 - \left(\frac{0,85}{2} + 0,05 + \frac{0,25}{2} + 0,05 \right) = 0,62 \text{ мм}$$

2.7. Визначення мінімальної відстані між двома сусідніми провідниками (між краями провідників)

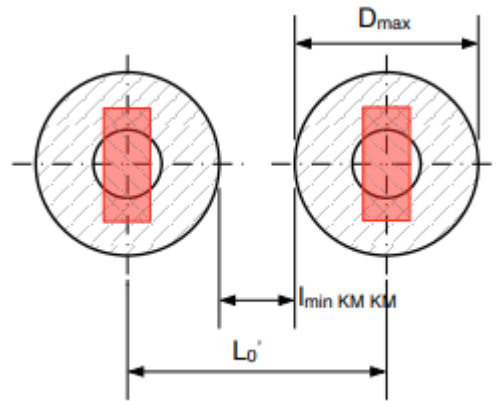


Так як планується проведення деяких провідників між КМ мікросхем, використаємо додаткову КС, тобто $L_0 = 0,635$ мм.

$$l_{\text{пп min}} = L_0 - (b_{\text{max}} + 2 \cdot \delta_{\text{сп}}), (2.7.1)$$

$$l_{\text{пп min}} = 0,635 - (0,25 + 2 \cdot 0,05) = 0,285 \text{ мм}$$

2.8. Визначення мінімальної відстані між двома контактними майданчиками



$$l_{\text{КМ min}} = L'_0 - (D_{max} + 2\delta_{\text{КМ}}), (2.8.1)$$

де L'_0 – відстань між центрами сусідніх КМ.

Для ХР1, ХР2, ХР3 ($L'_0 = 2,5$ мм):

$$l_{\text{КМ min}} = 2,5 - (1,49 + 2 \cdot 0,05) = 0,92 \text{ мм}$$

Для DD1...DD3 ($L'_0 = 1,27$ мм):

$$l_{\text{КМ min}} = 1,27 - (0,82 + 2 \cdot 0,05) = 0,35 \text{ мм}$$

Для DD4...DD8 ($L'_0 = 1,27$ мм):

$$l_{\text{КМ min}} = 1,27 - (0,79 + 2 \cdot 0,05) = 0,38 \text{ мм}$$

Для DD9...DD13 ($L'_0 = 1,27$ мм):

$$l_{\text{КМ min}} = 1,27 - (0,85 + 2 \cdot 0,05) = 0,32 \text{ мм}$$

Отже, отримане значення відповідає значенням обраного четвертого класу точності.

Висновок

Був виконаний вибір оптимальної друкованої плати, яка задовольняє наші вимоги. У пристрої буде використовуватися двостороння друкована плата, виготовлена з FR4-2-35-1,5, комбінованим позитивним методом. Для конструювання ДП вибрали 4-ий клас точності, так як він забезпечує достатню щільність трасування і монтажу з урахуванням необхідних габаритів пристрою. Виконали конструкторсько-технологічний розрахунок елементів ДП. Також були виконані перевірочні розрахунки, які підтвердили правильність вибору класу точності.