

## Топологічне конструювання ДП

При конструюванні ДП необхідно визначити (оцінити) місце ДВ у всій конструкції ЕОА. При цьому ретельно аналізується:

1. Класифікація ЕОА по відношенню до впливів (що впливає на ЕОА):
  - Призначення розробляемого ДВ (в ТЗ є розділ “призначення”)
  - місце встановлення (об’єкт установки), умови експлуатації
  - кліматичні, механічні, електричні - величини, характер впливів, діапазон (ці дані є в ТЗ на виріб)
2. Аналіз схеми (що впливає всередині пристрою, між ДВ):
  - особливості та характер взідного та вихідного сигналів -  $U_{вх}$ ,  $U_{вих}$ ,  $f_{такт}$ ,  $\tau_{зат}$ ,  $\tau_0$ , параметри пристрою.
  - внутрішні джерела нестабільності роботи схеми
  - величина напруги живлення; кількість джерел живлення
  - шляхи можливих паразитних зв’язків та наведень
  - наявність невказаних на схемі КЕ (контрольні гнізда, екран, та ін.)
  - координати центру ваги ДВ (стійкість до механічним впливів) та багато іншого

Перш ніж приступити до конструювання конкретної друкованої плати, необхідно вирішити ряд конструкторських та технологічних питань, від яких багато в чому залежить, які визідні дані повинні вводитися до програми проектування друкованої плати, Частина параметрів регламентована державними стандартами та визначається рівнем виробництва, при цьому більшість параметрів ДП встановлюється або розраховується для кожного конкретного проекту. Однак деякі проектувальники воліють при розробці друкованих плат користуватися визначеним набором усереднених параметрів, що помітно спрощує розробку, але не завжди забезпечує високі компонувальні характеристики пристрою.

При цьому при конструюванні ДП використовуються чотири головних критерія:

1. Габаритний критерій
2. Критерій точності ДП.
3. Критерій матеріалу основи.
4. Критерій кількості шарів.

Також враховуються допоміжні критерії - електричні обмеження по паразитним параметрам, теплові обмеження, обмеження по вазі та ін.

### Вибір габаритних розмірів плат.

Габаритні розміри ДП зв’язані з розбиттям електричної схеми пристрою на функціонально закінчені частини, тобто числом елементів на платі та кроком їх розташування.

- Максимальний розмір сторін ДП, як ОДП та і ДДП має багато обмежень (фотошаблони, гальванічні вані, прес обладнання, ...) не повинен перевищувати **470мм**.
- На практиці зазвичай ДП зі стороною до 100 товщин матеріалу діелектрика виготовляють без додаткових деталей, що підвищують їх жорсткість. Чим більше розмірів ДП, тим більше деформації під час механічних впливів. Вітчизняні виробники випускають ДП розміром **545x450мм**, а БДП - **600x600мм**.
- Співвідношення розмірів сторін ДП для спрозення компонування вузлів та уніфікації розмірів ДП рекомендується вибирати **1:1, 2:1, ...** але **небільше 4:1**. Розмір кожної сторони ДП повинен бути кратним **2.5мм** при довжині **100мм**, **5мм** при довжині **350мм**, **10мм** при довжині більше **350мм**.
- З ціллю максимального використання фізичного об’єму конструкції ЕОА та спрощення її виготовлення доцільно розробляти ДП прямокутної форми.

Габаритні розміри ДП не перевищують встановлених значень для наступних типів:

**Класифікація ДП по габаритам:**

- особливо малогабаритні: до **60х90мм**
- малогабаритні: до **120х180мм**
- середньо-габаритні: до **200х240мм**
- крупно-габаритні: до **240х360мм**
- БДП: **200х240мм**

**Габаритний критерій**

Для кожного конкретного пристрою розміри ДП залежать від конструкції, що також диктує і форму плати, точки кріплення, заборонені зони на встановлення компонентів та на прокладання друкованих провідників.

Тому підхід проектування, коли визначається площа ДП, на якій можна фізично розмістити необхідну кількість ЕРЕ, а потім компонуються пристрій в уілому - рахується нормальним. Далі розробляється корпус, вибираються елементи кріплення, місця розташування роз'ємів і т.д. і тільки після цього всього конструюється ДП. Цикл довготривалий і трудомісткий, але він забезпечує високі показники виробу.

Використовуються стандарти на розміри ДП в дюймовій та метричній системі МЕК 917 (IEC 917-2-2)

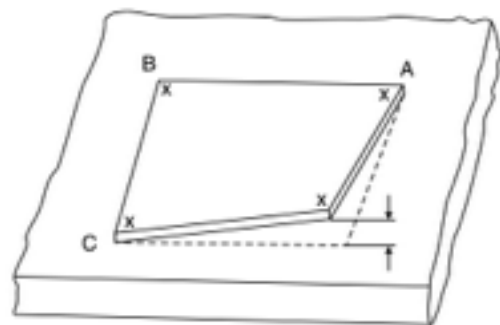
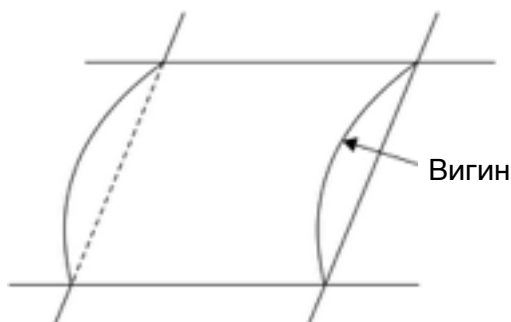
Є ряд вітчизняних стандартів, що також містять дані про розміри ДП та несучих конструкцій, причому окремі типорозміри плат співпадають з приведеними стандартами (ОСТ 4.010.020-83 Плати друковані. Основні розміри.)

Більш номенклатуру розмірів ДП містить ГОСТ 26.767.12 - 86. Слід відмітити, що в цьому стандарті суворої системи розмірів немає.

**ДП малого розміру** з рекомендованого ряду вигідно поєднують такі переваги:

1. Малі деформації ДП (зміна форми)
2. Хороший теплообмін в центрі ДП
3. Висока ремонтпридатність

*Слід зауважити, що переваги малих ДП є недоліками великий ДП*



скручування

Деформації друкованих плат виникають в наслідок шарової структури основи ДП, яка змінює свої розміри при нагріві та охолоджені. Зрозуміло, що чим більше розміри ДП, тим більше деформації, тим більше небезпека обриву провідників, обрив паяних контактів при температурних впливах.

**Температурні деформації ДП** відносять до повільно діючим механічним впливам.

Величина вигину ОДП та ДДП зі співвідношенням сторін  $1:2 = 1.5\text{мм}$  та  $1:4 = 2\text{мм}$  на 100мм довжини (максимальна довжина > 400мм тому великі зміни лінійних розмірів).

**Погіршення теплообміну** з центру ДП спостерігається зі збільшенням розмірів ДП. Це визвано збільшенням шляху теплостоку до краю ДП, де виконується основний контакт ДП з корпусом блоку.

**Ремонтопридатність** великих по розміру ДП пов'язана з утрудненням пошуку несправностей, а при *агрегатному* ремонті (заміна ДВ, що вийшли з ладу) - достатньо висока вартість (*в наш час в основному агрегатний ремонт*).

З вище сказаного неможна робити висновок, що великі по розміру ДП можна замінити декількома малими, тому що в цьому випадку явно проявляються два негативні моменти:

1. Збільшується число роз'ємних з'єднань, число міжблочних з'єднань, паяних, зварних з'єднань і т.д., що неминуче веде до зменшення надійності (*пам'ятаєте інтенсивність відмови роз'ємів та паяних з'єднань?*).
2. Потребує більше арматури кріплення, ускладнюється складання, збільшується вага.

Тому в технічно обґрунтованих випадках рекомендовані типорозміри ДП допускають збільшення сторін або однієї зі сторін. В останній час усе особливо очевидно, коли на ДП збираються функціонально закінчені вузли (ПК).

Таким чином у загальному випадку типорозміри ДП вибираються виходячи з **двох вимог: функціональної та технологічної**.

**Функціональна вимога** визначається щільністю монтажу  $N^{\text{пров}}/\text{см}^2$ , що залежить від розмірів ДП, розмірів корпусів ІС та їх кількістю, складністю схеми.

**Технологічна вимога** визначається обмеженням типорозмірів з точки зору технологічних можливостей виробництва, фотолітографії, механічної міцності.

**Таким чином**, виходячи з вимог на габаритні розміри виробу, вказаних в ТЗ, орієнтовно визначають типорозмір ДП для ДВ - КЕ першого ієрархічного рівня. При цьому бажано використовувати уніфікований ряд розмірів ДП (ОСТ 4.010.020-83 Плати друковані. Основні розміри).

Основні розміри ДП (Н - висота та В - ширина) вибираються зі стандарту **МЕК 297** (ІЕС 297-3) на дюймові конструкції та метричний: **МЕК 917** (ІЕС 917-2-2), що замінює дюймовий. Ці стандарти встановлюють типорозміри так званих **европлат**. Кількість можливих значень розмірів та їх поєднання багатоманітне.

До 100мм можна приміняти будь-які розміри кратні 2.5мм; до 350мм - кратні 5мм та вище 350мм кратні 10мм. Однак найбільший розмір повинен бути не більше 470мм в будь-якому напрямлені. Встановлюється також обмеження на співвідношення сторін - не більше 1:4.

Вихідним типорозміром прийнято  $H \times B = 100 \times 100\text{мм}$ . Висота 100мм відповідає висоті передньої панелі блоку або комплектного корпусу - 132.5мм.

*В останні роки широке розповсюдження отримали типорозміри европлат **100x160 (С)** та **233.4x160мм (F)**.*

Розвиток типорозмірів ДП в основному відбувається за рахунок зміни розміру В, що дозволяє їх використовувати в одному типорозмірі блоку.

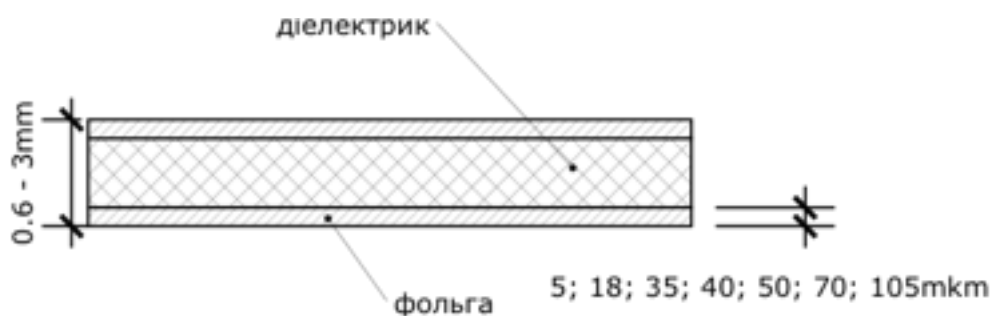
Наприклад **Intel Corp** використовує ДП 305x171мм  $S = 521\text{cm}^2$ ; 305x216мм  $S = 659\text{cm}^2$ ; 305x271мм  $S = 837\text{cm}^2$ .

Таким чином пункти 1-3 характеризують габаритний критерій вибору конструкції ДП.

### Критерій. Матеріал основи.

Фізико-механічні властивості матеріалів повинні задовольняти вимогам, що встановлені ТУ та забезпечувати виготовлення ДП у відповідності до типових техпроцесів.

1. Для виготовлення ДП використовують шаруваті пластики та литі діелектрики плаковані (фольговані) електролітичною мідною фольгою **товщиною 5; 18; 35; 40; 50 мкм**. Чистота міді не менше **99.5%**, а **шерехатість** поверхні не хуже **0.4мкм**. Фольговані діелектрики виготовляються у вигляді листів товщиною **0.6 - 3мм**.



2. Шаруваті пластики повині володіти високою хімічною та термічною стійкістю з малим волого-поглинанням (**0.2 - 0.8%**), витримувати температуру до **260 °C** на протязі **5-20с** (температура пайки до 300 °C).

3. Поверхневий опір діелектриків при 40 °C та відносній вологості 93% на протязі 4 діб повинно бути **не менше  $10^4 \text{M}\Omega\text{m}$** . Питомий опір діелектриків повинен бути **не менше  $5 \cdot 10^{11} \Omega\text{m} \cdot \text{cm}$** .

4. Висока міцність сцеплення фольги з основою: **полоска шириною 3мм від 12 до 15МПа**.

5. Термостійкість матеріалу **протягом 1000 год**.

6. Діапазон робочих температур: **-60 °C ... +150 °C**.

В якості основи в шаруватих пластиках використовується **гетинакс**, що являє собою спресовані шари електроізоляційної бумаги, які пропитані фенольною смолою.

**Склотекстоліти**, що являють собою спресовані шари склотканини, які пропитані епоксіфенольною смолою.

В якості матеріалів основи ДП використовують листові електротехнічні та листові фольговані матеріали, кераміку, гнучку фторопластову плівку.

найбільше розповсюдження при виготовленні ДП в ЕОА отримав фольговий склотекстоліт, інколи, гетинакс.

Фольговий склотекстоліт представляє собою пластик, виготовлений з склотканин та облицьований з однієї чи з обох сторін мідною фольгою.

Основні матеріали для виготовлення ДП наведені в таблиці.

Матеріал	Марка	Товщина		Тип ДП
		Фольги, мкм	Матеріалу, мм	
Гетинакс фольговий	ГФ-1-35(50) ГФ-2-35(50) ГОСТ 10316-78	35(50)	1-3	ОДП, ДДП
Склотекстоліт фольговий	СФ-1-35(50) СФ-2-35(50) ГОСТ 10316-78	35(50)	0.5-3	ОДП, ДДП
Склотекстоліт фольговий підвищеної теплостійкості	СФПН-2(1)-35(50)	35(50)	1-1.5	ДДП
Склотекстоліт теплостійкий фольговий	СТФ-1(2)	35	0.13-3	ДДП, БДП, ГДП
Діелектрик фольговий для БДП	ФДМ-1(2)	5, 18 -внутр. 35 - зовн.	0.25-0.35	БДП, ГДП
Діелектрик гнучкий фольговий	ФДГ	35(50)	0.06-0.12	ГДП
Фторопласт фольговий	ФФ-1	50	1.5-4.5	ОДП
Кераміка алюмооксидна	22ХС		0.2-2.0	ОДП, ДДП, БДП
Алюміній армований плівкою				ДДП

Таким чином, матеріали, що використовуються в якості основи для ДП повинні мати високі електроізоляційні властивості, достатню механічну міцність і бути стійкими до кліматичних впливів. Цим критеріям відповідають електротехнічні матеріали:

- склотекстоліт
- кераміка
- гнучка фторопластова плівка
- сітал
- сапфір та ін.

**Шаруваті пластики.** В наш час встановилися такі категорії (індекси) шаруватих матеріалів: **FR** (*Flame Resistant* - опірність до займання), **G**.

Матеріали з індексом FR-1 володіють найбільшою горючістю, а FR-5 найменшою. Матеріал G-10 та G-11 володіють особливими характеристиками.

Параметри матеріалів ДП з категоріями FR та G наведено в таблиці.

Категорія	Компоненти	Коментар
FR-1	Папір, фенольна композиція	Пресування та штамповка при кімнатній температурі. Високий коефіцієнт гігроскопічності
FR-2		Можливе використання для односторонніх друкованих плат побутової техніки. Невисокий коефіцієнт гігроскопічності
FR-3	Папір, епоксидна композиція	Розробки з хорошими механічними та електричними характеристиками
FR-4	Склотканина, епоксидна композиція	Прекрасні механічні та електричні властивості
FR-5		Висока температурна міцність при підвищених температурах. Відсутність займання.
G-10		Високі ізоляційні властивості. Найбільш висока міцність склотканини. Низький коефіцієнт гігроскопічності.
G-11		Висока міцність на вигин при підвищених температурах, висока опірність розчинникам.

*Не використовуйте друковану плату категорії **FR1**. Є багато прикладів використання друкованих плат **FR1**, на яких є ушкодження від теплового впливу потужних компонентів. Друковані плати цієї категорії більш схожі на картон.*

**FR4** часто використовують при виготовленні промислового обладнання, в той час як **FR2** використовується у виробництві побутової техніки. Ці дві категорії стандартизовані в промисловості, а друковані плати **FR2** та **FR4** часто підходять для більшості задач. Але інколи неідеальність характеристик цих категорій змушує використовувати інші матеріали. Наприклад, для понад-високочастотних задач (пристроїв) в якості матеріалу друкованих плат використовується фторопласт та навіть кераміка. Однак, чим екзотичніше матеріал ДП, тим вище може бути ціна.

При виборі матеріалу друкованої плати звертайте особливу увагу на його **гігроскопічність**, оскільки цей параметр може надати сильний негативний ефект на бажані характеристики плати - поверхневий опір витоків, високовольні ізоляційні властивості (пробої та іскрення) та механічну міцність. Також звертайте увагу на **робочу температуру**. Ділянки з високою температурою можуть зустрічатися в несподіваних місцях, наприклад, поряд з ВІС, перемикачів яких виконується на високій частоті. Якщо такі ділянки розташовані безпосередньо під аналоговими компонентами, підвищення температури може позначитися на зміні характеристик аналогової схеми.

Після того як матеріал друкованої плати вибраний, необхідно визначити товщину фольги друкованої плати. Цей параметр в першу чергу вибирається виходячи з максимальної величини викликаного струму. По можливості необхідно уникати використання дуже тонкої фольги.

**Товщина фольги:** 5; 18; 35; 40; 50; 70; 105 мкм

Цей параметр в першу чергу вибирається виходячи з максимальної величини протікаючого струму. По можливості потрібно уникати використання дуже тонкої фольги.

**Товщина ДП** вибирається з наступного ряду значень: 0.8; 1.0; 1.5; 2.0; 2.5; 3.0 мм

**Гнучкі ДП:** 0.1 - 0.5 мм

У вітчизняній практиці найбільше розповсюдження отримала товщина 1.0мм та 1.5мм, що допускає отримання металізованих отворів в основі відповідно 0.32мм та 0.48мм (мінімальний допустимий діаметр). Якщо товщину ДП вибирають з точки зору жорсткості друкованого вузлу, то потрібно враховувати, що жорсткість пропорційна товщині в кубі.

ГФ - X - YY - ZZ

- X - кількість шарів
- YY - товщина фольги, мкм
- ZZ - товщина ДП, мм

Для виготовлення ДДП вибираємо **СФ2 - 35 - 1.5 ГОСТ 10316-78** або **FR402 - 35 - 1.5**

Товщина ОДП та ДДП напряму залежить від матеріалу, що використовується. Цей матеріал вибирається конструктором з міркувань механічної міцності та жорсткості. Якщо вихідним матеріалом є фольговий діелектрик, то товщина ДП визначається саме нам.

Основні імпорتنі матеріали для виготовлення ДП та БДП представлено в таблиці.

Марка	Коментар	Товщина, мм	
		підкладки	фольги
<b>Izola Duraver-E-CU 104</b>	Скллотекстоліт фольговий. Тип FR4.	0.860	0.018 - 0.035
		0.510	
		0.460	
		0.250	
		0.200	
		0.150	
		0.125	
<b>Izola Duraver-E-104-ML Prepreg 1080 05 AT 01</b>	Скллотканина прокладна. Тип FR4	0.063	-

Матеріали відомих фірм: Izola (Німечина), Молдавізоліт (Молдова, м.Тираспіль), Мосізоліт (Московський завод ізоляційних матеріалів) та ін. Ці підприємства пропонують FR4 товщиною від 0.8 до 3.2мм.

#### Висновок.

Вибір конструкції ДП є важливим фактором, що визначає механічні характеристики пристрою в цілому. Для виготовлення ДП використовують матеріали різного рівня якості. Потрібно знати основні параметри матеріалу: питомий опір та діелектричну постійну.

## Метал як основа ДП.

Інтерес до заміни традиційного склотекстоліту листовим металом помітно виріс останнім часом. Листовий метал як основа ДП - сплав алюмінію, міді, вуглецевої сталі. Плата товщиною 0.8мм представляє собою лист металу товщиною 0.5мм з полімерною плівкою, товщиною 0.15мм, що накатана з обох сторін.

Використання металевої основи дозволяє значно збільшити теплопровідність ДП при значному збільшенні виділяємої потужності елементами схеми. Якщо тепловий опір ДП зробити достатньо малим, то охолодження можна виконувати методом теплопровідності, тому що вдається отримати малий тепловий опір на шляху ДП - корпус пристрою.

Теплопровідність матеріалів основи ДП

Матеріали	Мідь	Алюміній	Сталь низьковуглецева	Склотекстоліт
Теплопровідність, Вт/мК	320	200	50	0.2

З таблиці слідує, що теплопровідність склотекстоліту дуже мала - в 1000 разів нижче ніж у алюмінію та майже в 2000 разів менше ніж у міді.

По цій причині в ДП з склотекстоліту тепловий потік в основному розповсюджується по металу провідного рисунку. Тому, щоб збільшити  $R_T$  провідного рисунку, спеціально міняють його форму та сам рисунок. Так що він грає роль тепловідвідних шин (згадайте посадкове місце для SOT-89 - корпусу для транзисторів поверхневого монтажу). При цьому елементи за допомогою теплопровідної мастики кріпляться до цих шин або припаюються.

Тому радикальним методом зниження  $R_T$  є заміна склотекстоліту основи на алюмінієвий (металевий) сплав. При цьому  $R_T$  зменшується в 3-4 рази.

Металева система тепловідводу (металічна основа) забезпечує працездатність ЕОА в температурному -55 - +95 С.

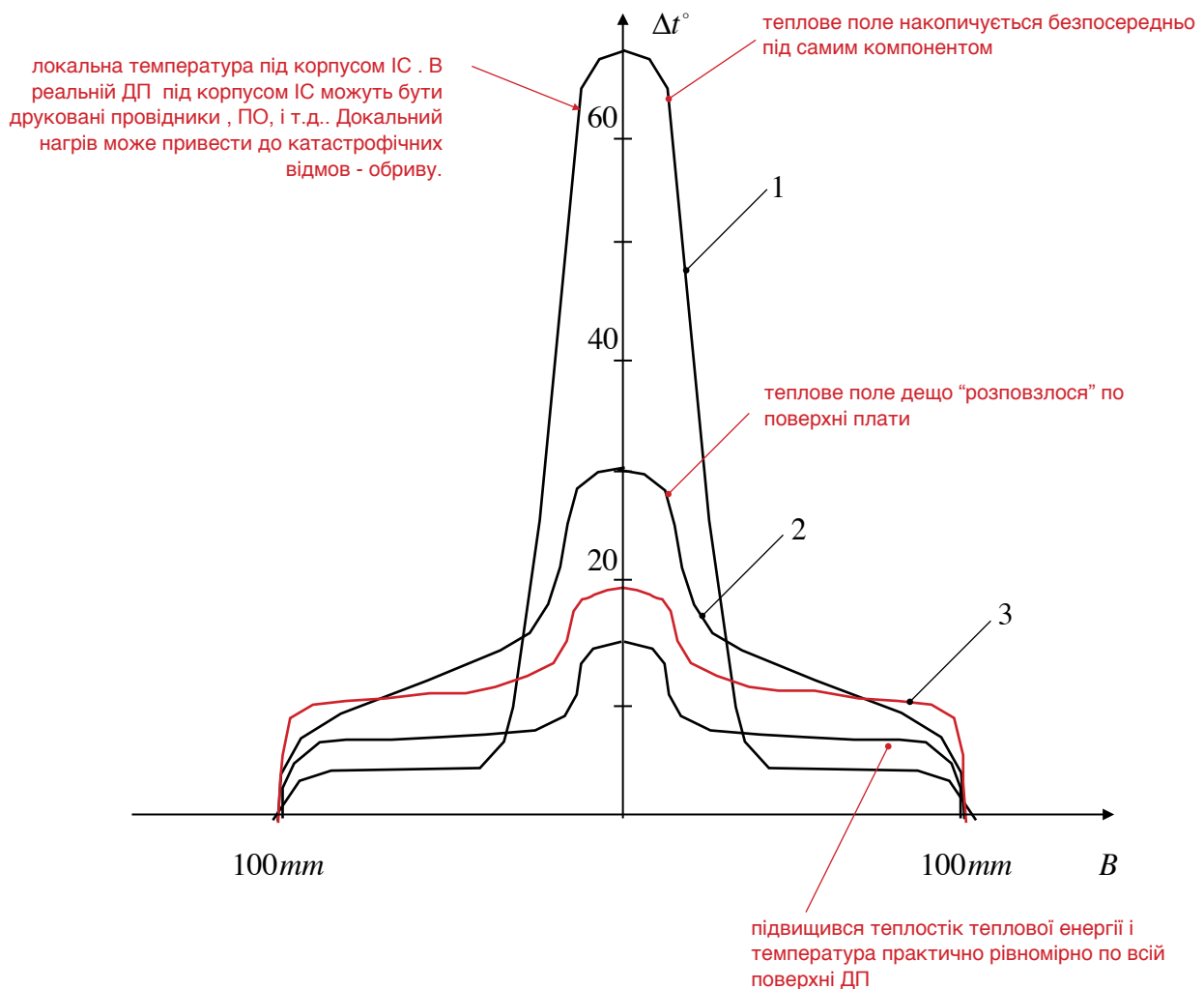
Згадайте - кожен ДВ знаходиться в металевому корпусі, що збільшує жорсткість та служить тепловідводом.

Плати з металу та з металевим корпусом збільшують питоме розсіювання потужності в 13 разів по зрівнянню з платами з склотекстоліту. Це означає, що на такій платі можна розташувати набагато більше тепловідводящих елементів схеми не використовуючи радіатори а також виключити примусове повітряне охолодження.

(Л.Н.Преснухин, В.А.Шахнов. Конструирование электронных машин и систем)



Розподілення теплового поля по ширині ДП від точкового джерела в залежності від матеріалу основи.



- 1 - склотекстоліт
- 2 - сталь
- 3 - алюмінієвий сплав

Розподілення  $\Delta t^{\circ}$ :

1. Висока температура сконцентрована біля джерела, а решта поверхні має низьку температуру
2. Температура дещо збільшилася по всій поверхні ДП, але чітко виражений максимум ще присутній
3. Температура практично рівномірно розподілена по всій поверхні ДП, при цьому температура ДП нижче, чим у другому випадку.

## Критерій точності друкованого монтажу

Точність виготовлення друкованої плати залежить від комплексу технологічних характеристик та з практичної точки зору визначає основні параметри елементів друкованої плати (друкованого монтажу).

Згідно ГОСТ 23.751-86 передбачено п'ять класів точності друкованої плати. В конструкторській документації на ДП повинно бути вказано відповідний клас, що обумовлений тільки рівнем технологічного оснащення виробництва. Тому вибір класу точності завжди пов'язаний з конкретним виробництвом. *Спроба вирішити цю задачу в зворотньому порядку може призвести до того, що Ваш проект не буде реалізований.*

Параметер	Клас точності				
	1	2	3	4	5
Ширина друкованого провідника $b_{\text{пр}}$ , мм	0.75	0.45	0.25	0.15	0.10
Відстань $S$ між краями сусідніх елементів провідного рисунку, мм	0.75	0.45	0.25	0.15	0.10
Гарантований поясок $b_{\text{по}}$ , мм	0.30	0.20	0.10	0.05	0.03
Відношення $f_{\text{дт}}$ номінального діаметру найменшого з металізованих отворів до товщини друкованої плати, мм	0.40	0.40	0.33	0.25	0.20
Щільність монтажу	мала	середня	середня	висока	висока

Виготовлення ДП п'ятого класу потребує використання унікального високоточного устаткування, спеціальних (як правило, коштовних) матеріалів, безумовної фотоплівки і навіть створення в виробничих приміщеннях "чистої зони" з термостатуванням. Такі вимоги відповідають далеко не кожному виробництву. Але ДП невеликого розміру можуть виконуватися по п'ятому класу на устаткуванні, що забузпучує виробництво плат четвертого класу. Комплексно вирішити всі ці проблеми вдається тільки на реальному виробництві.

ДП четвертого класу випускаються на високоточному устаткуванні, але вимоги до матеріалів, обладнання та приміщень нижче ніж для п'ятого класу.

Друковані плати третього класу найбільш розповсюджені, оскільки з однієї сторони забезпечується достатньо висока щільність трасування та монтажу, а з іншої для їх виробництва потребується звичайне спеціалізоване обладнання.

Для викреслювання взаємного розташування друкованих провідників, елементів монтажу (КМ, МО, ПО) **використовують** координатну сітку **КС** в прямокутній системі координат з кроком **2.5мм** (основний), **1.5мм** (додатковий), **0.625** (для особливо малих елементів). Всі отвори, в тому числі і для кріплення розташовуються в узлах КС, тобто необхідна заготовка креслення ДП з КС.

Часто схемотехнічне проектування, а відповідно і тезнічне проектування, виконується на імпорتنій елементній базі. За кордоном принята інша класифікація ДП по рівню точності.

Параметер	Рівень					
	0	1	2	3	4	5
Ширина провідника та зазор, мм	0.20	0.15	0.10	0.08	0.05	0.05
Крок проектування, мм (зовнішні шари)	1.25	0.63	0.63	0.50	0.50	0.25
Крок проектування, мм (внутрішні шари)	0.63	0.63	1.00	1.00	0.50	0.25
Крок виводів, мм (планарні)	0.63	0.50	0.50	0.50	0.25	0.25
Крок виводів, мм (матричні)	2.50	1.25	1.00	1.00	0.50	0.50

Тут регламентуються не тільки конструктивні параметри, але й крок трасування, що фактично зв'язує рівень виробництва з параметрами друкованих плат та ступінь інтеграції елементної бази.

Вибраний клас точності необхідно перевірити на нормі допустимих робочих напруг для провідників, що лежать в одній площині, а також по щільності струму (з розрахунку граничної допустимої щільності струму в друкованому провіднику  $20 \text{ A/mm}^2$  та допустимим втратам на постійному струмі.

### Критерій кількості шарів.

Вибір конструктором кількості шарів означає вибір між ОДП, ДДП та БДП для конкретної поставленої перед ним задачі. Можливості трасування ростуть вздовж ряду **ОДП-ДДП-БДП**, але зростає і працемісткість та економічні затрати. При цьому слід враховувати, що на мікромініатюризацію ЕОА впливає не тільки сучасна SMD елемента база, але й малогабаритні БДП.

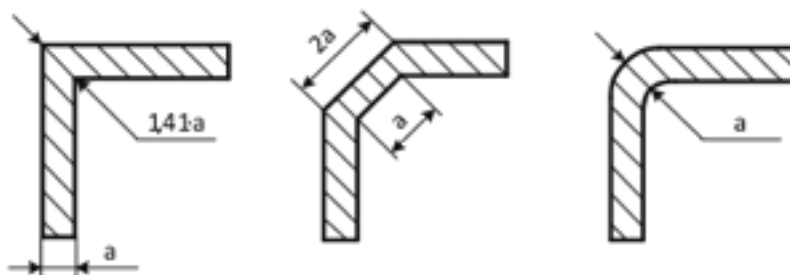
Таким чином, вибір числа шарів ДП в кожному конкретному випадку вконує конструктор з точки зору технологічності конструкції та вище зазначених особливостей.

## Рекомендації по конструюванню ДП

Правила конструювання ДП розроблені стандартами, що керуються технічними матеріалами і т.д. Враховуючи те що при курсовому та дипломному проектуванні основну працемісткість складає розробка друкованої плати та друкованого вузлу, нижче наведені основні оз цих правил:

- площа монтажного простору визначається кількістю розміщуваних компонентів, їх габаритними розмірами, кроком розташування по координатним вісям.
- співвідношення розмірів сорін плати для спрозення розміщення елементів рекомендується: 1:1, 2:1, 3:1, ....
- з ціллю максимального використання монтажного простору та спрощення її виготовлення доцільно розробляти ДП прямокутної форми
- вибір матеріалу ДП та методів її виготовлення суттєво впливає на конструкторсько-технологічні, електричні, експлуатаційні та тезніко-економічні характеристики розроблюваної ДП
- для розташування друкованих провідників, контактних майданчиків, монтажних та перехідних отворів і т.д. використовують координатну сітку в прямокутній системі координат. **Крок координатної сітки** дорівнює **2.5мм** (основний) та при розробці ДП визначається **класом точності**, **кроком виводів ІС**. Початок КС рекомендовано встановлювати в лівому нижньому куті ДП.
- По краям плати слід передбачити тезнологічну зону шараною, що дорівнює неменше товщини ДП. Розташування елементів друкованого монтажу в цій зоні не допускається. Всі отвори, контактні майданчики повинні розташовуватися в узлах КС, Якщо крок виводів ІС не співпадає з кроком КС, то монтажний майданчик під перший вивід потрібно розташовувати в узлі КС
- для правильної орієнтації ІС при їх встановленні на ДП на останній повинні бути передбачені "ключі", що визначають положення першого виводу ІС.
- Всі навісні елементи слід розташовувати паралельно лініям КС. Відстань між їх корпусами повинна бути не менше 1мм, а відстань між ними по торцю - не менше 1.5мм див. Методичні вказивки)
- на ДП потрібно передбачити орієнтуючий паз (або зрізаний лівий нижній кут або тезнологічні базові отвори), необхідний для правильної орієнтації при виготовлені ДП.
- друковані провідники не повинні мати різких перегинів та гострих кутів. Переходи при при розгалуженому провіднику або переходи провідника до контактного майданчика необхідно виготовляти плавними. Коли провідник повертає на кут  $90^\circ$  може виникнути відраження сигналу. Це виникає із-за зміни ширини шляху проходження струму. Кут перегину повинен відповідати  $45^\circ$  та  $90^\circ$ . Ширина друкованих провідників визначається допустимим протікаючим струмом (щільність струму) ширину друкованих провідників необхідно витримувати однаковою по всій довжині.

Ширина траси в вершині куту збільшується а 1.41 рази, що призводить до неузгодженості характеристик ліній передачі, особливо розгалуженої емності та власної індуктивності



тарси. Сучасні CAD пакути дозволяють зладжувати кути проведених трас або проводити траси у вигляді дуги. На малюнку показані два кроки покращення форми дуги.

- друковані провідники слід по можливості виконувати мінімально короткими. Прокладувати поряд вхідних та вихідних друкованих провідників паралельно одне одному не рекомендується щоб уникнути паразитних наведень (зв'язків). Як правило, з ціллю зменшення паразитних ємностей та індуктивностей друковані провідники прокладають перпендикулярно одне одному на різних сторонах ДП
- провідники вхідних та вихідних ланцюгів повинні прокладатися в першу чергу та повинні бути мінімально короткими
- потенціальні провідники (шина живлення та шина "землі"), по яким протікають сумарні струми всіх ланцюгів, слід вибирати з наступного переважного ряду: 0.25; 0.5; 1.0; 1.25; 2.0; 2.5мм та робити максимально широкими

Таким чином процес топологічного конструювання ДП включає конструювання ДВ, при якому вирішуються задачі розташування КЕ та трасування друкованих провідників.

В слабкострумівій на низьковольтній апаратурі (а це більшість пристроїв), побудованій з використанням цифрових та аналогових ІС, ширина друкованих провідників та зазори вибираються мінімальними для технології та конструкції виробу.

Пам'ятайте, що плата буде виготовлена з використанням того технологічного процесу, який потрібен для відтворення самого вузького провідника, неначе розводка всієї плати складається з таких вузьких провідників. Наявність вузьких провідників потребує більшої обережності, збільшує об'єм контрольних операцій та підвищує вартість плати.