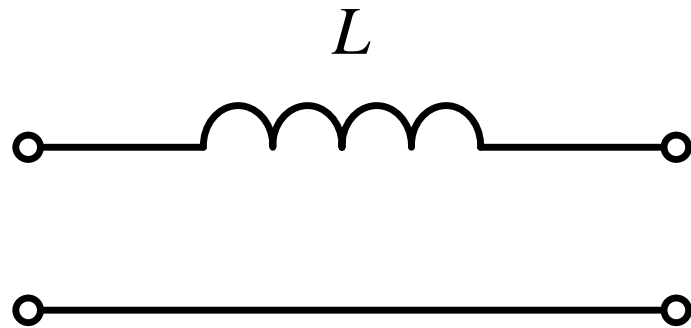


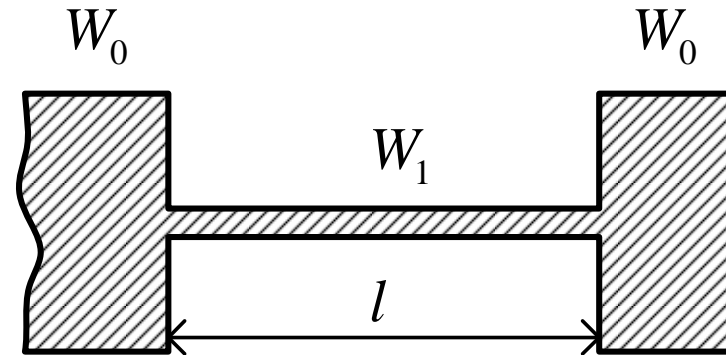
## **Мікрохвильові пристрої та технології**

**Елементи та вузли інтегральних схем  
мікрохвильових пристроїв:  
індуктивності, ємності, резистори,  
узгоджені навантаження**

## Послідовна індуктивність



Еквівалентна схема  
послідовної індуктивності



Топологія послідовної  
індуктивності

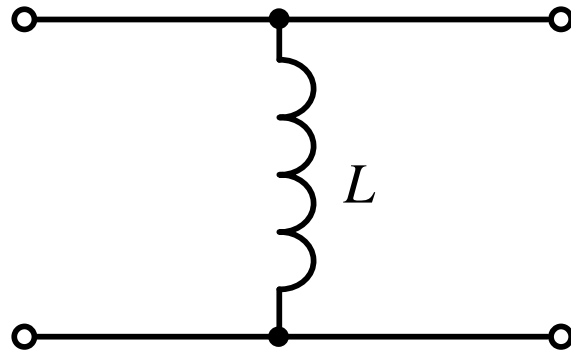
$$W_1 > W_0 \quad l < \frac{\Lambda}{8}$$

$$L = 2\pi \frac{W_1 l}{\omega \Lambda}$$

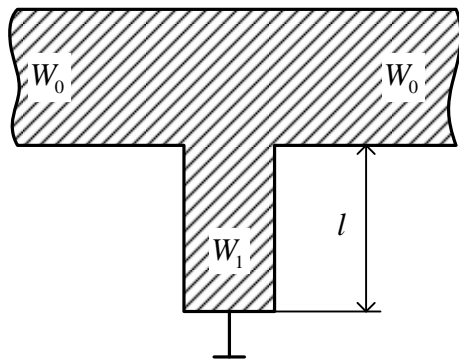
**преимущества:** простота; не нужно заземлять;

**недостатки:** большие габариты; сложность подстройки

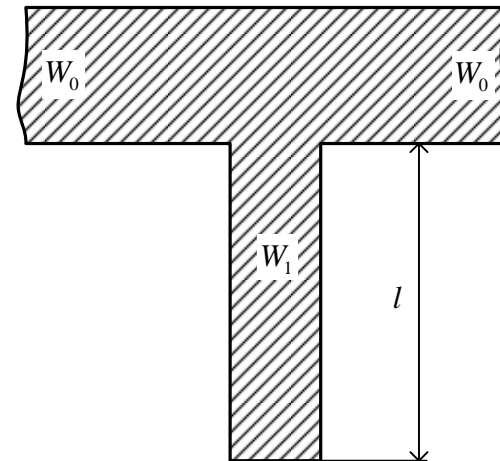
## Паралельна індуктивність



Еквівалентна схема  
паралельної  
індуктивності



Топологія паралельної  
індуктивності у вигляді  
КЗ шлейфу



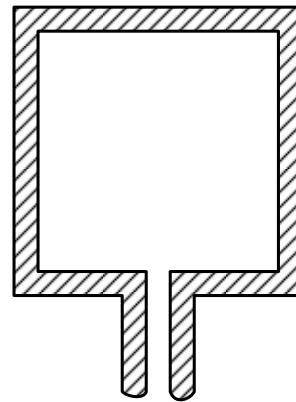
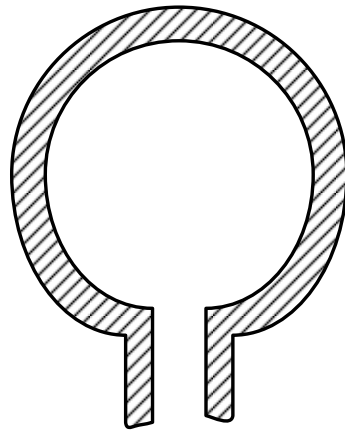
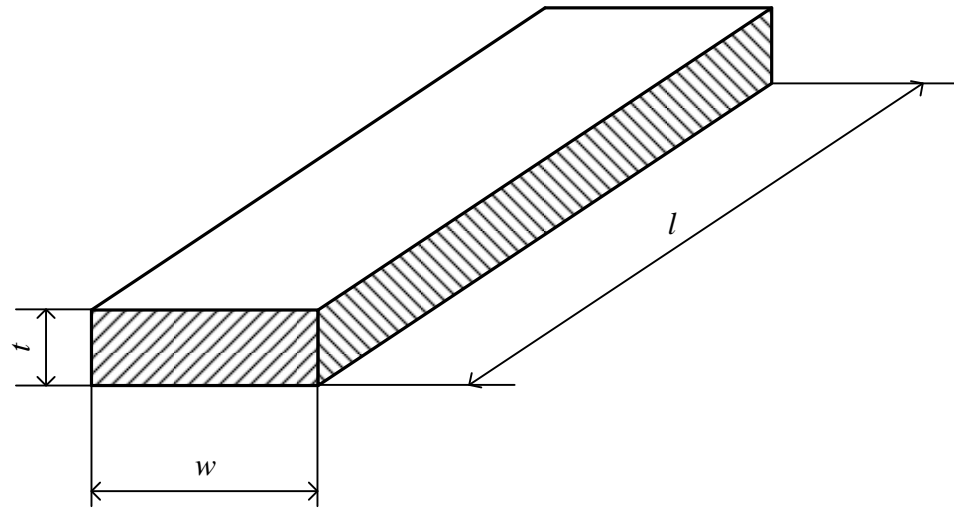
Топологія паралельної  
індуктивності у вигляді  
разімкнутого (XX)  
шлейфу

## Паралельна індуктивність

На КЗ шлейфі:  $W_1 > W_0$      $l < \frac{\Lambda}{8}$      $L = 2\pi \frac{W_1 l}{\omega \Lambda}$

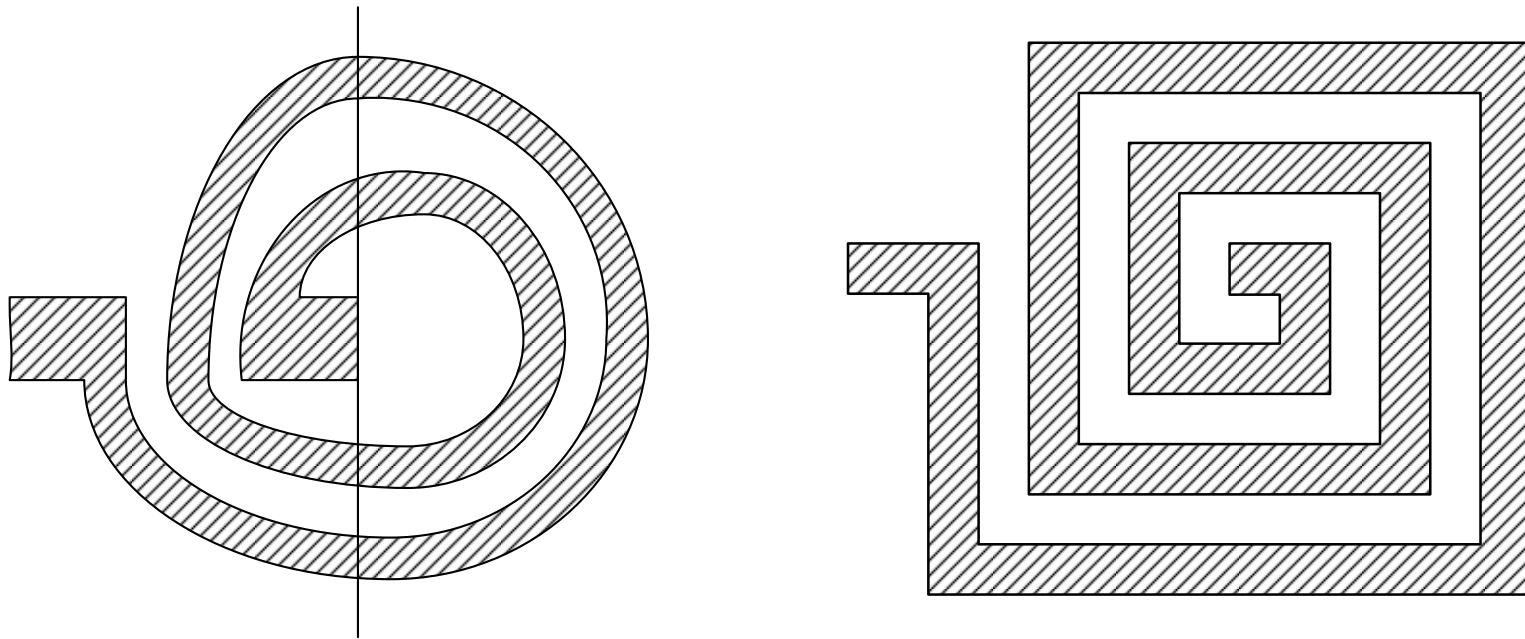
На ХХ шлейфі:  $W_1 > W_0$      $\frac{\Lambda}{4} < l < \frac{\Lambda}{2}$

# Малі індуктивності (до одиниць нГн)

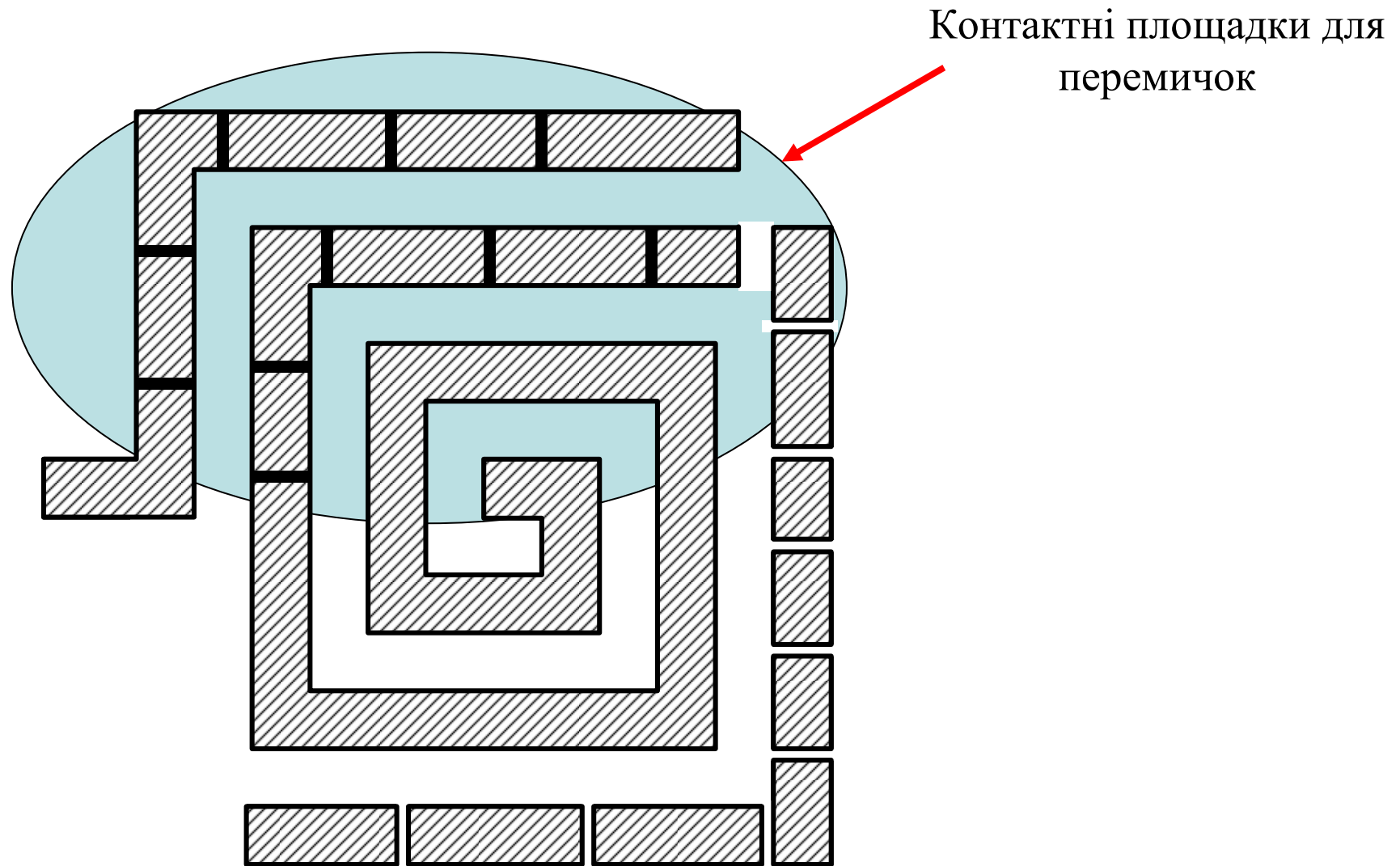


## Малі індуктивності

Як дроселі так і контурні індуктивності використовують спіральні індуктивності (одиниці...сотні мкГн) – рисунок.



# Малі індуктивності



## Індуктивності

Висновки по топологіям котушок індуктивності:

1) При розрахунку індуктивностей впливом екрана можна знехтувати, якщо

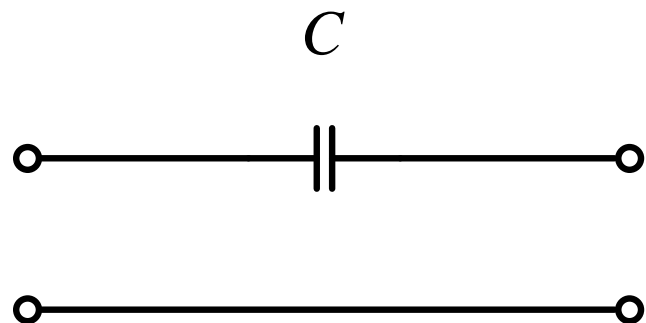
$$h(10...20) = w$$

2) Щоб уникнути впливу екрана, металізацію на нижній стороні підкладки безпосередньо під котушкою індуктивності видаляють.

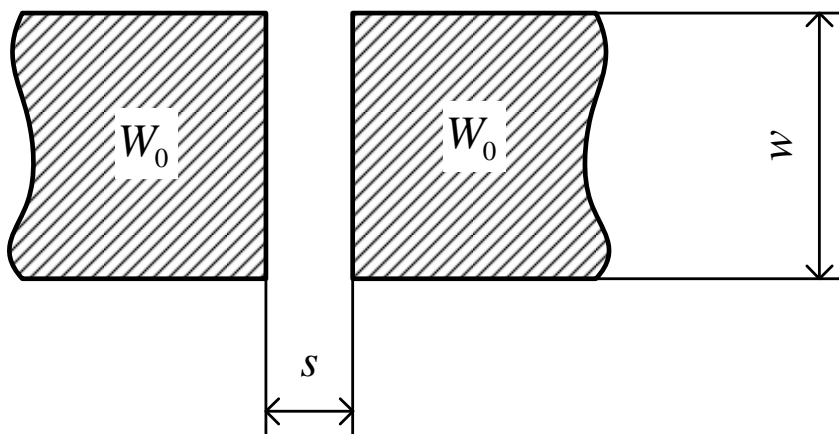
3) Для економії площі плоскі котушки можна виконати багат шаровими (кажна котушка на своїй підкладці, які потім розміщують в одному стовпчику з перемичками).



## Ємності. Послідовна ємність



Еквівалентна схема  
послідовної ємності

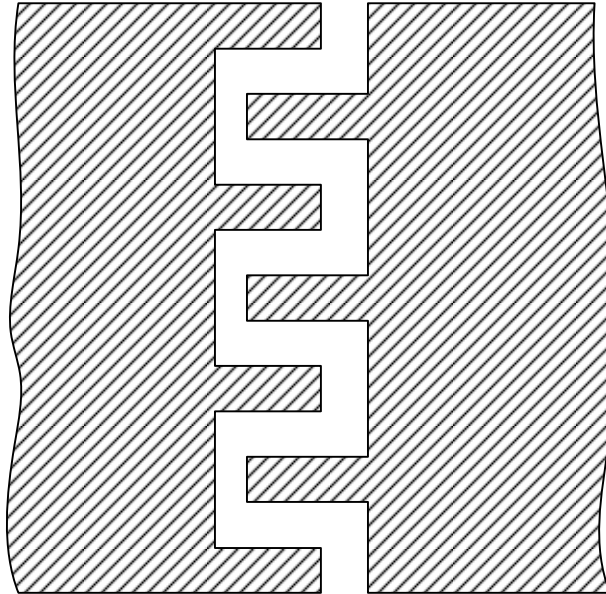


Топологія послідовної  
ємності (одиниці пФ)

$$\frac{s}{2w} = \frac{1}{\pi} \ln \left( \operatorname{ctg} \frac{\Lambda}{4w} \omega W_0 C \right)$$

## Ємності. Послідовна ємність

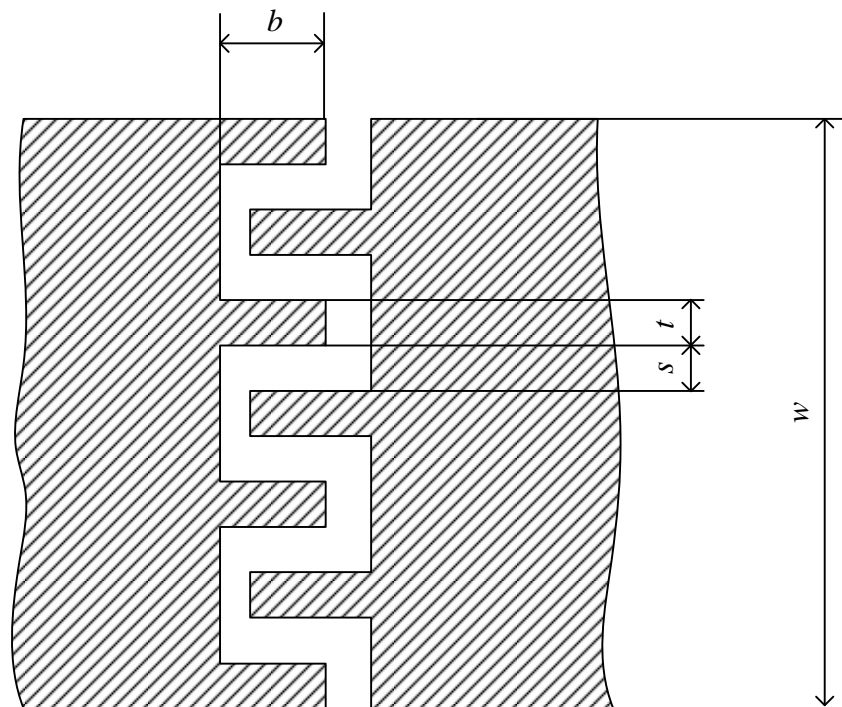
Гребінчаста структура



Її типовий діапазон ємностей 10 ... 20 пФ.

Переваги: більша добротність і більше значення напруги пробою.

## Ємності. Послідовна ємність



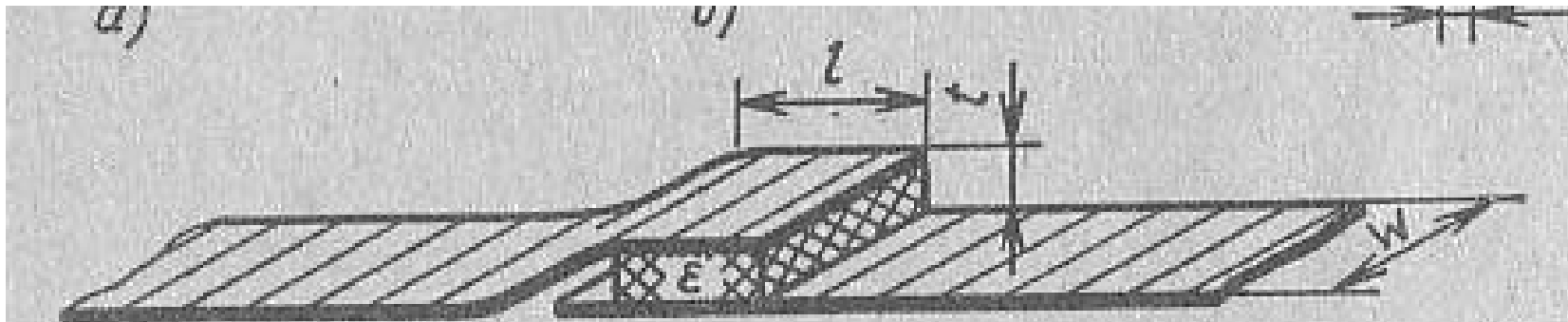
$$C[\text{i}\hat{\text{O}}/\hat{\text{i}}\text{ä. äîâæèéè} ] = (\varepsilon_r + 1)\varepsilon_0 b [2A_1(N - 1) + A_2],$$

$$A_1 = 0,614(h/s)^{0,25} (t/h)^{0,439},$$

$$A_2 = 0,775 t / (2N - 1)(t + s) + 0,408$$

$N$  – ê³ëüê³ñòü ñâëö³é,  $h$  – òîâùèíà ï³äëääèè

## Ємності. Послідовна ємність



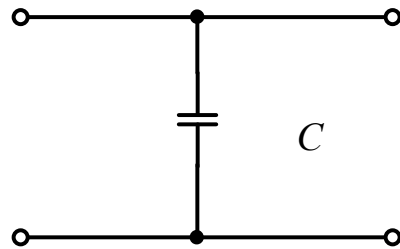
Послідовна ємність у МСЛ, плівкова ємність в ІС

Така конструкція може забезпечити значно більшу ємність.

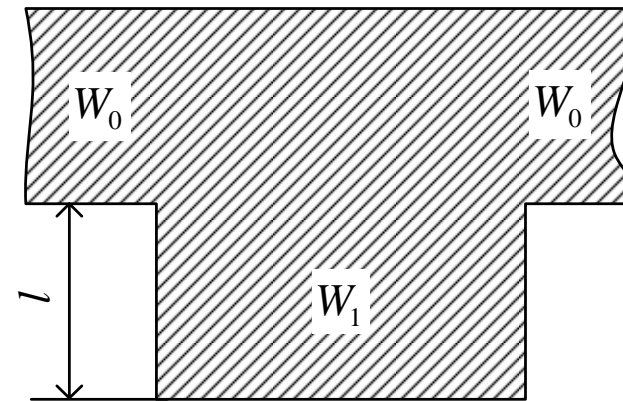
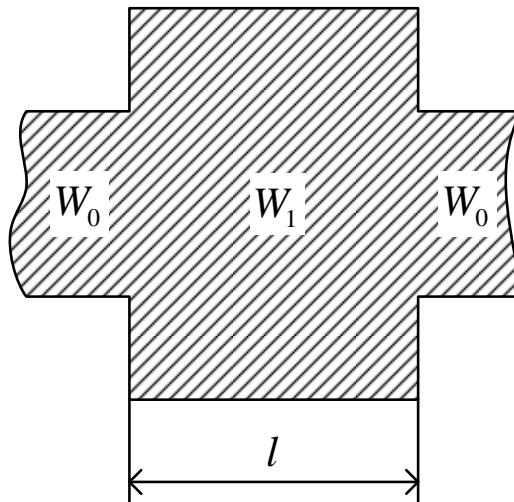
Ємність при цьому визначають за формулою плоского конденсатора:

$$C[\text{пФ}] = 8,855 \cdot 10^{-3} \varepsilon_r w[\text{мм}] l[\text{мм}] / t[\text{мм}]$$

## Ємності. Паралельна ємність



Еквівалентна схема  
паралельної  
індуктивності



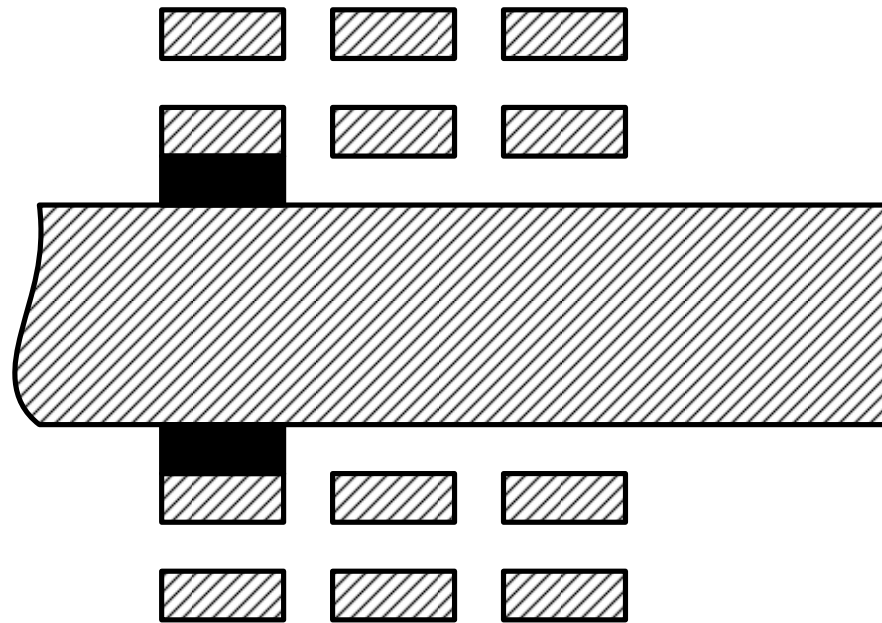
$$W_1 \ll W_0, l < \Lambda/8$$

В обох випадках ємність розраховують за формулою:

$$C[\Phi] = \frac{2\pi l}{W_1[\text{Ом}]\omega\Lambda}$$

## Ємності. Паралельна ємність

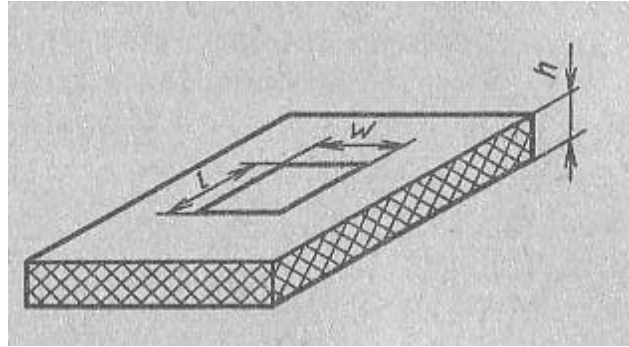
За потреби у підстроюванні ємності використовують сітчасту структуру, окремі комірки якої початково ізольовано одну від одної (рисунок).



Недоліком таких структур є мала питома ємність. Наприклад, подібний елемент на полікоровій підкладці товщиною 1 мм та площею 1 кв. см. має ємність 8,85 пФ.

## Ємності. Паралельна ємність

Паралельну ємність реалізують також у вигляді плоского конденсатора прямокутної чи будь-якої іншої форми.



Паралельна ємність у вигляді плоского конденсатора прямокутної форми

$$C[\Phi] = C_0 + 2C_{k1} + 2C_{k2},$$

$$C_0 = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{wl}{h},$$

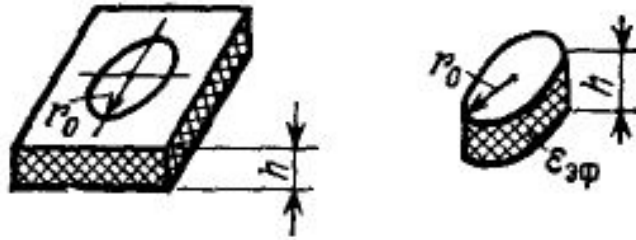
$$C_{k1} = \frac{\varepsilon_0 l}{2} \left[ 120\pi \frac{W(w, h, 1)}{W^2(w, h, \varepsilon_r)} - \varepsilon_r \frac{w}{h} \right],$$

$$C_{k2} = \frac{\varepsilon_0 w}{2} \left[ 120\pi \frac{W(l, h, 1)}{W^2(l, h, \varepsilon_r)} - \varepsilon_r \frac{l}{h} \right]$$

$$l[\text{м}], w[\text{м}], h[\text{м}]$$

## Ємності. Паралельна ємність

Паралельна ємність у вигляді плоского конденсатора круглого перерізу на матеріалі підкладки



$$C[\Phi] = C_0 + 2C_{кр},$$

$$C_0 = \varepsilon_0 \varepsilon_{eff} \pi r_0^2 / h,$$

$$C_0 = 2\varepsilon_0 \varepsilon_{eff} r_0 [\ln(\pi r_0 / 2h) + 1,7726],$$

$r_0$  [м],  $h$  [м]

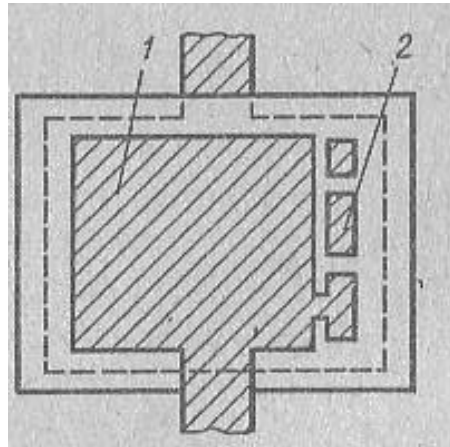


## Ємності. Паралельна ємність

Подібні конденсатори також мають малу питому ємність. Наприклад, на підкладці товщиною 0,5 мм з відносною діелектричною проникністю 10 питома ємність становить 0,1 пФ/мм кв.

**Переваги конденсаторів такого типу:** велика добротність, велике значення пробивної напруги, можливість точної реалізації потрібної ємності.

Конденсатори на основі плівкових структур (рисунок) мають більшу питому ємність.



Конденсатор великої ємності на основі плівкової структури  
(1 – основний конденсатор; 2 – елементи дискретного підстроювання)

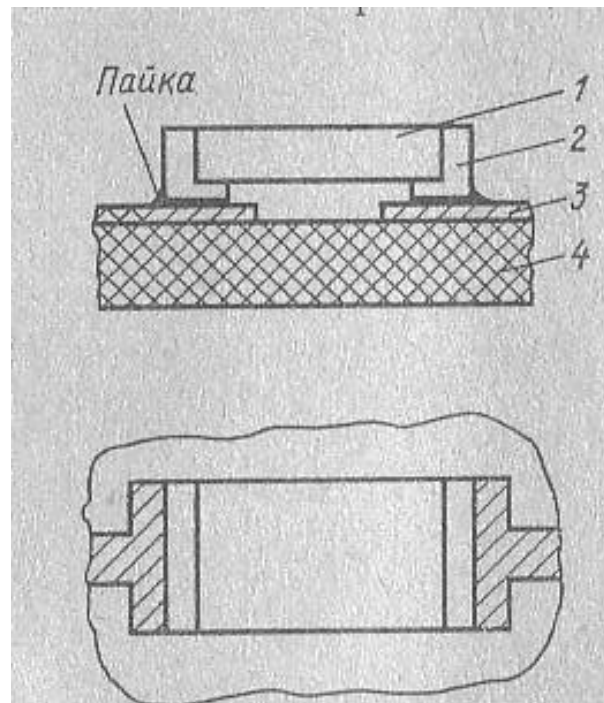
## Ємності. Послідовна ємність

Нижньою обкладкою такого конденсатора є металізований шар, нанесений на підкладку. На нього напилюють плівку діелектрика. Зверху напилюють провідну площадку, яка є другою обкладкою конденсатора. Разом з верхньою обкладкою можуть формувати площадки для дискретного підстроювання. Ємність плівкового конденсатора з точністю у 5 % можна визначити за формулою для плоского конденсатора.

При складанні топології окремих шарів варто враховувати, що нижня обкладка має виступати за край верхньої не менш ніж на 200 мкм, а діелектрик має виступати за межі площадки перекриття обкладок не менш ніж на 200 мкм.

## Ємності. Послідовна ємності

В якості начіпних конденсаторів в інтегральних пристроях використовують мініатюрні керамічні конденсатори, які мають форму паралелепіпедів з кераміки, торці яких металізовано та облуджено. Конденсатори встановлюють шляхом паяння на контактні площадки - рисунок.



Загальний вигляд мініатюрного керамічного конденсатора

(1 – конденсатор; 2 – виводи; 3 – контактная площадка; 4 – подложка)

## Резистори

Резистори широко використовують у колах живлення та керування, у схемах суматорів і подільників потужності, резистивних атенюаторів, в якості узгоджених навантажень. Бувають такі резистори двох типів: з розподіленими та зосередженими (набагато менші за довжину хвилі у ЛП).

**Розподілені резистори** виконують на основі МСЛ з великим поверхневим затуханням, які створюються за рахунок великого поверхневого опору смужки  $R_s$ . МСЛ виготовляють або з матеріалу з малою провідністю, або смужка повинна мати товщину, яка значно менша за товщину скін-шару. Для зменшення розмірів такі лінії згортають у меандр або спіраль, подібно до розподіленої ідуктивності (див. слайд 6).

**Зосереджений резистор** є відрізком ЛП з великим поверхневим опором. Здебільшого форма резистора з зосередженими параметрами – прямокутна.

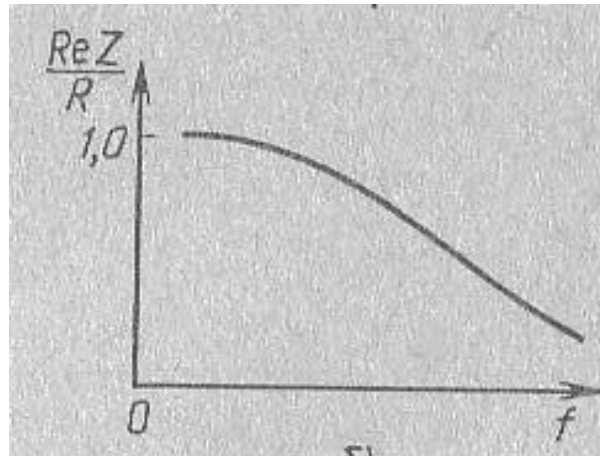
## Резистори

Вхідний опір такого резистора

$$\dot{Z}_{in} \approx R / (1 + i\omega C R/3),$$

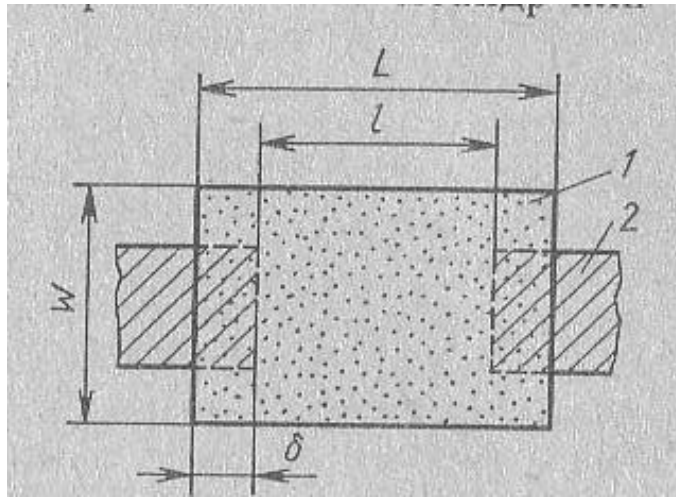
де  $R = R_s l/w$  – номінальний опір резистора ( $R_s$  – поверхневий опір резистивної ділянки);  $C$  – ємність резистора. При цьому припускалось, що  $R \ll \omega L$ ,  $L$  – індуктивність. Ємність  $C$  приблизно можна оцінити за формулою плівкового конденсатора.

Частотну залежність активної складової опору показано на рисунку.



Частотна залежність активної складової опору

## Резистори



Конструкція плівкового зосередженого резистора

(1 – резистивна плівка; 2 – смужковий провідник)

Номинальний опір такого резистора:

$$R = R_s l/w$$

$R_s$  – поверхневий опір резистивної ділянки;  $l$  – довжина резистивного шару;  
 $w$  – ширина резистивного шару.

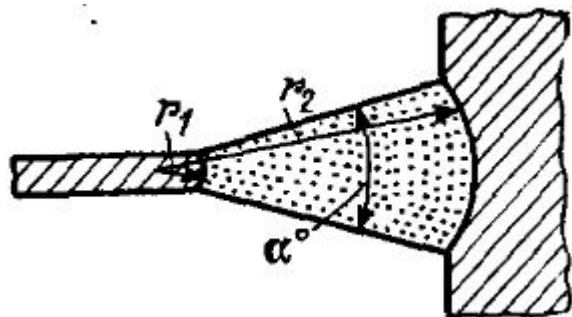
Для напилення резистивних плівок використовують тантал, ніхром, хром.

## Резистори

Однією з найважливіших характеристик резисторів є допустима потужність розсіювання, яка залежить від теплопровідності матеріалу підкладки та площі резистивної плівки. Наприклад, для резистора, виконаного на полікоровій підкладці товщиною 1 мм, при температурі підкладки 70...80 градусів, питома потужність розсіювання становить 5...10 Вт на кв. см.

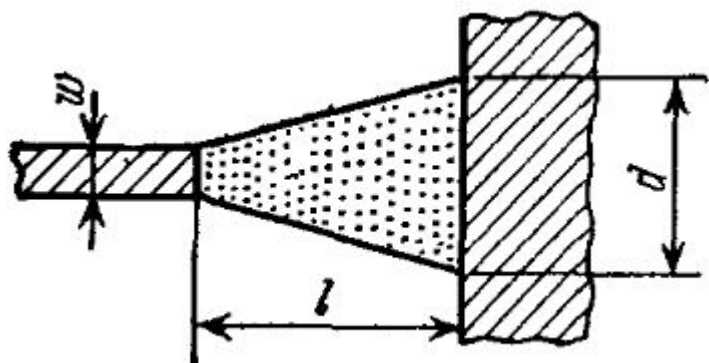
Щоб уникнути локальних перегрівів, резистори зазвичай проектують на потужність розсіювання близько 0,5 Вт. За більшої потужності розсіювання використовують розподілені резистори, або резистори у формі сектора чи трапеції – див. рисунки на наст. слайді.

## Резистори



$$R[\text{ОМ}] = R_s \alpha^0 \pi / 180 \ln(r_2 / r_1)$$

### Резистор у формі сектора



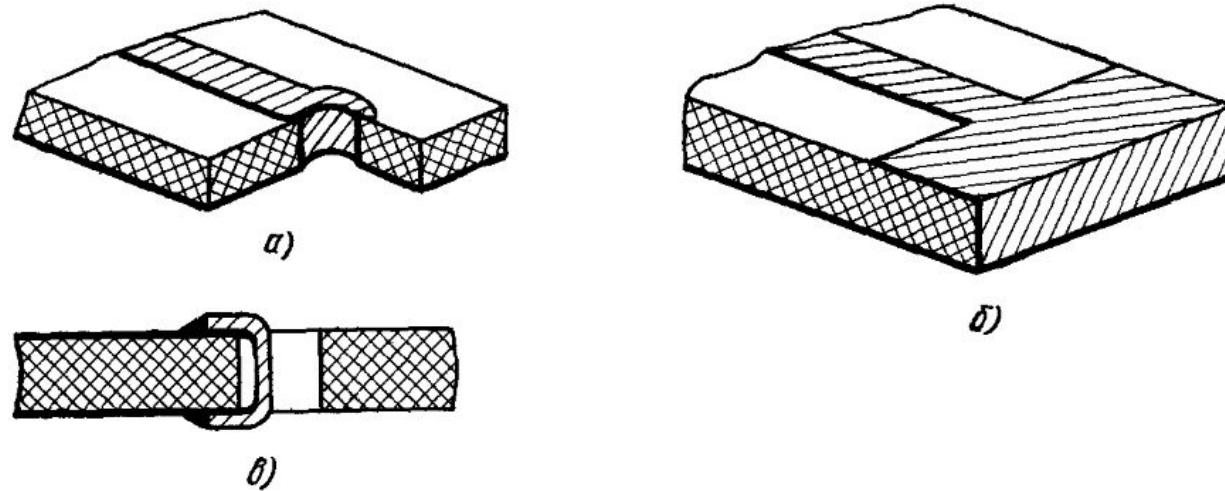
$$R[\text{ОМ}] = \frac{R_s l}{d - w} \ln \frac{d}{w}$$

### Резистор у формі трапеції



## Резистори

Резистори, які є узгодженими навантаженнями, включають між підвідною лінією та короткозамикачем. Коротке замикання здійснюють через металізовані отвори у підкладці або через металізовану торцеву поверхню плати.

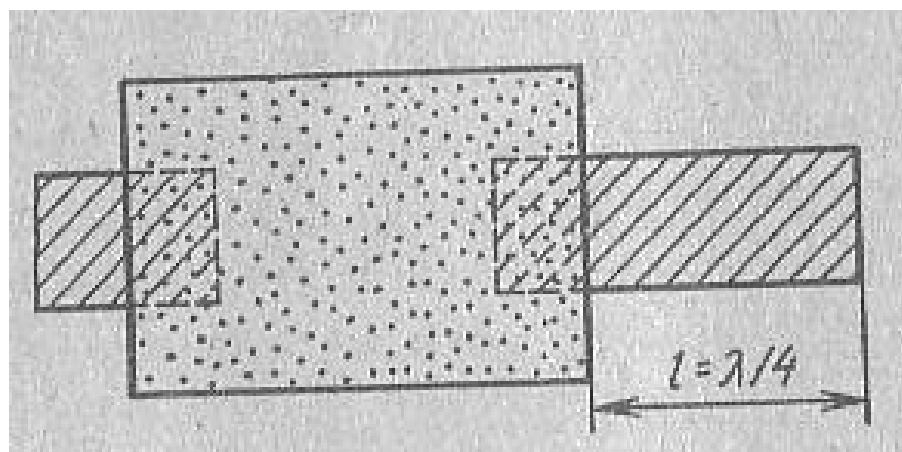


### Основні елементи заземлення

(а – заземлення через металізовані отвори у платі; б – заземлена площа на лицевій поверхні плати; в – заземлення за допомогою перемичок через отвір)

## Резистори

Іноді в якості короткозамикача використовують розімкнений шлейф чвертьхвильової довжини – див. рисунок.



У заданій смузі частот потрібну якість заземлення можна забезпечити шляхом паралельного включення декількох шлейфів різної довжини.

**+ малогабаритні начіпні резистори.**