

Конструкторсько-технологічний розрахунок елементів друкованого монтажу.

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

Таблиця 1. Граничні значення основних параметрів ДМ

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

Таблиця 2. Допустимі похибки виконання елементів ДМ

Похибка	Обозначення	Максимальне значення, мм
Зміщення провідників відносно ліній КС	$\delta_{сп}$	0,05
Розташування отворів (всіх) відносно вузлу КС	δ_o	0,07
Розташування КМ відносно вузлу КС	$\delta_{км}$	0.015(0.05)
Фотокопії та фотошаблону	$\delta_{фф}$	0,06
Розташування КМ відносно вузлу КС на фотошаблоні	$\delta_{фш}$	0,05

1. Визначення мінімальної ширини друкованого провідника по постійному струмі для ланцюгів живлення та землі.

Мінімальна ширина друкованого провідника по постійному струму $b_{min I}$ (мм) для ланцюгів живлення та “землі” визначається виразом 1.1:

$$b_{min I} = \frac{I_{max}}{j_{доп} \cdot t_{пров}},$$

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

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

$t_{пров}$ - товщина друкованого провідника, що визначається виразом (1.2), мм

Друкований провідник виготовлено комбінованим позитивним методом. Згідно методу виготовлення:

$$t_{пров} = h_{ф} + h_{гм} + h_{хм},$$

де h_{ϕ} - товщина фольги та залежить від матеріалу, який ви вибрали для виготовлення друкованої плати. Ми з вами матеріал вибрали (розглядали, пам'ятаєте?) СФ-2-35-1.5 або FR4-2-35-1.5. Тобто у нашому випадку $h_{\phi} = 0.035\text{мм}$

$h_{\text{гм}}$ - товщина шару гальванічно осадженої міді, $h_{\text{гм}} = 0.055\text{мм}$

$h_{\text{хм}}$ - товщина шару хімічно осадженої міді, $h_{\text{хм}} = 0.0065\text{мм}$

$$t_{\text{пров}} = 0.035 + 0.055 + 0.007 = 0.097 \text{ мм}$$

Параметер I_{max} у виразі (1.1) визначається як сума струмів, що споживають всі активні елементи схеми. Значення струмів, що споживаються елементами моєї схеми (див. попередню практику), представлені в таблиці 3

Таблиця 3. Струми, що споживаються елементами схеми

IC	Кількість IC	$I_{\text{спож}}, \text{мА}$
K555IP27	2	$2 \times 28 = 56$
K572ПА1А	2	$2 \times 3 = 6$
K140УД6	1	4
K554СА3А	1	13,6
K561ТМ2	1	0,2
K142ЕН1А	1	4

В результаті

$$I_{\text{max}} = 56 + 6 + 4 + 13.6 + 0.2 + 4 = 83.8 \text{ мА}$$

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

$$b_{\text{minI}} = \frac{I_{\text{max}}}{j_{\text{доп}} \cdot t_{\text{пров}}} = \frac{83.8 \cdot 10^{-3}}{48 \cdot 0.097} = 0.018 \text{ мм}$$

Проаналізуйте згідно вибраного класу точності.

Отримане значення $b_{\text{minI}} = 0.018 \text{ мм}$ мінімальної ширини провідника 3 класу точності $b_{\text{прГ}} = 0.25 \text{ мм}$. Таким чином, оптимальна ширина провідника на постійному струмі для ланцюгів живлення та "землі" дорівнює **0.25 мм**.

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

Мінімальна ширина провідника з урахуванням допустимого падіння напруги на ньому визначається наступним виразом (2.1):

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

де ρ - питомий опір провідника, виготовленого комбінованим позитивним методом,

$$\rho = 0.0175 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2 / \text{м}$$

$L_{\text{пров}}$ - довжина самого довгого друкованого провідника на ДП (потрібно вибрати з креслення своєї ДП).

$U_{\text{доп}}$ - допустиме падіння на пруги на друкованому провіднику, $U_{\text{доп}} = 5\% \cdot E_{\text{п}}$

$$U_{\text{доп}} = 0.05 \cdot 13 = 0.65 \text{ В}$$

$$L_{\text{пров}} = 0.1 \text{ м}$$

$$b_{\text{min}U} = \frac{\rho \cdot I_{\text{max}} \cdot L_{\text{пров}}}{t_{\text{пров}} \cdot U_{\text{доп}}} = \frac{0.0175 \cdot 83.8 \cdot 10^{-3} \cdot 0.1}{0.097 \cdot 0.65} = 2.32 \cdot 10^{-3} \text{ мм}$$

3. Визначимо номінальний діаметр монтажного отвору.

$$d \geq d_{\text{ве}} + \Delta d_{\text{МО}} + r$$

де: $d_{\text{ве}}$ - діаметр виводу елемента, для якого визначається діаметр монтажного отвору

$\Delta d_{\text{МО}}$ - нижнє граничне відхилення від номінального діаметру МО, $\Delta d_{\text{МО}} = 0.1 \text{ мм}$

r - різниця між мінімальним діаметром МО та максимальним діаметром виводу елемента, $r = 0.1 \dots 0.2 \text{ мм}$. В цьому випадку виходить якісне заповнення МО при пайці та оптимальна вага самої пайки.

$$d \geq d_{\text{ве}} + \Delta d_{\text{МО}} + r = 0.5 + 0.1 + 0.2 = 0.8 \text{ мм}$$

4. Визначемо діаметр контактної майданчику.

$$D_{\text{min}} = D_{\text{min1}} + 1.5h_{\text{ф}} + 0.03,$$

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

$h_{\text{ф}}$ - товщина фольги, $h_{\text{ф}} = 0.035 \text{ мм}$. Коефіцієнт $1.5h_{\text{ф}}$ враховує підравлювання фольги друкованого провідника в ширину.

0.03 - КМ виготовляють комбінованим позитивним методом. Цю добавку ми розглядали на лекції.

$$D_{\text{min1}} = 2 \left(b_{\text{по}} + \frac{d_{\text{max}}}{2} + \delta_{\text{o}} + \delta_{\text{КМ}} \right)$$

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

$b_{\text{по}}$ - ширина пояса КМ, $b_{\text{по}} = 0.1 \text{ мм}$ (табл. 1)

δ_{o} - похибка розташування центру отвору відносно вузла КС, $\delta_{\text{o}} = 0.07 \text{ мм}$ (табл. 2)

$\delta_{\text{КМ}}$ - похибка розташування центру КМ відносно вузлу КС, $\delta_{\text{КМ}} = 0.05 \text{ мм}$ (табл. 2)

Максимальний діаметр просвердленого отвору ДП:

$$d_{\text{max}} = d + \Delta d + (0.1 \dots 0.15),$$

де: d - номінальний діаметр МО, мм

Δd - допуск на діаметр отвору, $\Delta d = 0.05 \text{ мм}$

$$d_{\text{max}} = d + \Delta d + (0.1 \dots 0.15) = 0.8 + 0.05 + 0.1 = 0.95 \text{ мм}$$

$$D_{\min 1} = 2 \left(b_{\text{по}} + \frac{d_{\max}}{2} + \delta_o + \delta_{\text{КМ}} \right) = 2 \left(0.1 + \frac{0.95}{2} + 0.07 + 0.05 \right) = 1.4 \text{ мм}$$

$$D_{\min} = D_{\min 1} + 1.5h_{\phi} + 0.03 = 1.4 + 1.5 \cdot 0.035 + 0.03 = 1.48 \text{ мм}$$

Нас цікавить **максимальний діаметер КМ**:

$$D_{\max} = D_{\min} + 0.02$$

$$D_{\max} = 1.48 + 0.02 = 1.5 \text{ мм}$$

5. Визначемо **мінімальну ширину провідника**:

$$b_{\min} = b_{\text{пр}}^r + 1.5h_{\phi} + 0.03$$

де: $b_{\text{пр}}^r$ - мінімальна ширина провідника. Визначаємо з таблиці класів точності (табл. 1). Для третього класу точності ДМ $b_{\text{пр}}^r = 0.25 \text{ мм}$

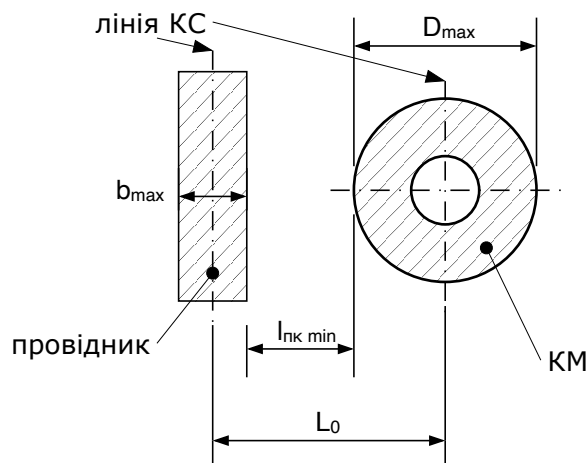
$$b_{\min} = b_{\text{пр}}^r + 1.5h_{\phi} + 0.03 = 0.25 + 1.5 \cdot 0.035 + 0.03 = 0.33 \text{ мм}$$

Нас цікавить **максимальна ширина провідника**:

$$b_{\max} = b_{\min} + 0.02$$

$$b_{\max} = 0.33 + 0.02 = 0.35 \text{ мм}$$

6. Визначимо **мінімальну відстань між провідником та контактним майданчиком**.



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

де: L_0 - відстань між центрами отвору та друкованого провідника, що є кратним кроку КС:

$L_0 = 1.25 \text{ мм}$ (це є найгіршим випадком)

D_{\max} - максимальний діаметер КМ

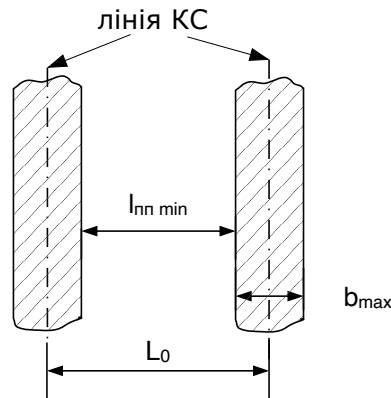
b_{\max} - максимальна ширина провідника

$\delta_{\text{КМ}}$ - похибка розташування центру КМ відносно вузлу КС, $\delta_{\text{КМ}} = 0.05 \text{ мм}$ (табл. 2)

$\delta_{\text{сп}}$ - похибка, що враховує зміщення провідника, $\delta_{\text{сп}} = 0.05 \text{ мм}$

$$l_{\text{ПКМ min}} = L_0 - \left(\frac{D_{\text{max}}}{2} + \delta_{\text{КМ}} + \frac{b_{\text{max}}}{2} + \delta_{\text{сп}} \right) = 1.25 - \left(\frac{1.5}{2} + 0.05 + \frac{0.35}{2} + 0.05 \right) = 0.225 \text{ мм}$$

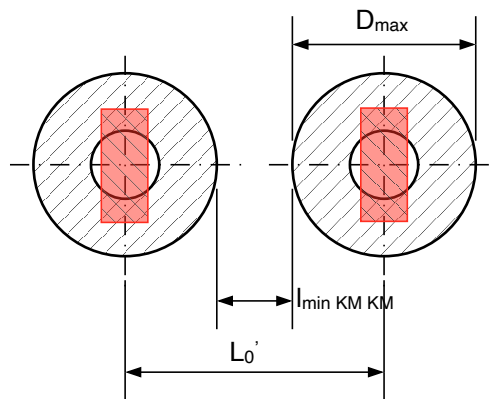
7. Визначимо **мінімальну відстань між двома сусідніми провідниками** (між краями провідників):



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

$$l_{\text{пп min}} = L_0 - (b_{\text{max}} + 2\delta_{\text{сп}}) = 1.25 - (0.35 + 2 \cdot 0.05) = 0.8 \text{ мм}$$

8. Визначимо **мінімальну відстань між двома контактними майданчиками**



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

де: L'_0 - відстань між центрами сусідніх КМ, $L'_0 = 2.5 \text{ мм}$.

$$l_{\text{minКМ КМ}} = L'_0 - (D_{\text{max}} + 2\delta_{\text{КМ}}) = 2.5 - (1.5 + 2 \cdot 0.05) = 0.9 \text{ мм}.$$

Покажіть, що між двома КМ можна провести провідник для третього класу точності друкованого монтажу.

Домашнє завдання

1. Вибрати тип та матеріал ДП (див. методичні вказівки)
2. Вибрати клас точності ДП.
3. Обоснувати метод виготовлення ДП
4. Виконати конструкторсько-технологічний розрахунок елементів ДМ.
5. Виконати повірочні розрахунки, та впевнитися, що отримані елементи друкованого монтажу відповідають вибраному класу точності