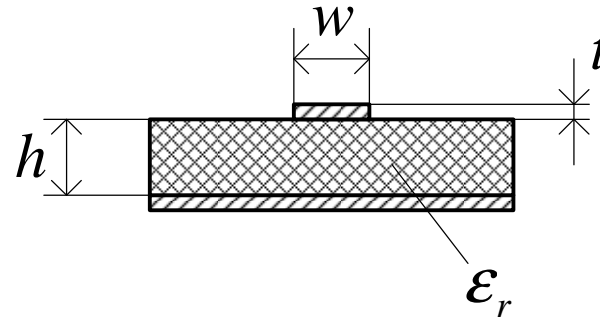


**Мікрохвильові пристрої та технології**

**Розрахунок параметрів основних  
інтегральних ліній передач  
мікрохвильових пристроїв**

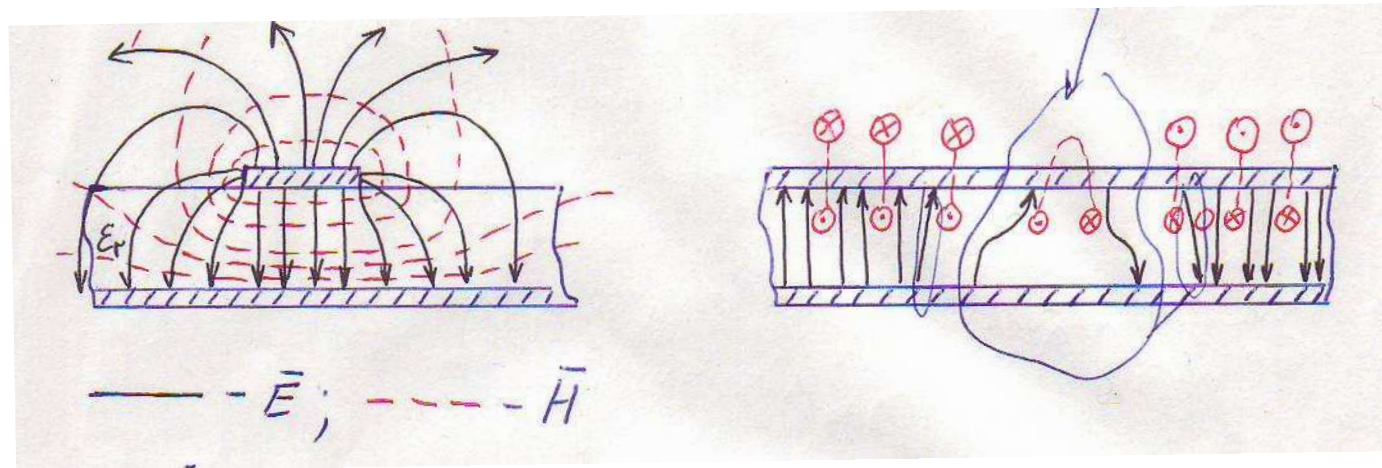
## Смужкова (несиметрична) лінія

Розміри ЛП:



**Якщо діелектрична проникність підкладки 6...10, а її товщина менша чи становить 1 мм, то її називають мікросмужковою лінією (МСЛ).**

Основний тип хвилі – квазі-ТЕМ (див. рисунок)



## Смужкова (несиметрична) лінія

**Щоб поле на крайках не призвело до паразитних зв'язків з іншими ЛП, їхні смужки мають бути віддалені одна від одної хоча б на  $3h$ .**

**Робоча частота МСЛ має бути менша за певні критичні частоти, при яких виникають паразитні коливання двох видів:**

1) Поверхневі хвилі, які поширюються по поверхні діелектричної підкладки (субстрату) на її крайці з заземленою площадкою. Якщо фазова швидкість цієї поверхневої хвилі буде дорівнювати фазовій швидкості робочої квазі-ТЕМ хвилі, то виникне їхня взаємодія.

При цьому критична (максимальна) частота цих поверхневих хвиль:

$$f_{cr1} [\text{ГГц}] \cong 75 / (h [\text{мм}] \sqrt{\epsilon_r - 1})$$

## Смужкова (несиметрична) лінія

2) Поперечні резонансні коливання, які поширюються між смужкою провідника та заземленою основою (характерно для МСЛ з широким провідником). Їхня максимальна частота:

$$f_{cr2} [\text{ГГц}] \cong 107,5 / \left( h [\text{мм}] \sqrt{\epsilon_r - 1} \right)$$

При  $w=h$ :  $f_{cr2} > f_{cr1}$ .

Хвилевий опір МСЛ:

при  $w/h > 1$ :

$$W = \frac{120\pi}{\sqrt{\epsilon_{eff}} \left[ w/h + 1,393 + 0,667 \ln(w/h + 1,444) \right]},$$

при  $w/h < 1$ :

$$W = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \ln \left[ 8 \frac{h}{w} + 0,25 \frac{w}{h} \right],$$

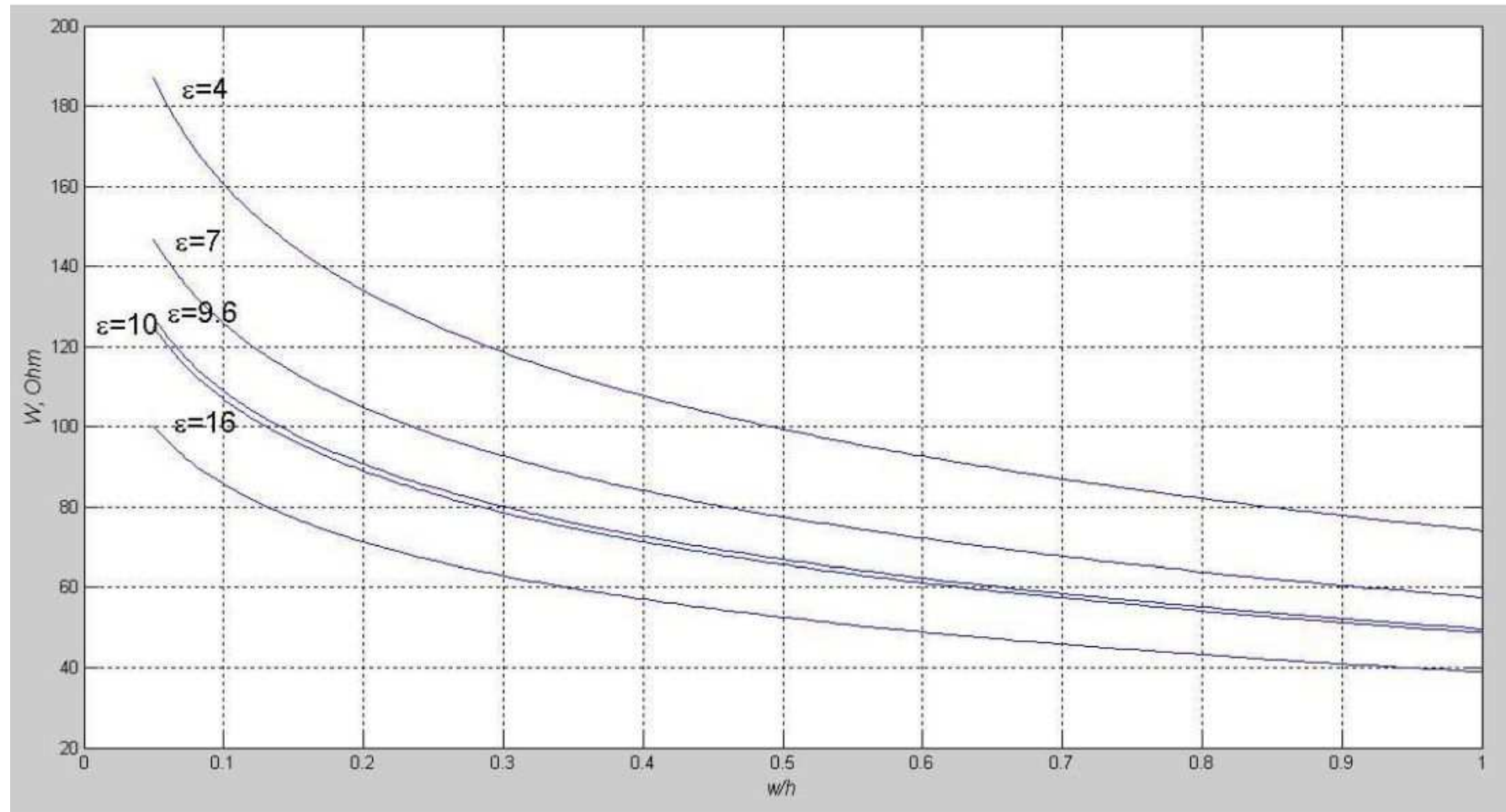
## Смужкова (несиметрична) лінія

де 
$$\varepsilon_{eff} = \frac{\varepsilon_r + 1}{2} + \frac{\varepsilon_r - 1}{2F(w/h)},$$

$$F(w/h) = \sqrt{1 + 12 \frac{h}{w}} \text{ при } w/h > 1;$$

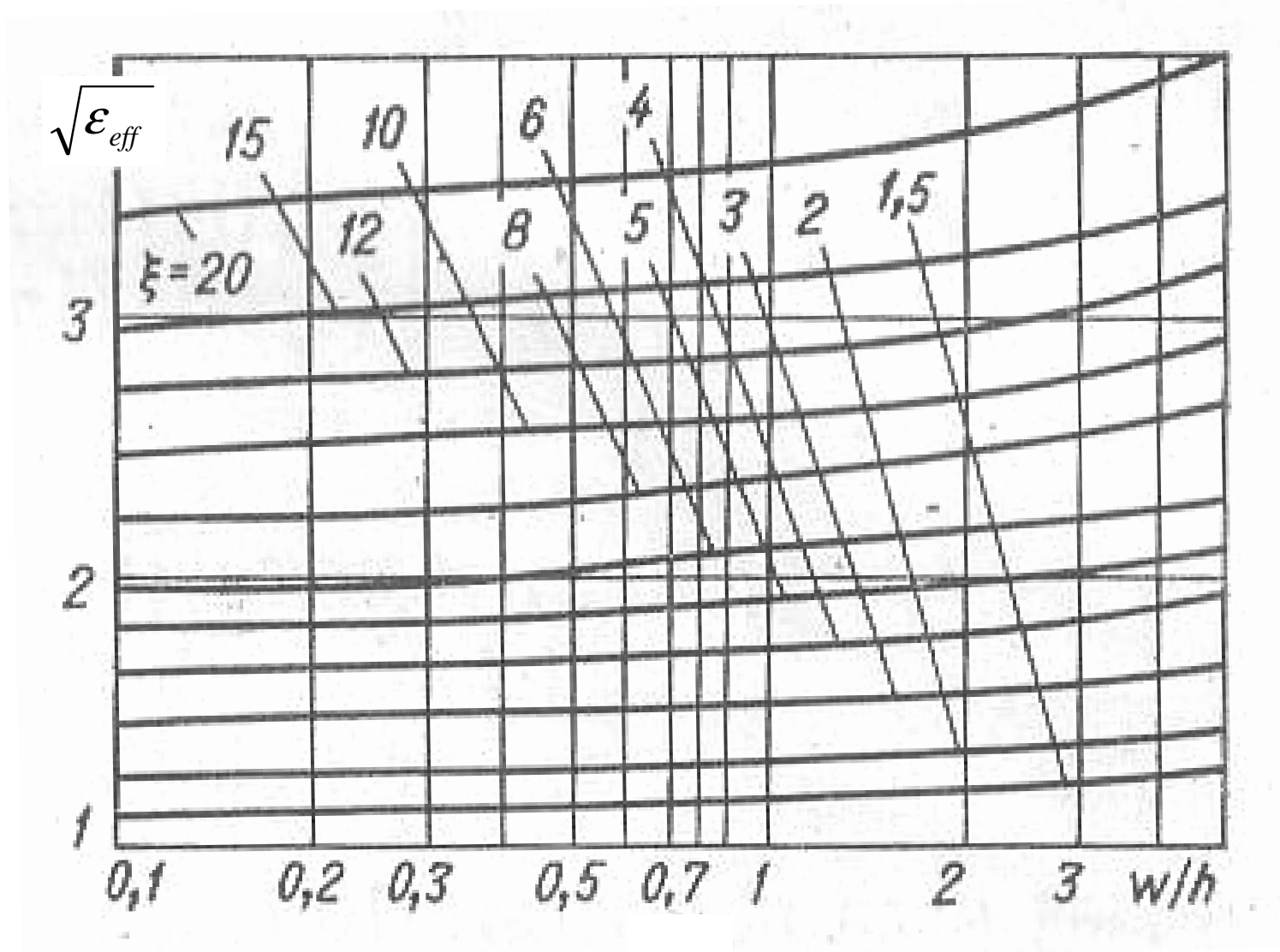
$$F(w/h) = \frac{1}{\left[ \frac{1}{\sqrt{1 + 12 \frac{h}{w}}} + 0,04 \left( 1 - \frac{w}{h} \right)^2 \right]} \text{ при } w/h < 1.$$

## Смужкова (несиметрична) лінія



Залежність хвильового опору МСЛ від її геометрії для різних проникностей

## Смужкова (несиметрична) лінія



Залежність коефіцієнта укорочення (сповільнення) МСЛ від її геометрії для різних проникностей

## Смужкова (несиметрична) лінія

Вплив частоти на ефективну діелектричну проникність (відносна похибка виразів до 2 % при частотах до 100 ГГц):

$$\varepsilon_{eff}(f) = \varepsilon_r - [\varepsilon_r - \varepsilon_{eff}(0)] / [1 + (f/f_{50})^m],$$

$$m = m_0 m_c, \quad m_0 = 1 + \frac{1}{1 + \sqrt{w/h}} + 0,32 \left( \frac{1}{1 + \sqrt{w/h}} \right)^3,$$

$$m_c = \begin{cases} 1, & w/h > 0,7 \\ 1 + \frac{1,4}{1 + w/h} [0,15 - 0,235 \exp(-0,45 f/f_{50})], & w/h < 0,7 \end{cases}$$

$$f_{50} = f_{TM} / [0,75 + (0,75 - 0,332/\varepsilon_r^{1,73})w/h],$$

$$f_{TM} = \frac{3 \cdot 10^8}{2\pi h \sqrt{\varepsilon_r - \varepsilon_{eff}(0)}} \operatorname{arctg} \left( \varepsilon_r \sqrt{\frac{\varepsilon_{eff}(0) - 1}{\varepsilon_r - \varepsilon_{eff}(0)}} \right).$$

Всі вирази справедливі при:  $0,1 < w/h \leq 10; 1 \leq \varepsilon_r \leq 128.$



## Смужкова (несиметрична) лінія

Погонне затухання МСЛ:

$$\alpha = \alpha_{\text{д}} + \alpha_{\text{м}} + \alpha_{\Sigma},$$

$$\alpha_{\text{д}} = 27,3 \frac{\epsilon_r}{\epsilon_r - 1} \frac{\epsilon_{\text{eff}} - 1}{\sqrt{\epsilon_{\text{eff}}}} \frac{\text{tg } \delta}{\lambda},$$

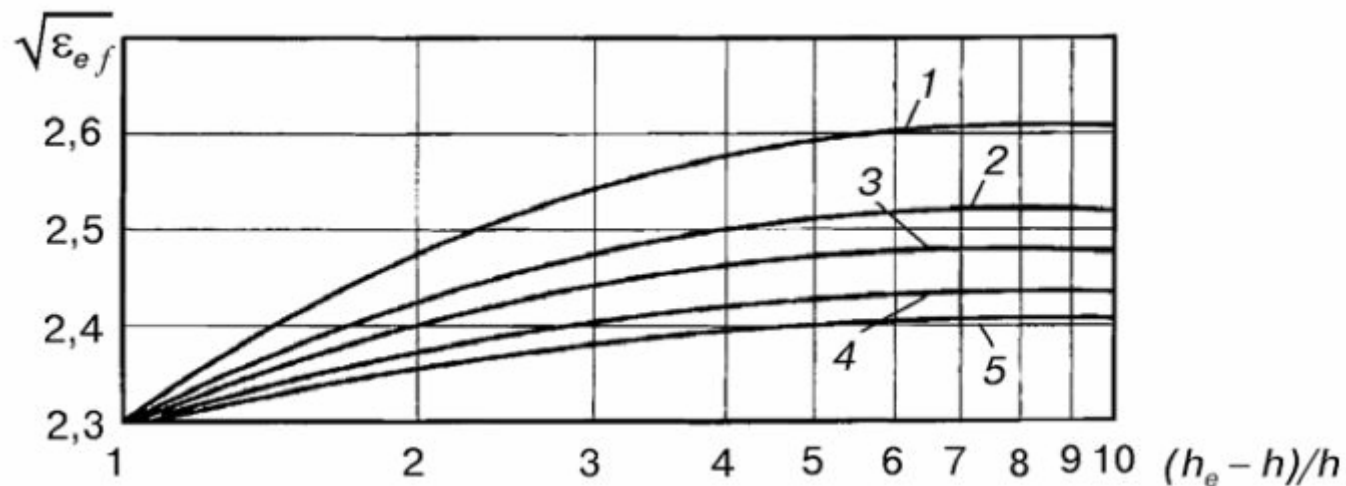
$$\alpha_{\text{м}} = 8,7 R_s / (Ww),$$

$$\alpha_{\Sigma} = \frac{320}{W} \left( \frac{\pi h}{\lambda^2} \right)^2,$$

## Смужкова (несиметрична) лінія

Якщо МСЛ виконано в екрані, то ЕМП деформується, причому деформація супроводжується зменшенням  $\alpha_{\Sigma}$ .

**При цьому вплив екрану тим більший, чим менша висота екрану над підкладкою.**



Залежність коефіцієнта сповільнення (укорочення) хвилі у МСЛ від відносної висоти розташування екрану при: 1 – для  $w/h=2$ ; 2 – для  $w/h=1$ ; 3 – для  $w/h=0,6$ ; 4 – для  $w/h=0,3$ ; 5 – для  $w/h=0,2$

Висновки:

- 1) при  $h_e > 10h$  впливом екрану можна знехтувати;
- 2) при  $\frac{h_e - h}{h} = 1 \Rightarrow \epsilon_{eff} = 0,5(\epsilon_r + 1)$  незалежно від розмірів лінії.

## Смужкова (несиметрична) лінія

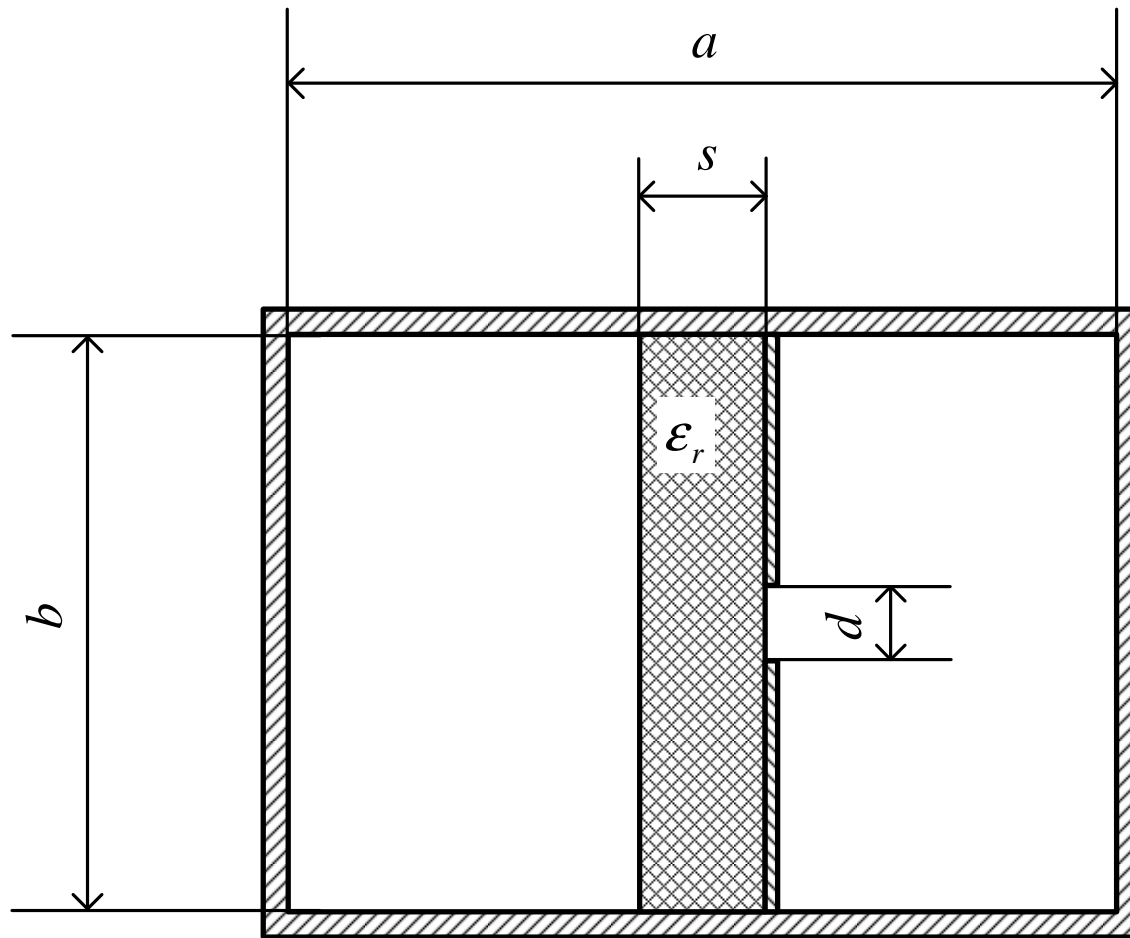
### Переваги МСЛ:

- МСЛ та елементи з її використанням широко використовують для формування GaAs-монолітних схем;
- технологічна простота;
- зручність встановлення на неї активних елементів;
- максимальна частота близько 100 ГГц.

### Недоліки МСЛ:

- відносно велике погонне затухання;
- слабе екранування;
- розташування провідника та металевого екрану по різні сторони підкладки ускладнюють заземлення активних елементів і пасивних вузлів.

# Симетрична одностороння хвилеводно-щілинна лінія



## Симетрична одностороння хвилеводно-щілинна лінія

Хвильовий опір ХЩЛ (без урахування товщини смужок):

$$W = \frac{240\pi^2 (PX + Q) \frac{b}{a}}{\sqrt{\varepsilon_{eff}(f)} (0,385X + 1,762)^2},$$

$$\varepsilon_{eff}(f) = k_1 - \left(\frac{\lambda_0}{\lambda_{ca}}\right)^2,$$

де для  $d/b > 0,3$ :

$$P = -0,763 \left(\frac{b}{\lambda_0}\right)^2 + 0,58 \left(\frac{b}{\lambda_0}\right) + 0,0775 \left[\ln\left(\frac{a}{s}\right)\right]^2 - 0,668 \left(\ln \frac{a}{s}\right) + 1,262,$$

$$Q = 0,372 \left(\frac{b}{\lambda_0}\right) + 0,914;$$

## Симетрична одностороння хвилеводно-щілинна лінія

де для  $d/b < 0,3$ :

$$P = -0,17 \left( \frac{b}{\lambda_0} \right) + 0,0098, \quad Q = 0,138 \left( \frac{b}{\lambda_0} \right) + 0,873;$$

тут

$$X = \ln \operatorname{csc} \left( \frac{\pi d}{2b} \right).$$

Для тонких діелектриків та малих проникностей:

$$k_l \approx k_c = \left( \frac{\lambda_{cd}}{\lambda_{ca}} \right)^2,$$

$$\lambda_{cd} = 2(a-s) \sqrt{1 + N \left[ 1 - \frac{s}{a} (-0,0769 \varepsilon_r + 1,231) F \left( \frac{s}{a} \right) X_a \right]},$$

$$\lambda_{ca} = 2a \sqrt{1 + \frac{4}{\pi} \frac{b}{a} \left( 1 + 0,2 \sqrt{\frac{b}{a}} \right) \ln \operatorname{csc} \left( \frac{\pi d}{2b} \right)},$$

## Симетрична одностороння хвилеводно-щілинна лінія

$$N = \frac{4}{\pi} \frac{b}{a-s} \left( 1 + 0,2 \sqrt{\frac{b}{a-s}} \right),$$

$$X_a = \ln \operatorname{csc} \left( \frac{\pi d}{2b} \right) + \varepsilon_r (G_d + G_a),$$

$$G_a = \eta_a \operatorname{ctg} \left( \frac{1}{\eta_a} \right) + \ln \sqrt{1 + \eta_a^2}, \quad G_d = \eta_d \operatorname{ctg} \left( \frac{1}{\eta_d} \right) + \ln \sqrt{1 + \eta_d^2},$$

$$\eta_a = \frac{\eta_d d}{b}, \quad \eta_d = \frac{s/a}{\frac{b}{a} \frac{d}{b}}$$

## Симетрична одностороння хвилеводно-щілинна лінія

де для  $d/b \leq 0,5$ :

$$F\left(\frac{s}{a}\right) = -25,1223 + 31,524 \ln \frac{a}{s} - 12,504 \left(\ln \frac{a}{s}\right)^2 + 1,9454 \left(\ln \frac{a}{s}\right)^3;$$

де для  $0,5 \leq d/b \leq 0,75$ :

$$F\left(\frac{s}{a}\right) = -33,934 + 42,451 \ln \frac{a}{s} - 17,057 \left(\ln \frac{a}{s}\right)^2 + 2,5885 \left(\ln \frac{a}{s}\right)^3;$$

де для  $0,75 \leq d/b \leq 1,0$ :

$$F\left(\frac{s}{a}\right) = -48,0487 + 59,2846 \ln \frac{a}{s} - 23,77 \left(\ln \frac{a}{s}\right)^2 + 3,47 \left(\ln \frac{a}{s}\right)^3.$$

Точність виразу для  $W$  становить  $\pm 2$  % для  $s/a \leq 0,05$  та  $\pm 3$  % для  $s/a \geq 0,05$ .