



ЖИТОМИРСЬКА  
ПОЛІТЕХНІКА

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

100  
РОКІВ

## Лекція 5

# Конструювання і розрахунок друкованих плат вимірювальних систем



**ЖИТОМИРСЬКА  
ПОЛІТЕХНІКА**

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**100  
РОКІВ**

## **Лекція 5. Конструювання і розрахунок друкованих плат вимірювальних систем**

- 1) Задачі конструювання друкованих плат.
- 2) Основні види друкованих плат і особливості їх конструкцій.
- 3) Розрахунок електричних параметрів друкованих плат.
- 4) Автоматизація проектування друкованих плат.
- 5) Основні правила конструювання друкованих плат.
- 6) Технологія виготовлення друкованих плат.

## **1. Задачі конструювання друкованих плат.**

Сучасні конструкції електронної апаратури засновані на застосуванні друкованих плат (ДП). Використання друкованих плат дозволяє:

- 1) збільшити надійність вузлів, блоків і пристрою в цілому;
- 2) покращити технологічність за рахунок автоматизації операцій зборки і монтажу;
- 3) підвищити щільність розміщення компонентів;
- 4) підвищити швидкодію і перешкодозахищеність схем.

При розробці конструкції друкованих плат вирішуються наступні задачі:

- 1) схемотехнічні – трасування друкованих провідників, мінімізація кількості шарів;
- 2) радіотехнічні – розрахунок параметрів ліній зв'язку, розрахунок паразитних наведень;
- 3) теплотехнічні – розрахунок температурного режиму роботи друкованої плати, розрахунок та вибір засобів тепловідведення ;
- 4) конструктивні – розміщення елементів на друкованій платі, вибір та розміщення засобів контактування;
- 5) технологічні – вибір методу виготовлення ДП, захист ДП від механічних впливів та електромагнітних перешкод.

## 2. Основні види друкованих плат і особливості їх констукций

**По числу провідних шарів** друковані плати(ДП) бувають одно-двох- і багатошарові. Перші два типи називають також одно- і двохбічними (або одно- і двохсторонніми).

Багатошарові друковані плати (БДП) у порівнянні з першими двома типами мають наступні переваги:

- 1) більшу щільність розміщення друкованих провідників;
- 2) менші втрати сигналів у них;
- 3) менші питомі маси і габарити, приведені до одного шару.

**По виду матеріалу основи ДП розділяють на:**

- 1) виготовлені на основі органічного діелектрика (текстоліт, гетинакс, стеклотекстолит);
- 2) виготовлені на основі керамічних матеріалів;
- 3) виготовлені на основі металів.

**По виду з'єднань між шарами ДП розрізняють на наступні:**

- 1) з металізованими отворами;
- 2) з пістонами;
- 3) виготовлені пошаровим нарощуванням;
- 4) з відкритими контактними площадками.

**По способу виготовлення** ДП розділяють на плати, виготовлені:

- 1) хімічним травленням;
- 2) електрохімічним осадженням;
- 3) комбінованим способом (1 і 2-й способи).

**По способу нанесення провідників** ДП поділяють на плати:

- 1) отримані обробкою фольгованих діелектриків;
- 2) отримані нанесенням тонких струмопровідних шарів.

Останній спосіб більш точний і продуктивніший і відпрацьований на технології гібридних схем.

Широке поширення отримали БДП *на керамічній* основі. Але порівнянно з органічними діелектриками кераміка дозволяє поліпшити тепловідвід, підвищити щільність компонування мікросхем (особливо з використанням мікрокорпусів).

**Недоліки БДП на керамічній основі:**

- 1) велика маса;
- 2) невеликі лінійні розміри (обмежені технологією – 150 x 150 мм).

**Металеві ДП** виготовляються на основі сталевих, алюмінієвих і інварових листів (пластин).

Пластини окисляються і покриваються шаром кераміки, емалі, лаку або іншого діелектрика. Поверх наносяться друковані провідники, плівкові резистори, конденсатори, індуктивності, а потім монтуються мікросхеми (як правило, безкорпусні).

**Переваги:** 1) порівняно невисока вартість; 2) необмежені розміри; 3) висока теплопровідність; 4) краща перешкодозахищеність; 5) висока міцність і теплостійкість.

**Недоліки:** 1) висока питома ємність провідників; 2) велика маса.



### 3. Розрахунок електричних параметрів ДП

Основні характеристики друкованих провідників:

*Опір провідника:*

$$R = \rho l / (bt),$$

де  $\rho$  - питомий об'ємний електричний опір провідника;

$l$  - довжина провідника;

$b$  - ширина провідника;

$t$  - товщина провідника.

Величина  $\rho$  розрізняється для провідників, виготовлених різними методами. Так, для мідних провідників, отриманих електрохімічним осадженням,  $\rho$  дорівнює 0,02-0,03 мкОм/м, а для мідних провідників, отриманих методом хімічного травлення  $\rho$  дорівнює приблизно 0,0175 мкОм/м.

## Постійний струм у провідниках

Величина струму в друкованих провідниках визначається, у першу чергу, обмеженням на максимально припустиму щільність струму для конкретного матеріалу  $\gamma$ . Для мідних провідників, отриманих електрохімічним осадженням  $\gamma$  дорівнює близько  $20 \text{ А/мм}^2$ , і близько  $30 \text{ А/мм}^2$  для провідників, отриманих методом хімічного травлення фольги. Виходячи з цього припустимий струм у друкованих провідниках визначається як

$$I = 10^{-3} \cdot \gamma b t ,$$

а ширина повинна відповідати наступній умові:

$$b \geq 10^3 I / (\gamma t) .$$

**Спадання напруги на друкованих провідниках:**

$$\Delta U = \rho[l/(bt)].$$

## **Змінний струм у друкованих провідниках**

На відміну від постійного струму розподіл змінного струму в друкованих провідниках відбувається нерівномірно. Це обумовлено наявністю поверхневого ефекту, що виникає при протіканні по провіднику високочастотного змінного струму.

При цьому усередині провідника утворюється магнітне поле, що приводить до виникнення індукційного струму, взаємодіючого з основним. Унаслідок цього відбувається перерозподіл струму по перетину провідника, і в результаті його щільність у периферійних областях перетину зростає, а ближче до центра зменшується. На високих частотах струм у внутрішніх шарах провідника зменшується практично до нуля.

## Ємності

Ємність (пф) між двома рівнобіжними друкованими провідниками однакової ширини  $b$  (мм), розташованими на одній стороні плати, визначається як

$$C = \frac{0,12 \varepsilon l}{\lg[2a/(b+t)]},$$

де  $l$  – довжина ділянки, на якій провідники рівнобіжні, мм ;

$\varepsilon$  – діелектрична проникність середовища;

$a$  – відстань між рівнобіжними провідниками (товщина діелектрика);

$b$  – ширина провідника;

$t$  – товщина провідника.

Ємність (пф) між двома рівнобіжними провідниками шириною  $b$  (мм), розташованими по обох сторонах друкованої плати з товщиною діелектрика  $a$  (мм) визначається як

$$C = 0,008842 \varepsilon l b / a [1 + a / (\pi b)(1 + \lg(2\pi b / a))] .$$

#### 4. Автоматизація проектування друкованих плат

Висока складність сучасних схем приводить до необхідності автоматизації задач розміщення елементів ДП, трасування провідників, розрахунку теплових режимів, електромагнітної взаємодії компонентів на друкованій платі.

Власне кажучи, задача розміщення і трасування зводиться до перебору (повного або часткового) можливих варіантів розміщення елементів, що з'єднуються, і вибору оптимального.

Критерієм оптимальності є мінімальна сума довжин усіх розташованих на платі друкованих провідників (або в якості критерія використовуються більш складні цільові функції). Відповідні питання більш детально досліджуються в лабораторних роботах.

## 5. Основні правила конструювання друкованих плат.

1. Максимальний розмір сторони ДП не повинний перевищувати 500 мм. Це обмеження визначається вимогами міцності і щільності монтажу.
2. Для спрощення компоновання блоків і уніфікації розмірів ДП, рекомендуються наступні співвідношення розмірів сторін ДП: 1:1, 2:1, 3:1, 4:1, 3:2, 5:2 і т.д.
3. Вибір матеріалу ДП, способу її виготовлення, класу щільності монтажу повинні здійснюватися на стадії ескізного проектування, тому що ці характеристики визначають багато електричних параметрів пристрою.
4. При розбивці схеми на шари варто прагнути мінімізації числа шарів, це диктується економічними розуміннями.
5. По краях плати варто передбачати технологічну зону шириною 1,5-2,0 мм. Розміщення настановних і інших отворів, а також друкованих провідників у цій зоні не допускається.
6. Всі отвори повинні розташовуватися у вузлах координатної сітки. У крайньому випадку хоча б перший вивід мікросхеми повинний розташовуватися у вузлі координатної сітки.
7. На друкованій платі повинний бути передбачений паз, що орієнтує, або зрізаний лівий кут, або технологічні базові отвори, необхідні для правильної орієнтації плати.
8. Друковані провідники варто виконувати мінімально короткими.

6. Всі отвори повинні розташовуватися у вузлах координатної сітки. У крайньому випадку хоча б перший вивід мікросхеми повинний розташовуватися у вузлі координатної сітки.

7. На друкованій платі повинний бути передбачений паз, що орієнтує, або зрізаний лівий кут, або технологічні базові отвори, необхідні для правильної орієнтації плати.

8. Друковані провідники варто виконувати мінімально короткими.

9. Прокладка поруч провідників вхідних і вихідних ланцюгів небажана. Це необхідно враховувати, щоб уникнути паразитних наведень.

10. Провідники найбільш високочастотних ланцюгів прокладаються в першу чергу і мають, завдяки цьому, найменш коротку довжину.

11. Провідники, що заземлюють, варто виготовляти максимально широкими.

## 6. Технологія виготовлення друкованих плат

Однобічні, двохбічні і багатошарові. Однобічні і двосторонні друковані плати без з'єднання провідних шарів прості по конструкції і нескладні у виготовленні. Комутаційна здатність однієї двосторонньої ДП без міжшарових з'єднань не може бути більше двох односторонніх ДП тієї ж площі. Двосторонні друковані плати без з'єднання шарів доцільно застосовувати при використанні безвивідних елементів чи елементів із планарними виводами. З'єднання провідних шарів двосторонніх ДП може здійснюватися відрізками провідникового матеріалу (штирями, відрізками проводу, пустотілими заклепками), гальванічно облуженою міддю.





Рис. 1. Схема конструкції ОДП:  $H_n$ ,  $H_m$ ,  $h_\phi$  – товщини ДП, її підстави і фольги;  $b$  – гарантійний пасок;  $D$ ,  $d$  – діаметри контактної площадки й отвору;  $S$  – відстань між краями сусідніх елементів провідного рисунку (ПР);  $t$  – ширина друкованого провідника;  $Q$  – відстань від краю плати, вирізу, паза до елементів ПР.

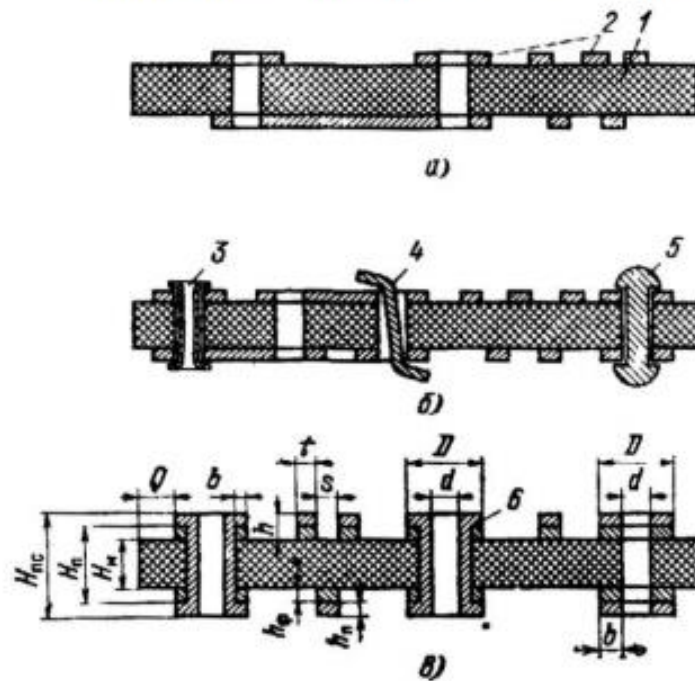


Рис. 2. Схеми конструкції ДДП без з'єднання провідних шарів (а), із з'єднанням шарів відрізками провідникового матеріалу (б) і з з'єднанням шарів гальванічно облуженою міддю (в): 1 – матеріал підстави; 2 – провідний рисунок; 3 – пустотіла заклепка; 4 – відрізок провідникового матеріалу; 5 – мідний штир; 6 – гальванічна мідь;  $h_{nc}$  – сумарна товщина ДП;  $h$  і  $h_n$  – товщина провідного рисунку і хіміко-гальванічного покриття.

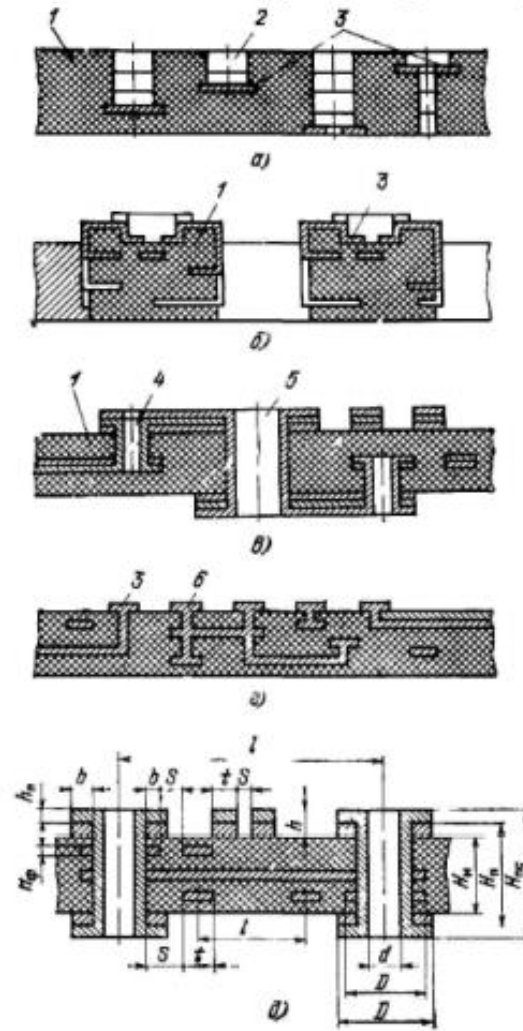


Рис. 3. Схеми конструкцій БДП із відкритими контактними площадками (а), з виступаючими виводами (б), з попарним з'єднанням шарів (в), з послідовним з'єднанням шарів (г) і з наскрізним з'єднанням шарів (д): 1 — матеріал ДП; 2 — колодязь; 3 — контактна площадка; 4 — металізовані отвори для міжшарових з'єднань; 5 — наскрізний монтажний отвір; 6 — міжшарові з'єднання; 7 — відстань між центрами (осями) елементів конструкції ДП.

## Основні матеріали для друкованих плат

Для виготовлення ДП використовують фольговані і не фольговані листові діелектрики. Вихідними для виготовлення фольгованих діелектриків можуть бути папір чи склотканина, просочені синтетичними смолами, чи полімерні плівки з лавсану, фторопласту й ін. На поверхню цих матеріалів приклеюється металева фольга. Нефольговані матеріали виготовляються з тих же компонентів. При виготовленні ДП на нефольгованому матеріалі провідний рисунок формують осадженням металу з розчинів чи приклеюванням вирізаних з фольги елементів ПР. Матеріали, що рекомендуються для виготовлення ДП, приведені в табл. 1. Їхні робочі температури: ГФ від  $-60$  до  $+85^{\circ}\text{C}$ ; СФ, ФТС і СТФ від  $-60$  до  $+120^{\circ}\text{C}$ ; СФПН від  $-60$  до  $+160^{\circ}\text{C}$ ; СТПА від  $-60$  до  $+150^{\circ}\text{C}$  і ФДМ від  $-60$  до  $+100^{\circ}\text{C}$ .

## Конструювання друкованих плат

Основною метою процесу конструювання є створення пристрою для об'єднання групи ЕРЕ у функціональний вузол із забезпеченням необхідних механічних і електричних параметрів у заданому діапазоні експлуатаційних характеристик при мінімальних витратах.

Для цього необхідно: вибрати тип ДП; визначити клас точності; установити габаритні розміри і конфігурацію; вибрати матеріал підстави для ДП; розмістити начіпні елементи; визначити розміри елементів малюнка; розмістити їх на платі і здійснити трасування; забезпечити автоматизацію процесів виготовлення і контролю плати, процесів зборки, пайки і контролю вузлів; виготовити конструкторську документацію.

При створенні базових конструкцій ДП як об'єктів уніфікації використовують: габаритні розміри; тип і розміщення роз'ємів і інших елементів; діаметри і розміщення отворів; розміри і форму елементів провідного рисунку; конструктивні покриття.

У залежності від припустимих відхилень визначені чотири класи точності ДП. Значення основних конструктивних параметрів по класах точності приведені в табл. 1

Таблиця 2. Основні конструктивні параметри друкованих плат.

| Параметр  | Клас точності   |                  |                  |                  |
|---|-----------------|------------------|------------------|------------------|
|   | 1               | 2                | 3                | 4                |
| Мінімальне значення номінальної ширини провідника, $t$ , мм     | 0,60            | 0,45             | 0,25             | 0,15             |
| Номінальна відстань між провідниками, $S$ , мм                  | 0,60            | 0,45             | 0,25             | 0,15             |
| Гарантійний пасок, $b$ , на зовнішньому шарі, мм                | 0,30            | 0,20             | 0,10             | 0,05             |
| Те ж, на внутрішньому шарі, мм                                  | 0,15            | 0,10             | 0,05             | 0,03             |
| Відношення діаметра отвору до товщини плати                     | $\geq 0,50$     | $\geq 0,50$      | $\geq 0,33$      | $\geq 0,33$      |
| Допуск на отвір $\Delta d$ , мм, без металізації, $d \leq 1$ мм | $\pm 0,10$      | $\pm 0,10$       | $\pm 0,05$       | $\pm 0,05$       |
| Те ж, $d > 1$ мм  | $\pm 0,15$      | $\pm 0,15$       | $\pm 0,10$       | $\pm 0,10$       |
| Допуск на отвір $\Delta d$ , мм, з металізацією, $d \leq 1$ мм  | +0,10<br>- 0,15 | + 0,10<br>- 0,15 | + 0,05<br>- 0,10 | + 0,05<br>- 0,10 |
| Те ж, $d > 1$ мм  | + 0,15          | + 0,15           | + 0,10           | + 0,10           |

|  |                  |                  |                  |            |
|--|------------------|------------------|------------------|------------|
|  | - 0,20           | - 0,20           | - 0,15           | - 0,15     |
| Допуск на ширину провідника $\Delta t$ , мм, без покриття  | $\pm 0,15$       | $\pm 0,10$       | + 0,03<br>- 0,05 | $\pm 0,03$ |
| Те ж, з покриттям  | + 0,25<br>- 0,20 | + 0,15<br>- 0,10 | + 0,10<br>- 0,08 | $\pm 0,05$ |
| Допуск на розташування отворів $\delta d$ , мм, при розмірі плати менш 180 мм                      | 0,20             | 0,15             | 0,08             | 0,05       |
| Те ж, при розмірі плати від 180 до 360 мм  | 0,25             | 0,20             | 0,10             | 0,08       |
| Те ж, при розмірі плати більш 360 мм   | 0,30             | 0,25             | 0,15             | 0,10       |
| Допуск на розташування контактних площадок $b/\>$ , мм, на ОДП і ДДП при розмірі плати менш 180 мм | 0,35             | 0,25             | 0,20             | 0,15       |
| Те ж, при розмірі плати від 180 до 360 мм  | 0,40             | 0,30             | 0,25             | 0,20       |
| Те ж, при розмірі плати більш 360 мм   | 0,45             | 0,35             | 0,30             | 0,25       |
| Допуск на розташування контактних площадок $\delta r$ , мм, на БДП при розмірі плати менш 180 мм   | 0,40             | 0,35             | 0,30             | 0,25       |
| Те ж, при розмірі плати від 180 до 360 мм  | 0,50             | 0,45             | 0,40             | 0,35       |
| Те ж, при розмірі плати більш 360 мм   | 0,55             | 0,50             | 0,45             | 0,40       |
| Допуск на розташування провідників на ОДП і ДДП $\delta l$ , мм                                    | 0,15             | 0,10             | 0,05             | 0,03       |
| Те ж, на БДП   | 0,20             | 0,12             | 0,07             | 0,05       |
| Допуск на підтравлювання діелектрика БДП $\Delta d_{тр}$ , мм                                      | 0,03             | 0,03             | 0,03             | 0,03       |

Товщина ДП визначається вихідним матеріалом, використовуваною елементною базою і механічними навантаженнями. Кращими значеннями товщини ДП є 0,8; 1; 1,5, 2 мм. Товщина ДП повинна бути ув'язана з діаметрами застосовуваних металізованих отворів (для якісної металізації відношення діаметра металізованого отвору до товщини плати повинно бути більш 0,33).

Товщина БДП залежить від числа і товщини шарів і прокладок, що склеюють. Товщина прокладки між шарами повинна бути не менш подвійної товщини ПР шарів, що склеюються.

Розміщення начіпних елементів на ДП варто погодити з конструктивними вимогами на друкований вузол, блок і пристрій у цілому. При розміщенні начіпних елементів необхідно передбачати їх раціональне взаємне розташування, щоб забезпечити найбільш просте трасування; малий взаємний вплив на електричні параметри і швидкодію; автоматичну зборку, пайку і контроль; малі габарити і масу; ремонтпридатність; ефективний тепловідвід.

Варіант установки елементів на ДП повинний вибиратися відповідно до заданих умов експлуатації і інших вимог до конструкції вузла.

Розміщення елементів конструкції ДП регламентується умовною координатною сіткою з двох взаємно перпендикулярних систем рівнобіжних ліній, розташованих на однаковій (2,5 чи 1,25 мм) відстані одна від одної. Дві взаємно перпендикулярні лінії координатної сітки з точкою перетинання в лівому нижньому куті креслення плати використовують як осі координат, а крапку їхнього перетинання (вузол координатної сітки) — як початок координат.

Сторони ДП розміщують на кресленні таким чином, щоб вони збігалися з лініями координатної сітки. Для забезпечення автоматизації процесів зборки і контролю на ДП передбачають фіксуючі отвори, які варто розташовувати по діагоналі чи уздовж більшої сторони плати на максимально можливій відстані один від одного. Один з отворів варто передбачати в точці перетинання осей координат. Допуски на діаметри фіксуючих отворів і їхнє розташування повинні встановлюватися по 4 класу точності відповідно до табл. 2. Центри монтажних отворів і контактних площадок під виводи начіпних елементів розташовують у вузлах координатної сітки.

Центри монтажних отворів під неформуємі виводи багатовивідних елементів, міжцентрові відстані яких не кратні кроку координатної сітки, вибирають у такий спосіб, щоб у вузлі координатної сітки знаходився центр, принаймні, одного з монтажних отворів, а центри монтажних отворів під інші виводи розташовувалися відповідно до вимог конструкції встановлюваного елемента. При виборі елемент-ної бази варто враховувати, що використання таких елементів у значній мірі ускладнює процеси виготовлення і контролю ДП, зборки функціональних вузлів.

Номінальні значення діаметрів монтажних отворів  $d$ :

$$d = d_p + |\Delta d_{н.о}| + r,$$

де  $d_p$  – максимальний діаметр виводу встановлюваного елемента;  $\Delta d_{н.о}$  – нижнє граничне відхилення від номінального діаметра монтажного отвору;

$r$  – різниця між мінімальним діаметром отвору і максимальним діаметром установлюваного виводу (виходячи з умов пайки, вибирають у межах 0,1... ..0,4 мм).

У промисловості прийнятий і застосовується такий ряд отворів – 0,7; 0,9; 1,1; 1,3; 1,5 мм. Граничні відхилення діаметрів монтажних отворів  $\Delta d$  і відхилення від номінального положення центра отвору  $\delta d$  приведені в табл. 2.

Мінімальний діаметр контактної площадки  $D$  навколо монтажного отвору:

$$D = (d + \Delta d_{в.о}) + 2 b_{н} + \Delta t_{в.о} +$$

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

$\Delta t_{в.о}$  – верхнє граничне відхилення ширини провідника;

$\Delta t_{н.об}$  – нижнє граничне відхилення ширини провідника.

<https://ppt-online.org/30126>