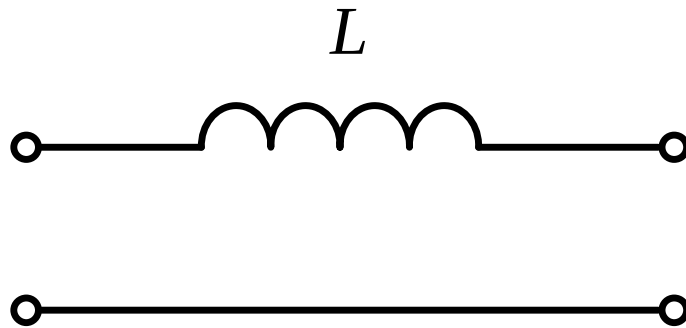


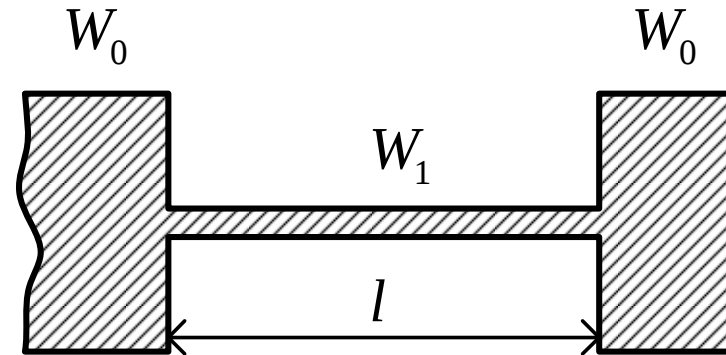
**Мікрохвильові технології
у телекомунікаційних та радіотехнічних системах**

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

Послідовна індуктивність



Еквівалентна схема
послідовної індуктивності



Топологія послідовної
індуктивності

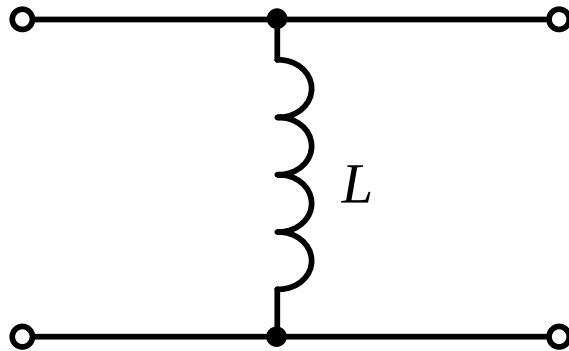
$$W_1 > W_0 \quad l < \frac{\Lambda}{8}$$

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

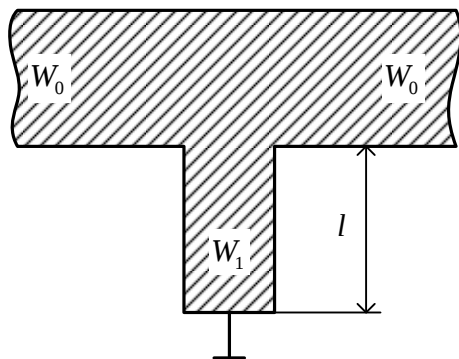
переваги: простота; не нужно заземлювати;

недоліки: великі габарити; складність подстроювання

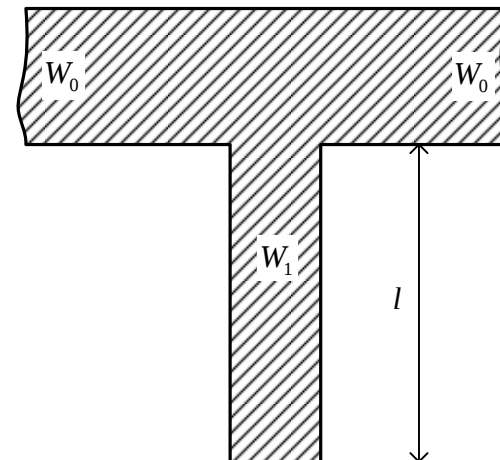
Паралельна індуктивність



Еквівалентна схема
паралельної
індуктивності



Топологія паралельної
індуктивності у вигляді
КЗ шлейфу



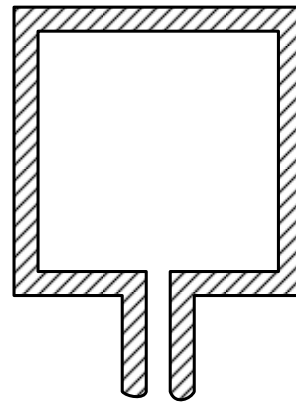
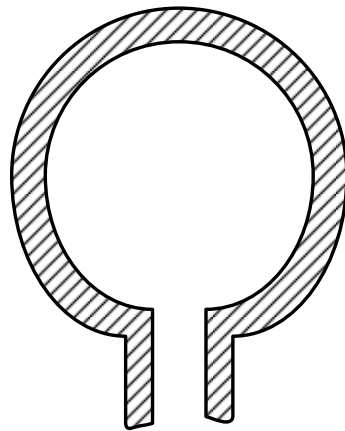
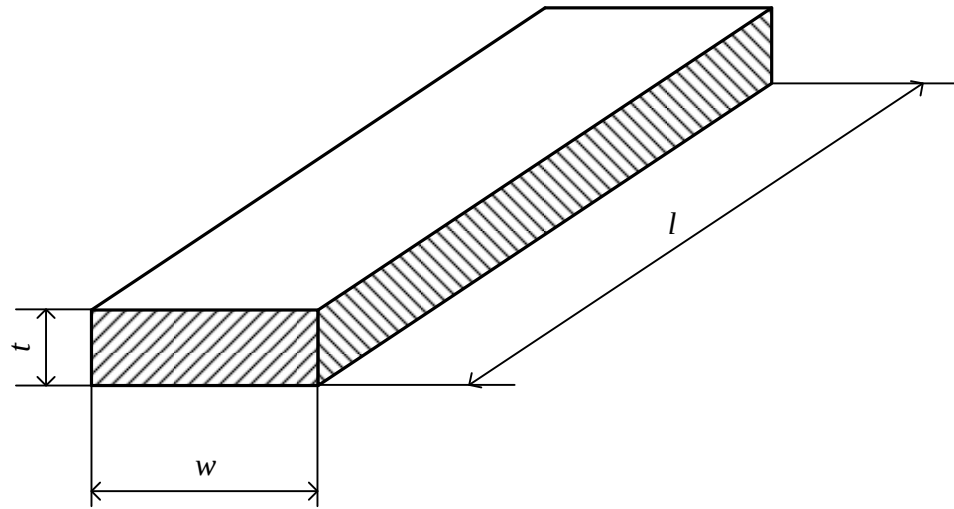
Топологія паралельної
індуктивності у вигляді
разімкнутого (XX)
шлейфу

Паралельна індуктивність

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

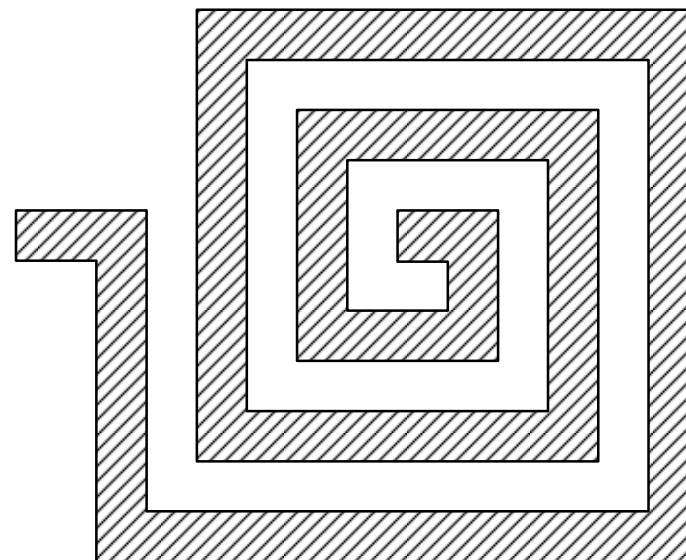
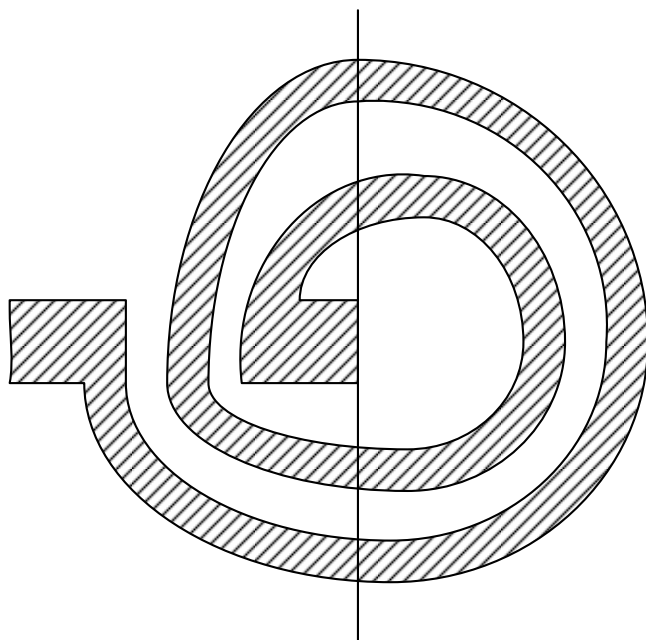
На ХХ шлейфі: $W_1 > W_0$ $\frac{\Lambda}{4} < l < \frac{\Lambda}{2}$

Малі індуктивності (до одиниць нГн)

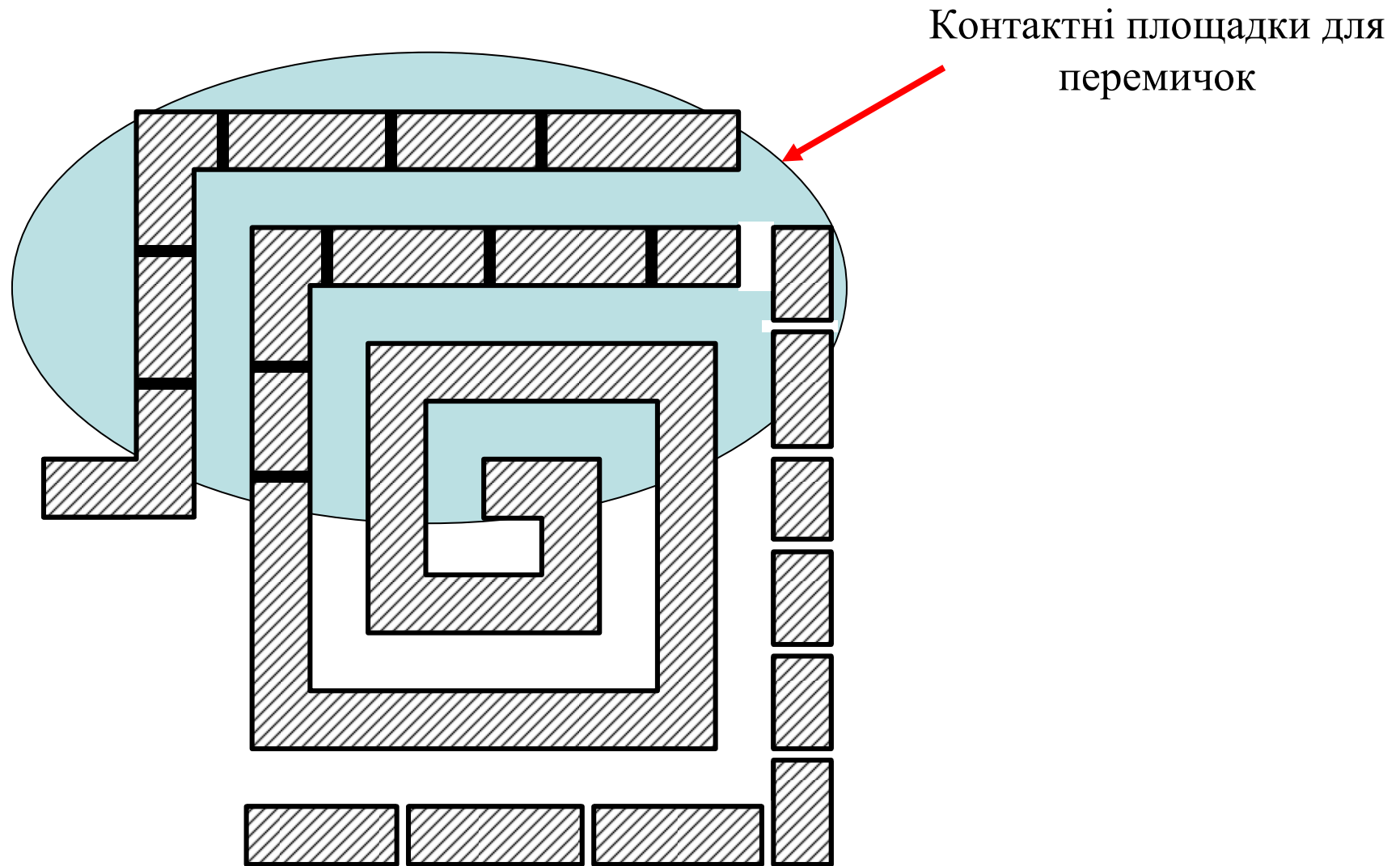


Малі індуктивності

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



Малі індуктивності



Індуктивності

Висновки по топологіям котушок індуктивності:

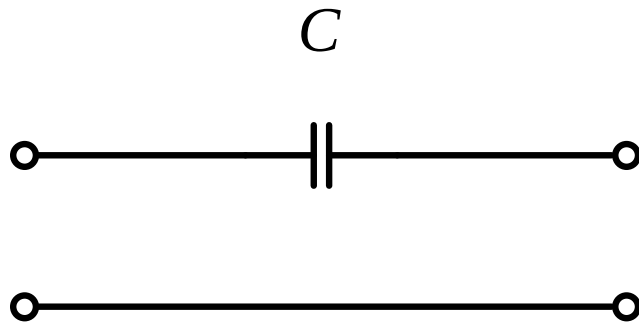
1) При розрахунку індуктивностей впливом екрана можна знехтувати, якщо

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

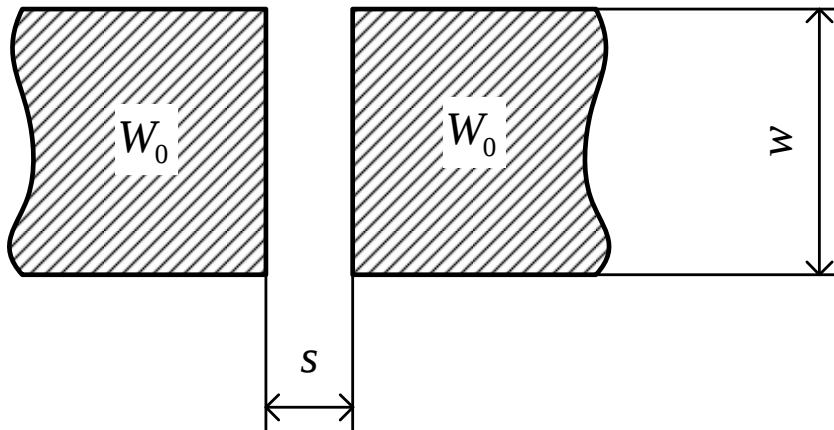
2) Щоб уникнути впливу екрана, металізацію на нижній стороні підкладки безпосередньо під катушкою індуктивності видаляють.

3) Для економії площі плоскі катушки можна виконати багатошаровими (кажна катушка на своїй підкладці, які потім розміщують в одному стовпчику з перемичками).

Ємності. Послідовна ємність



Еквівалентна схема
послідовної ємності

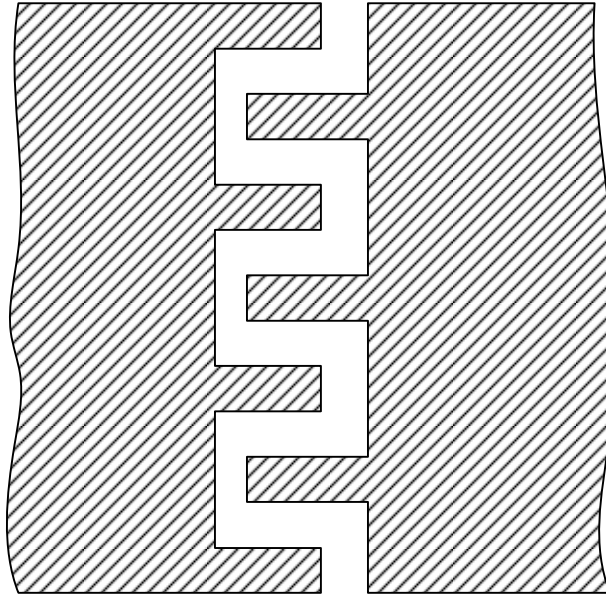


Топологія послідовної
ємності (одиниці пФ)

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

Ємності. Послідовна ємність

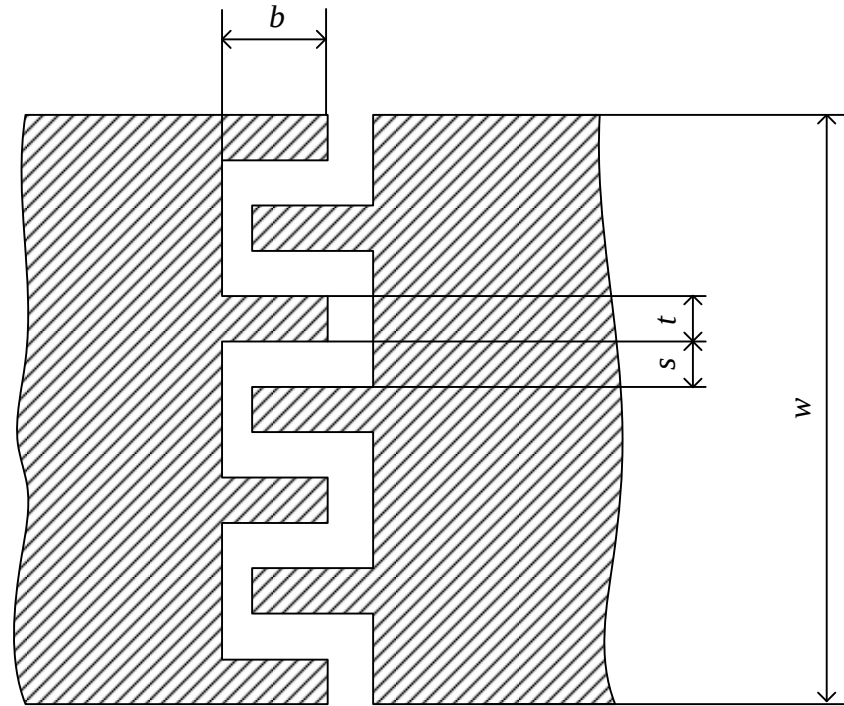
Гребінчаста структура



Її типовий діапазон ємностей 10 ... 20 пФ.

Переваги: більша добротність і більше значення напруги пробою.

Ємності. Послідовна ємність



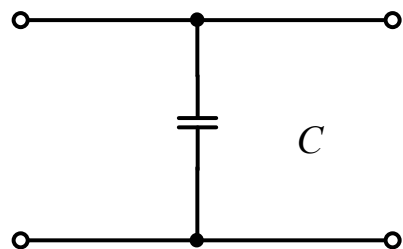
$$C[\text{пФ/од. довж.}] = (\epsilon_r + 1)\epsilon_0 b [2A_1(N - 1) + A_2],$$

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

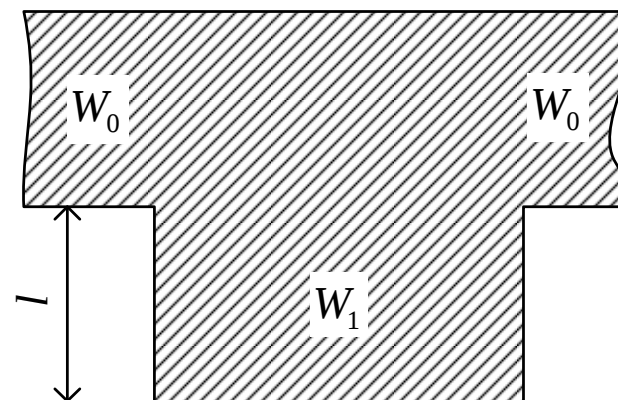
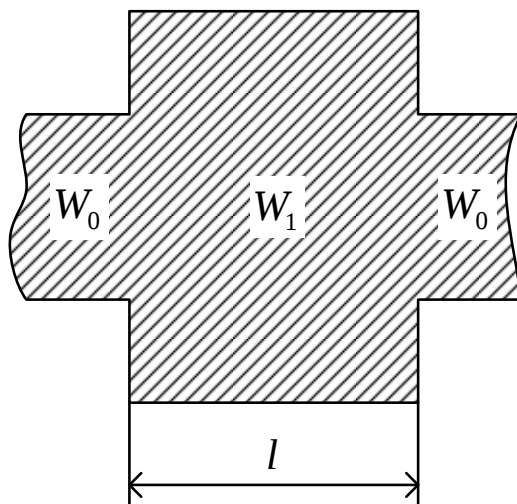
$$A_2 = 0,775 t / (2N - 1)(t + s) + 0,408$$

N – кількість секцій, h – товщина підкладки

Ємності. Паралельна ємність



Еквівалентна схема
паралельної
індуктивності



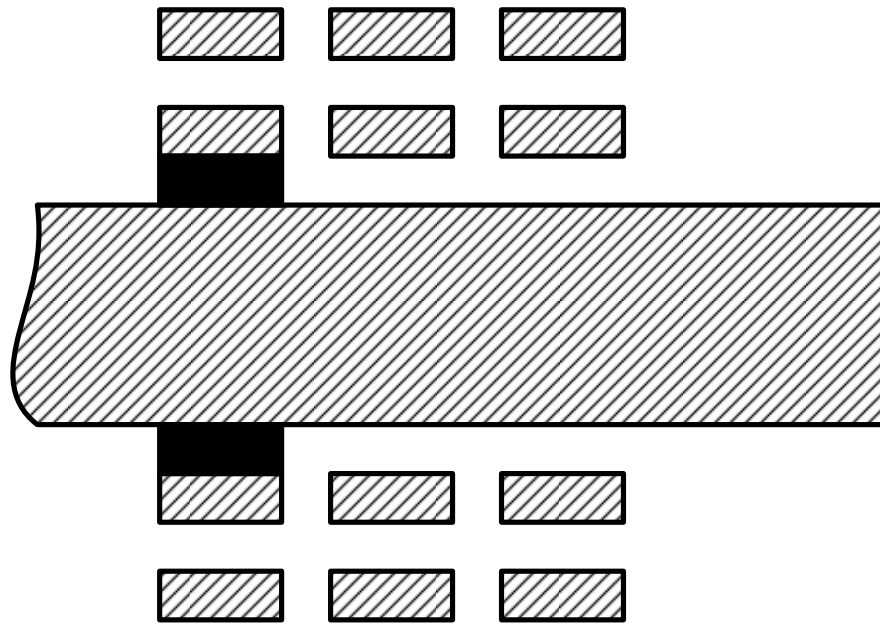
$$W_1 \ll W_0, l < \Lambda/8$$

В обох випадках ємність розраховують за формулою:

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

Ємності. Паралельна ємність

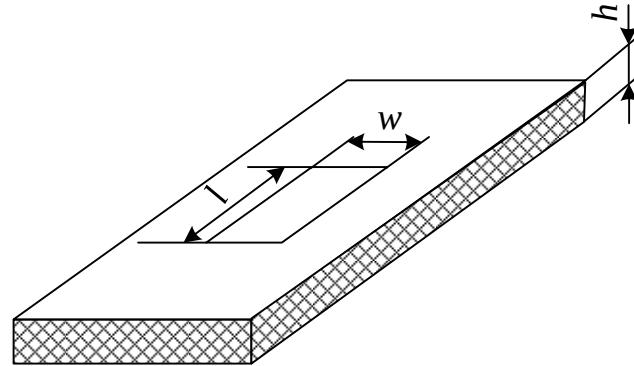
За потреби у підстроюванні ємності використовують сітчасту структуру, окремі комірки якої початково ізольовано одну від одної (рисунок).



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

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

$$C_0 = \varepsilon_0 \varepsilon_r \, wl/h,$$

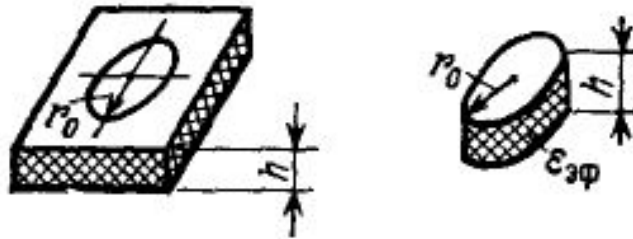
$$C_{k1} = \frac{\varepsilon_0 l}{2} \left[120\pi \frac{W(w, h, 1)}{W^2(w, h, \varepsilon_r)} - \varepsilon_r \frac{w}{h} \right],$$

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

$$l[\mathcal{M}], w[\mathcal{M}], h[\mathcal{M}]$$

Ємності. Паралельна ємність

Паралельна ємність у вигляді плоского конденсатора круглого перерізу на матеріалі підкладки



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

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

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

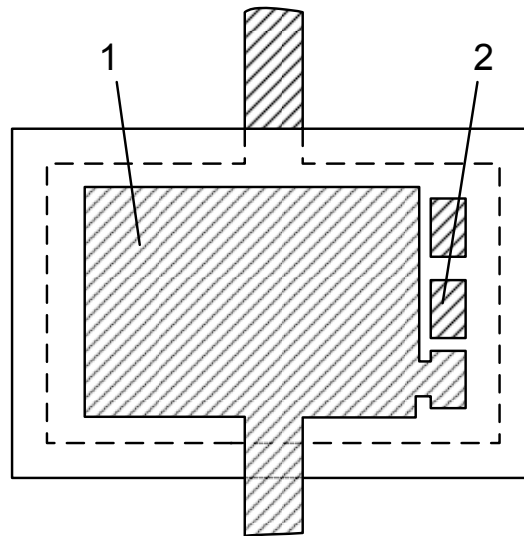
$r_0[\text{м}], h[\text{м}]$

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)

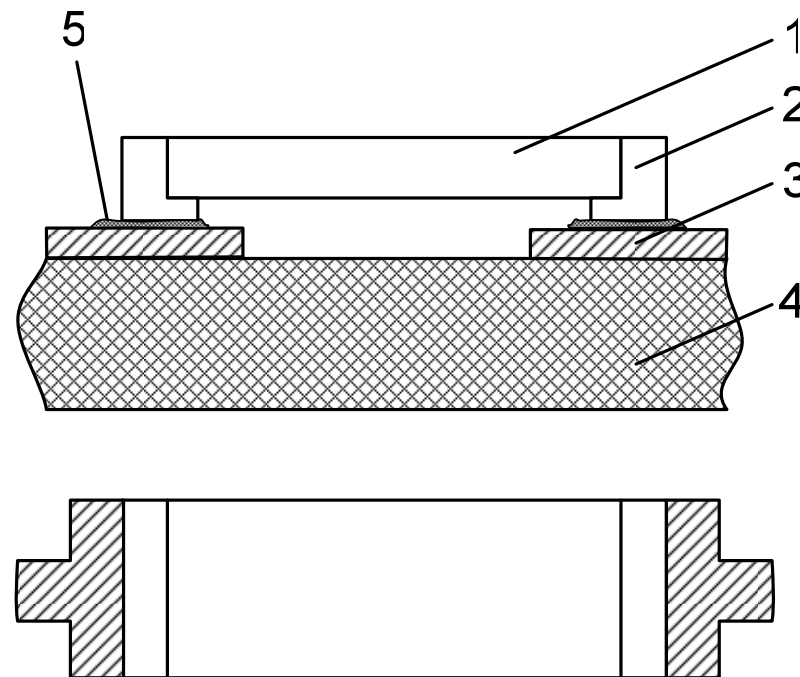
Ємності. Послідовна ємність

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 – контактна площадка; 4 – підкладка; 5 – припій)

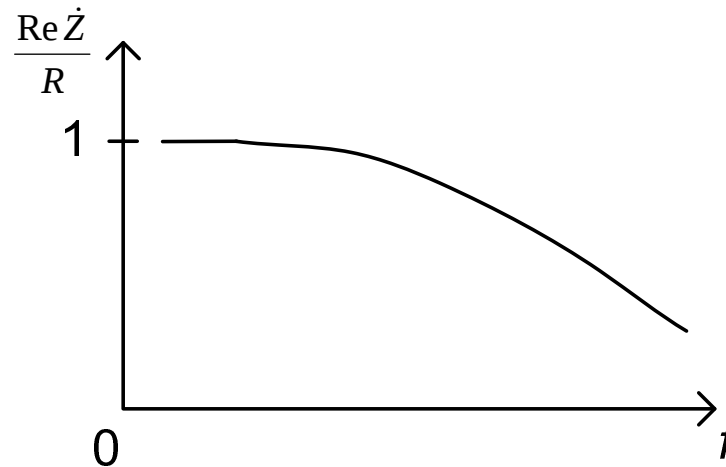
Резистори

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

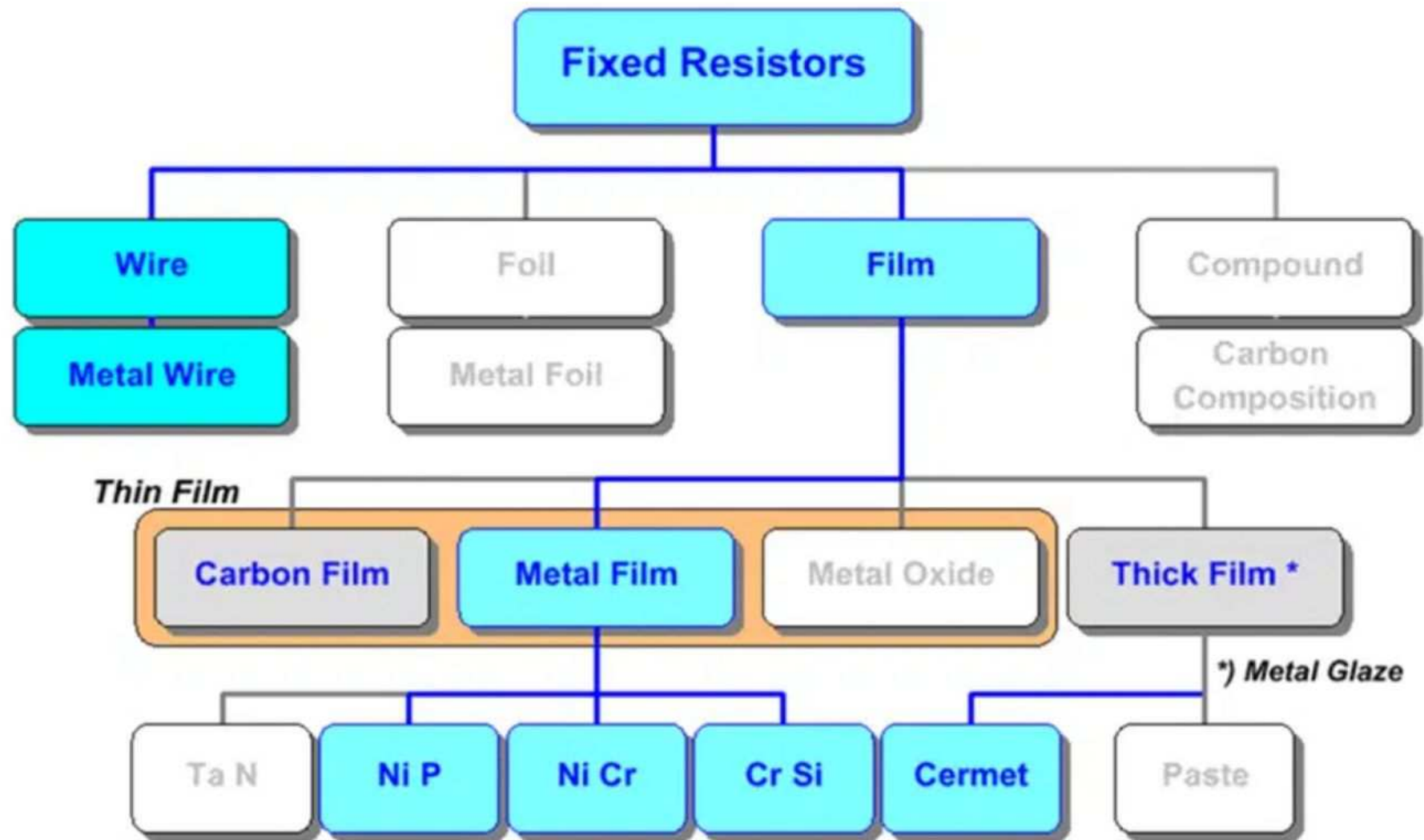
Резистори

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 базі 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 індуктивності (див. слайд 6).

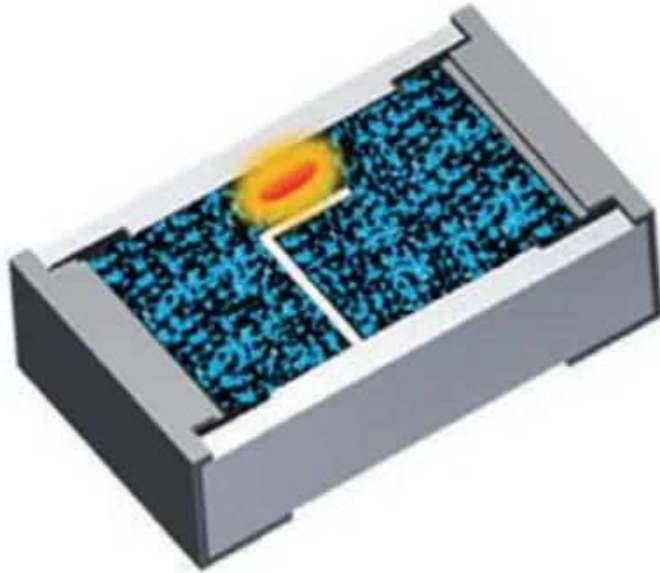
Зосереджений резистор є відрізком ЛП з великим поверхневим опором. Здебільшого форма резистора з зосередженими параметрами – прямокутна (два наступні слайди).

Резистори

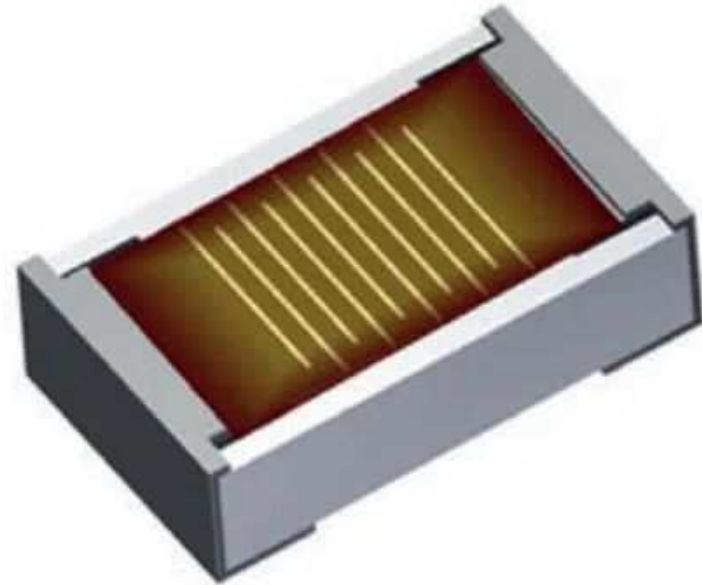


Основні технології постійних зосереджених резисторів

Резистори



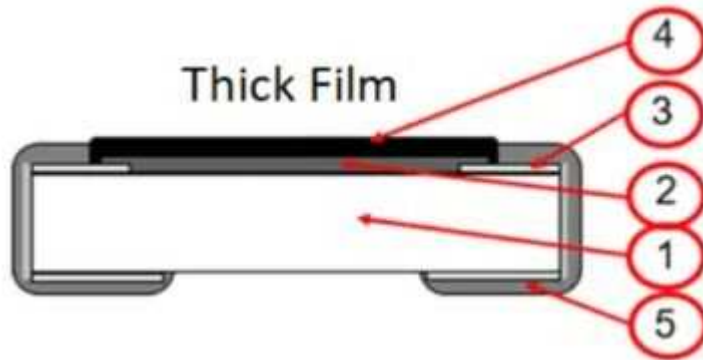
Thick Film Chip Resistor



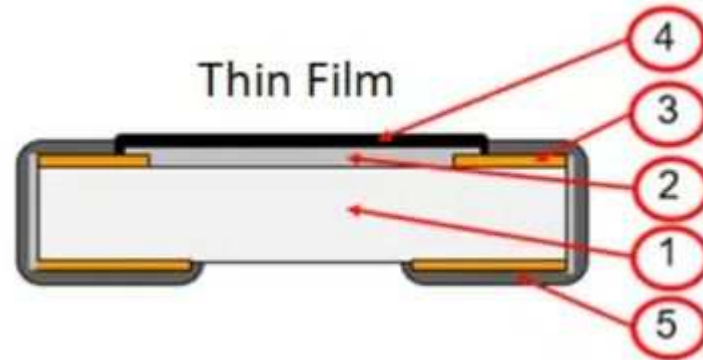
Thin Film Chip Resistor

*Типовий зовнішній вигляд товстоплівкових (**thick** film) та тонкоплівкових (**thin** film) резисторів*

Резистори



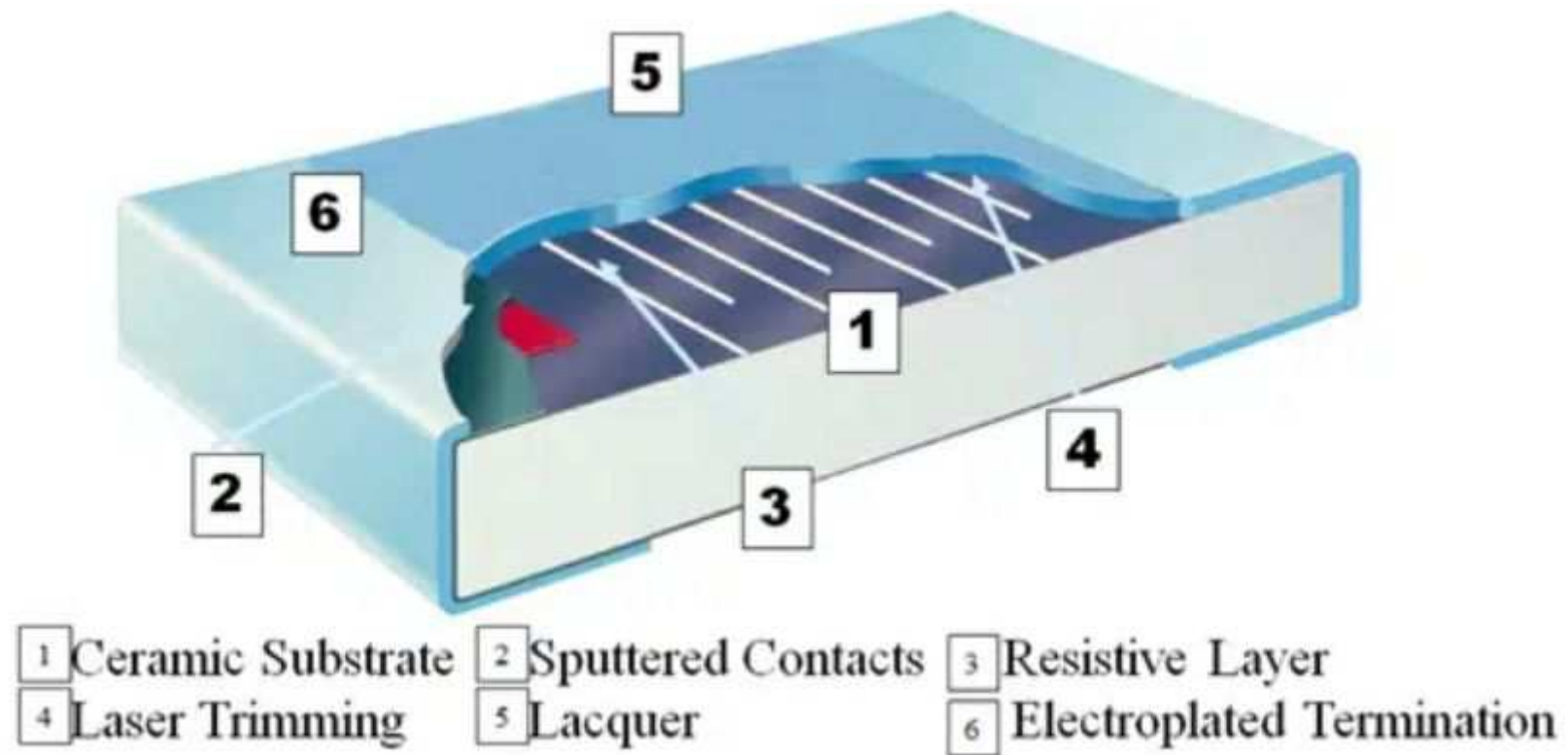
No.	Process Layer	Materials
1	Substrate	Al ₂ O ₃
2	Resistive layer	RuO ₂ + glass
3	Electrode	Ag + Pd
4	Over coat	Epoxy
5	Solder layer	Ni / Sn



No.	Process Layer	Materials
1	Substrate	Al ₂ O ₃
2	Resistive layer	NiCr alloy
3	Electrode	Ag Cu
4	Over coat	Epoxy
5	Solder layer	Ni / Sn

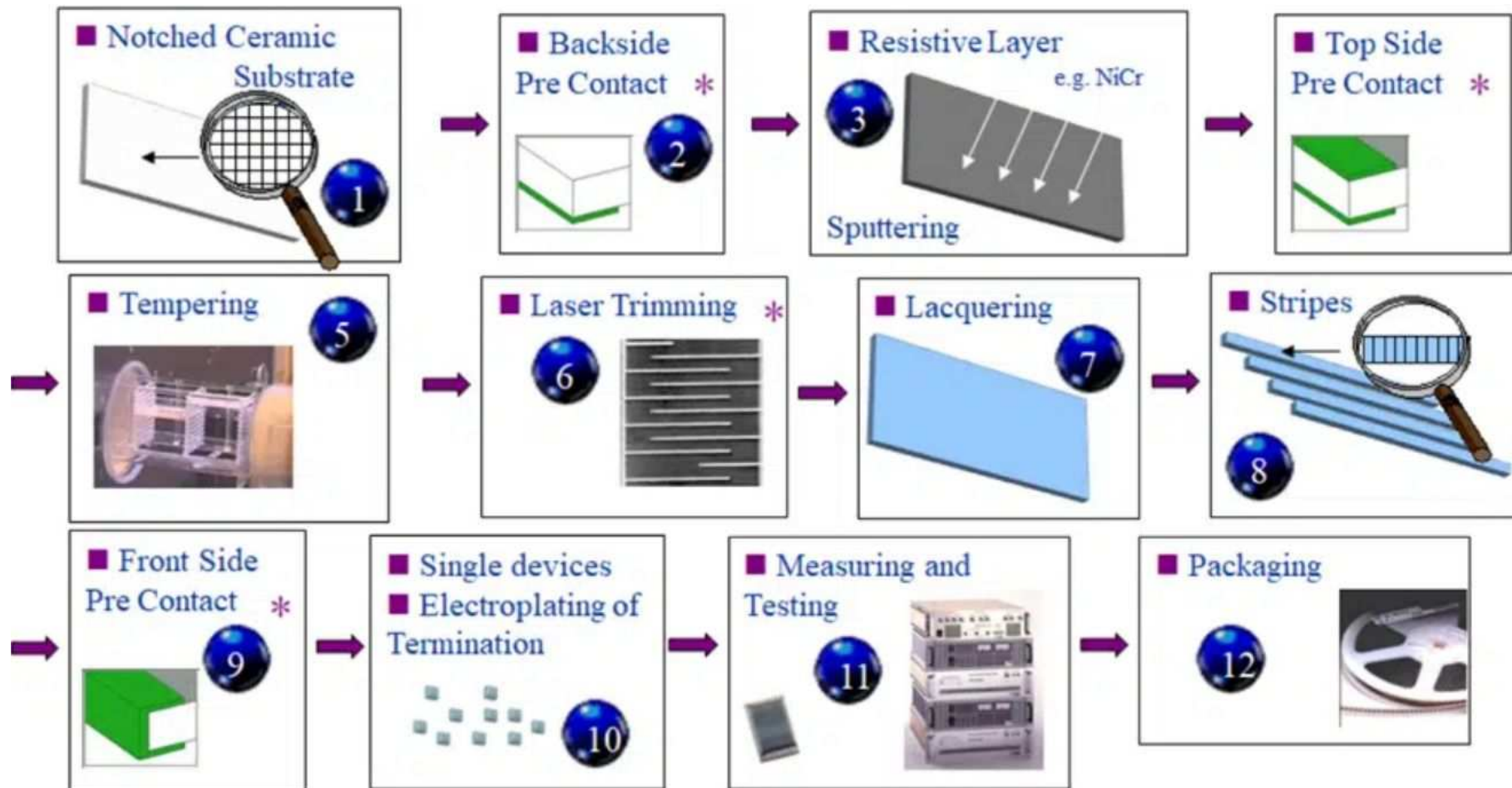
Поперечний переріз товстоплівкових та тонкоплівкових резисторів

Резистори



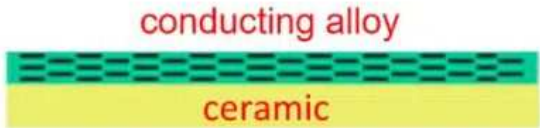
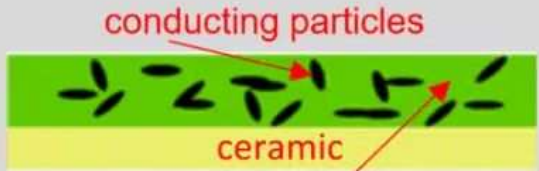
Будова тонкоплівкового резистора

Резистори



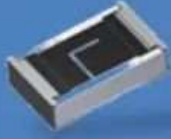
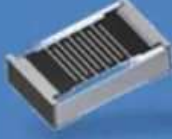
Технологія виготовлення тонкоплівкового резистора

Резистори

Thin Film	Thick Film
<u>Material Characteristics</u> • Homogeneous metallic films  conducting alloy ceramic <u>Product Characteristics</u> • Typical Resistance Range = 1 to 20M • TCR = 2 ppm/°C to 100 ppm/°C • Resistance Tolerance = 0.01% to 1% • Typical Lifetime Stability % $\Delta R / R = 0.1\%$ to 0.5% • Current noise $\mu V / V = < 0.1$	<u>Material Characteristics</u> • Grain containing paste  conducting particles ceramic binders, solvents (glass frit) <u>Product Characteristics</u> • Typical Resistance Range = 0.01 to 100M • TCR = 50 ppm/°C to 1000 ppm/°C • Resistance Tolerance = 0.5% to 10% • Typical Lifetime Stability % $\Delta R / R = 1\%$ to 3% • Current noise $\mu V / V = < 10$

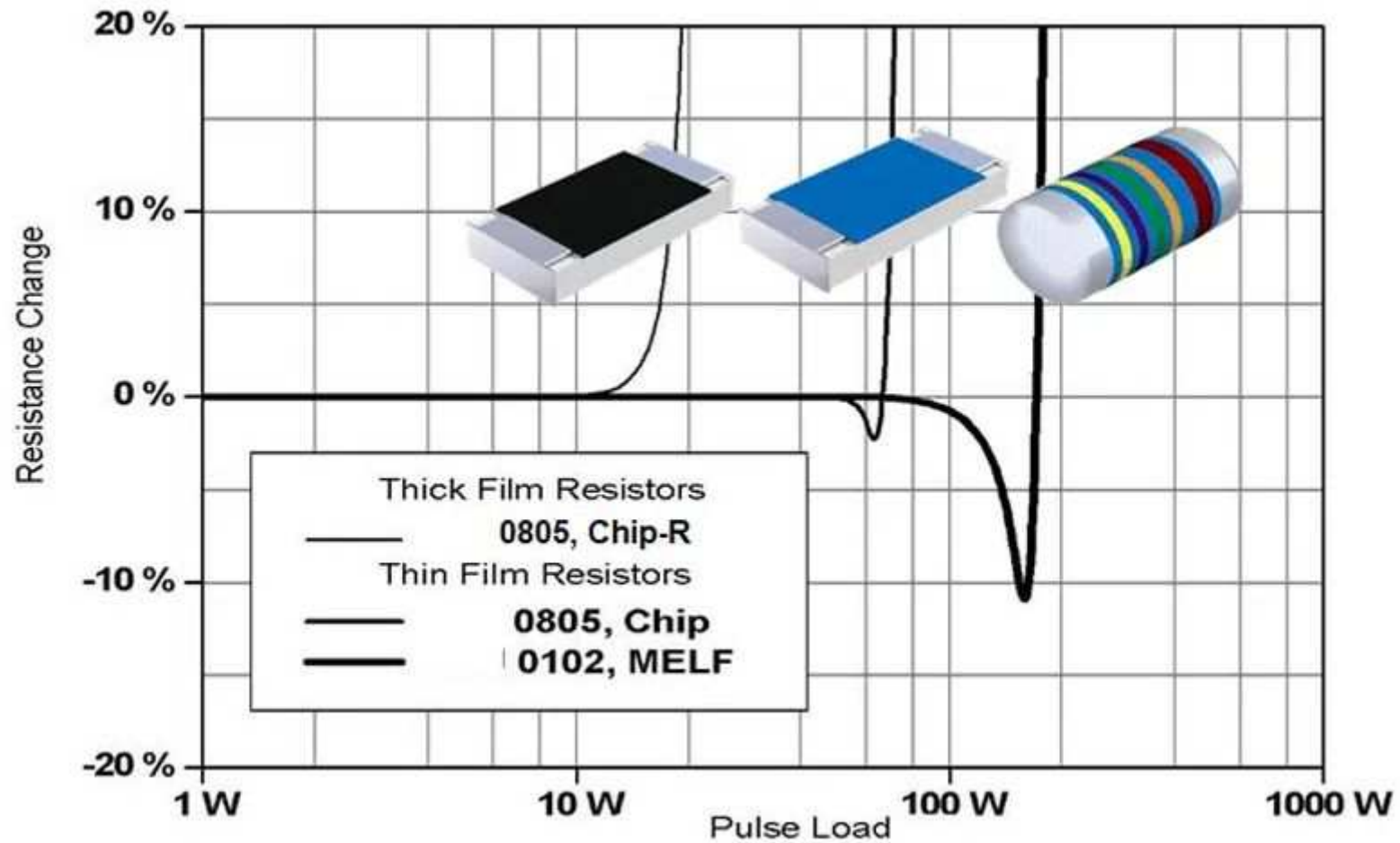
Характеристики товстоплівкових та тонкоплівкових резисторів

Резистори

SMD R-Type	Thick Film Chip 	Thin Film Chip 	Thin Film MELF 
Max. Surface Load [W/mm ²]	100 %	>75 %	20 %
max. Field Strength per $\square$ [V/m]	100 %	33 %	3 %
Thermal Capacity of body [J/K]	60 %	60 %	100 %

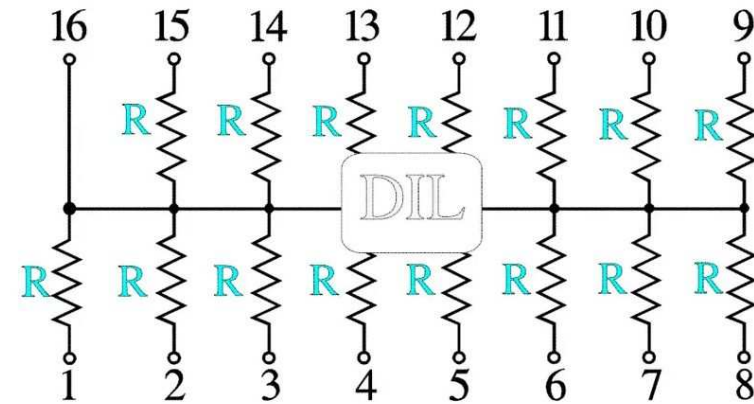
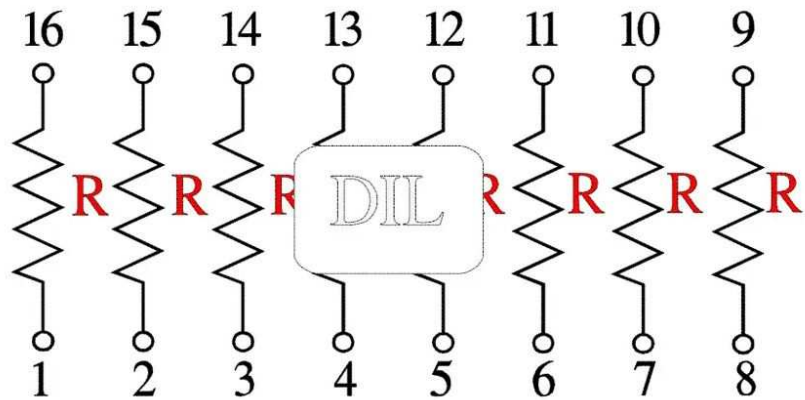
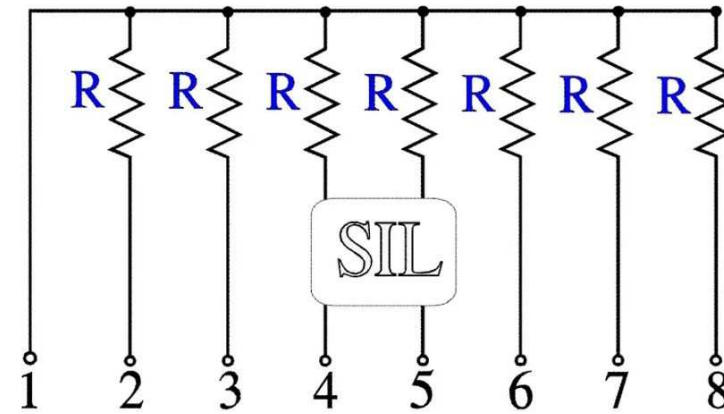
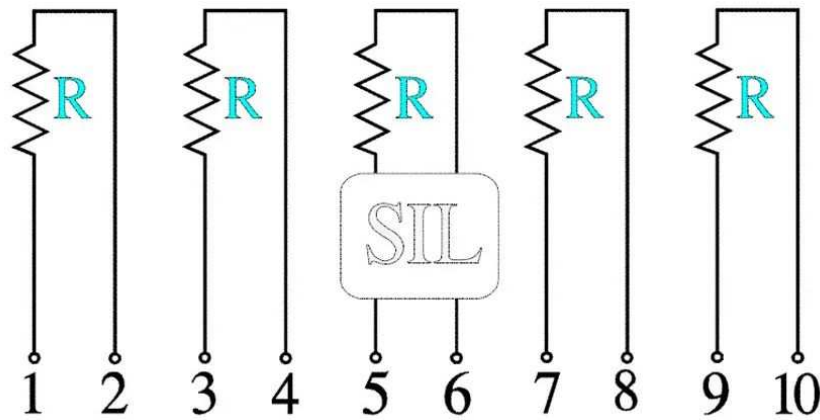
Порівняння різних типів постійних резисторів

Резистори



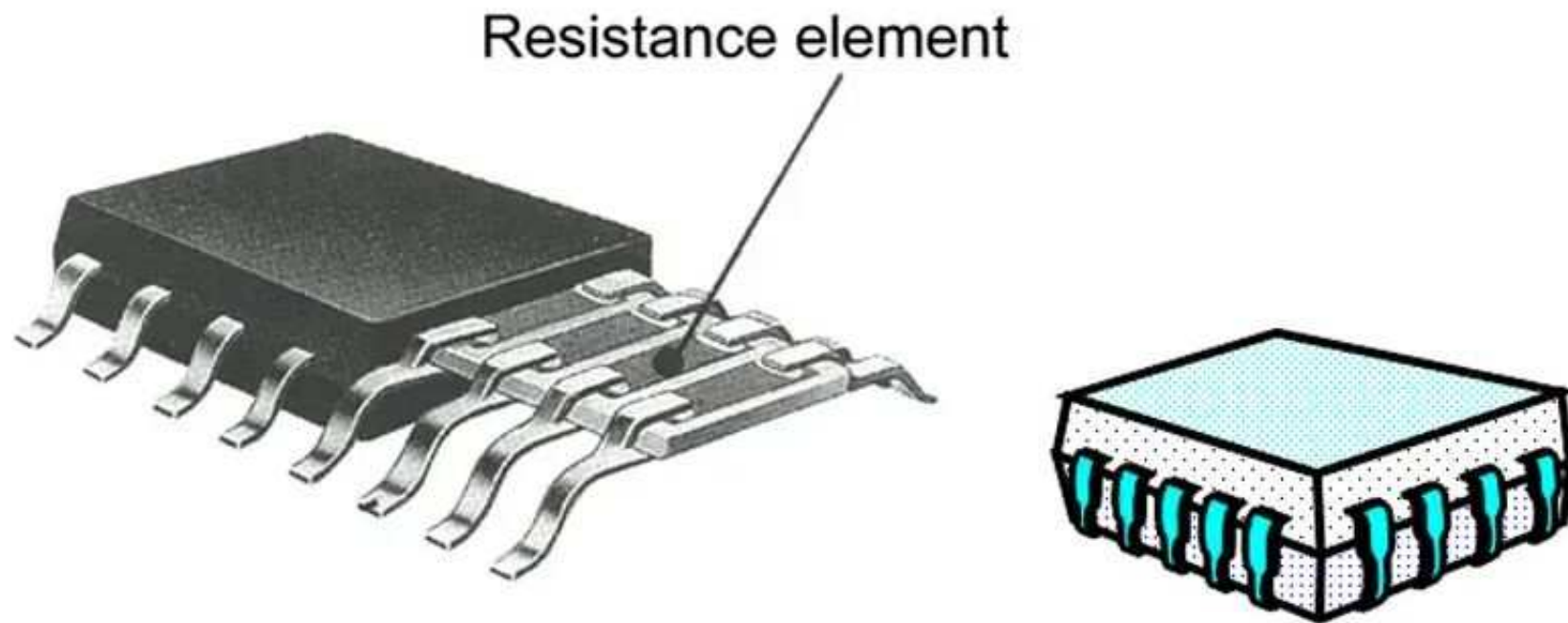
Порівняння зміни опору від розсіюваної потужності різних типів резисторів

Резистори



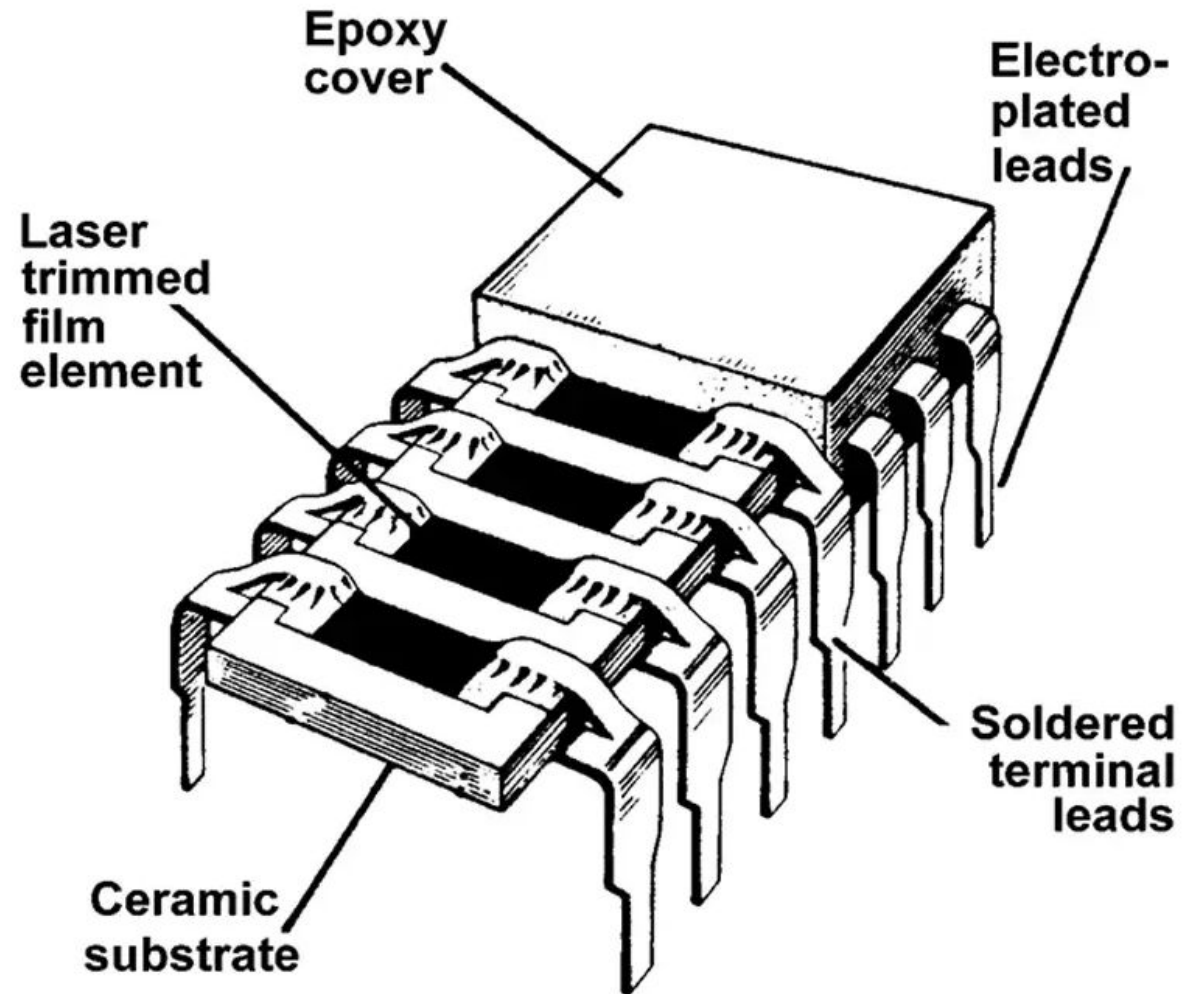
Основні типи матриць постійних резисторів

Резистори



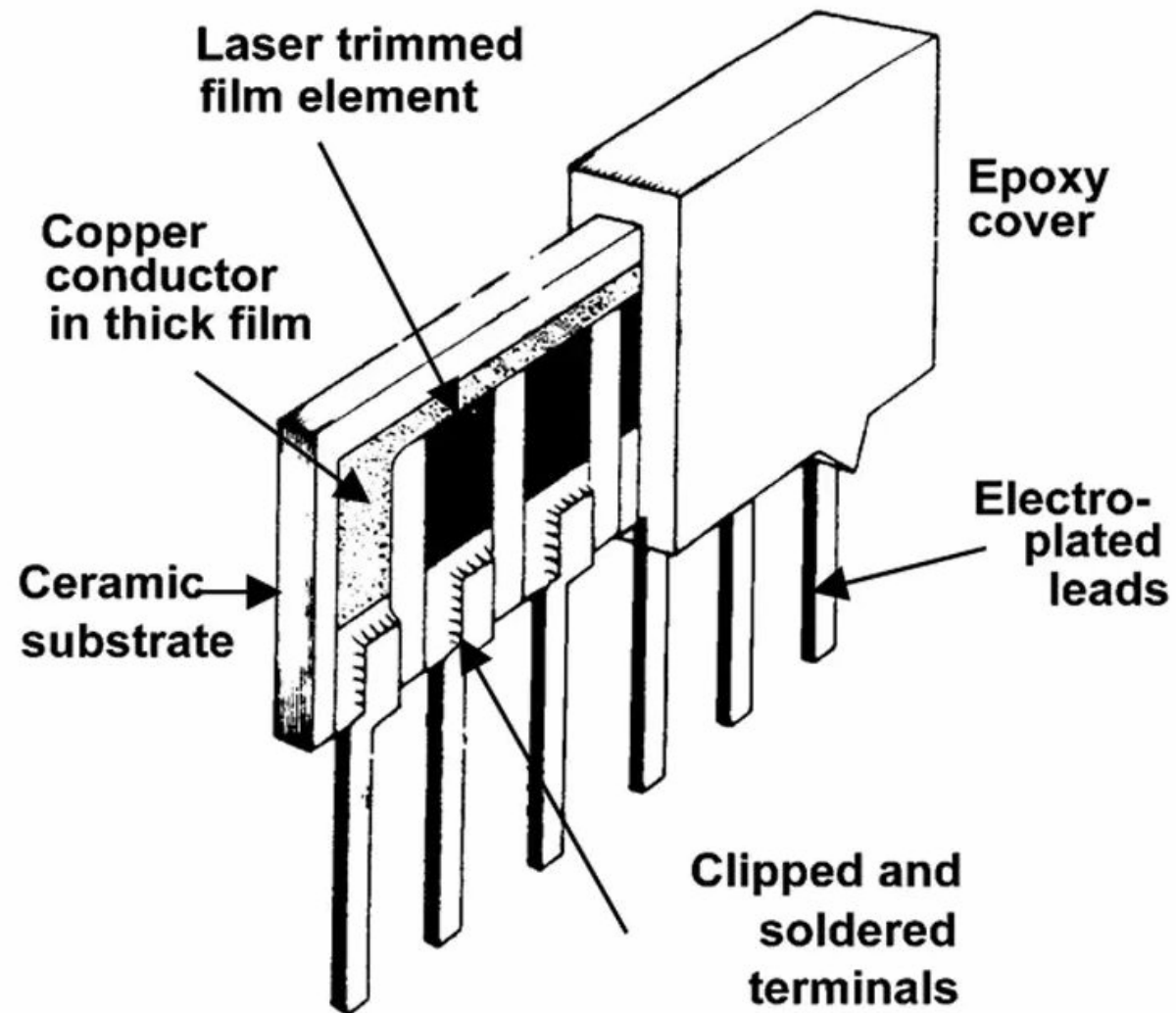
Приклади будови матриць постійних резисторів

Резистори



Приклади будови матриць постійних резисторів

Резистори



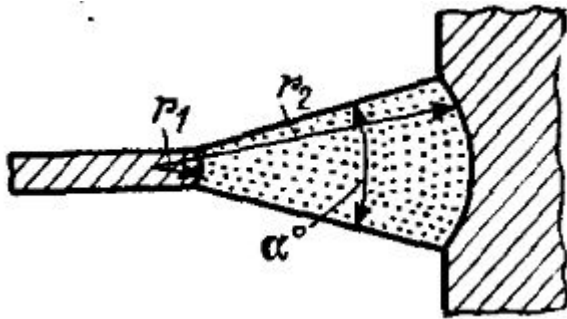
Приклади будови матриць постійних резисторів

Резистори

Однією з найважливіших характеристик резисторів є допустима потужність розсіяння, 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 розсіяння становить 5...10 Вт на кв. см.

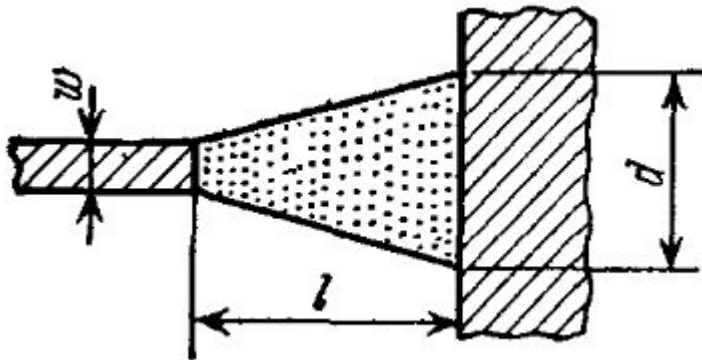
Щоб уникнути локальних перегрівів, резистори зазвичай проектують на потужність розсіяння близько 0,5 Вт. За більшої потужності розсіяння використовують розподілені резистори, або резистори у формі сектора чи трапеції – див. рисунки на наст. слайді.

Резистори



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

Резистор у формі сектора

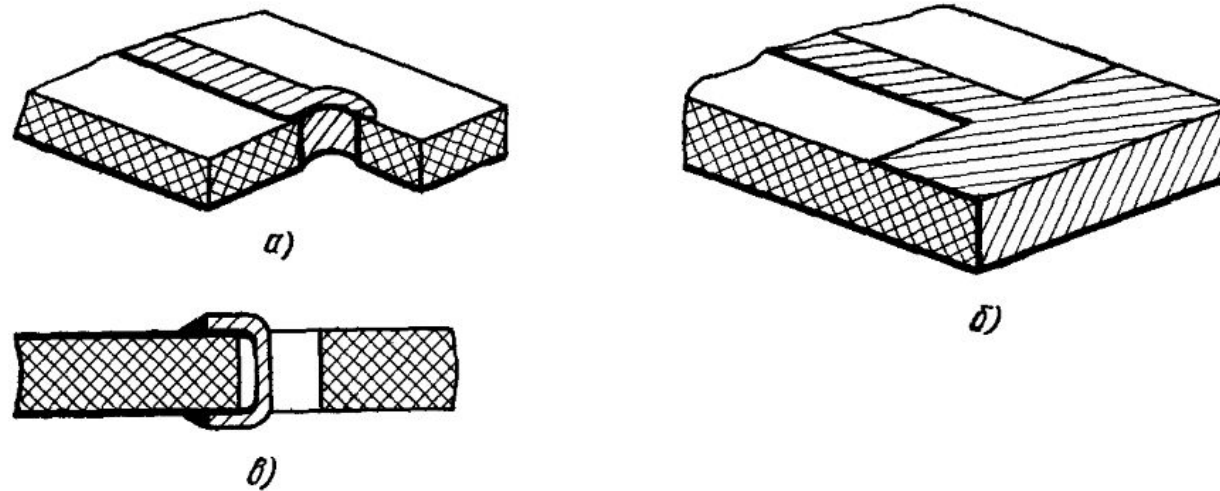


$$R[\text{ОМ}] = \frac{R_s l}{d - w} \ln \frac{d}{w}$$

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.

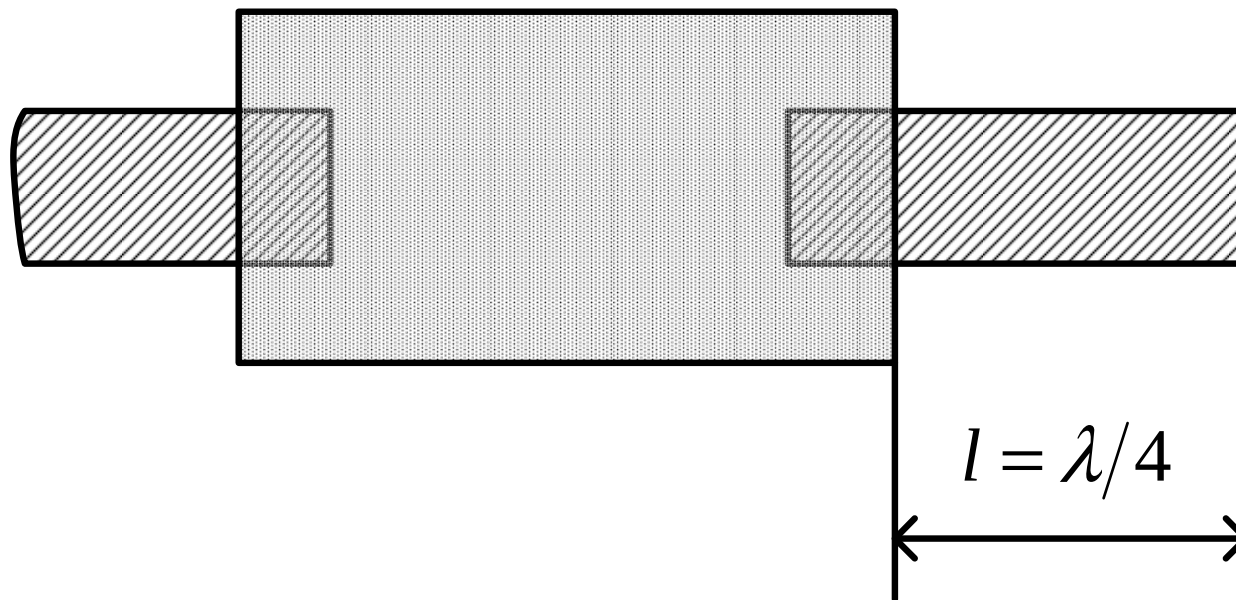


Основні елементи заземлення

(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.

Інтернет-джерела

1. <https://passive-components.eu/>