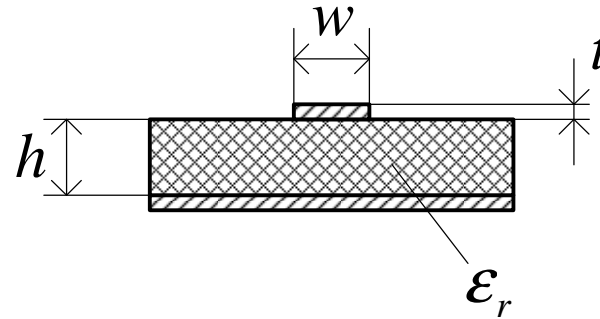


**Мікрохвильові технології
у телекомунікаційних та радіотехнічних системах**

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

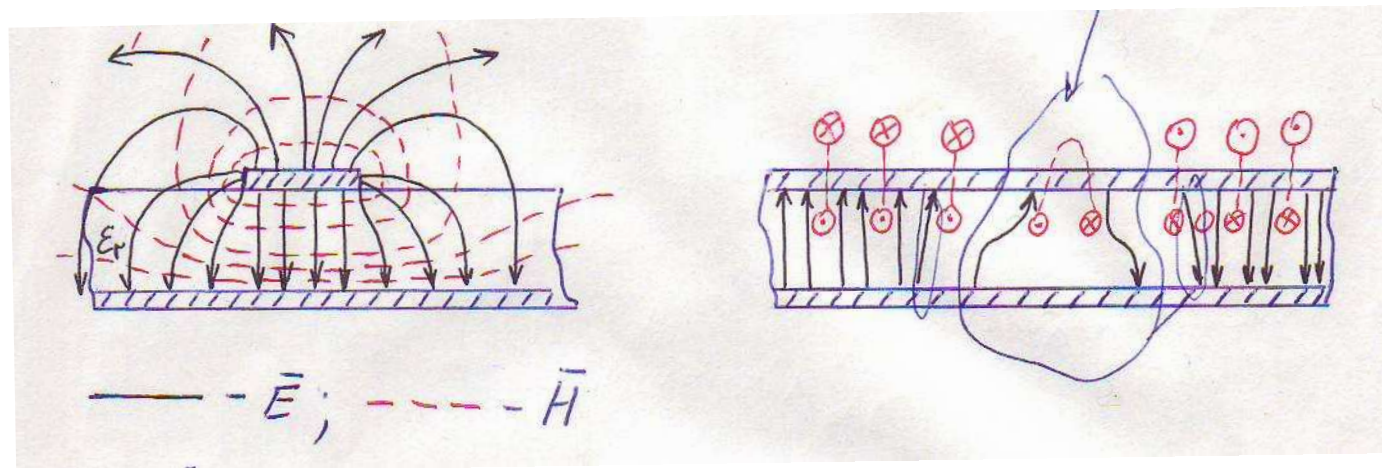
Смужкова (несиметрична) лінія

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 $w/h < 1$:

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

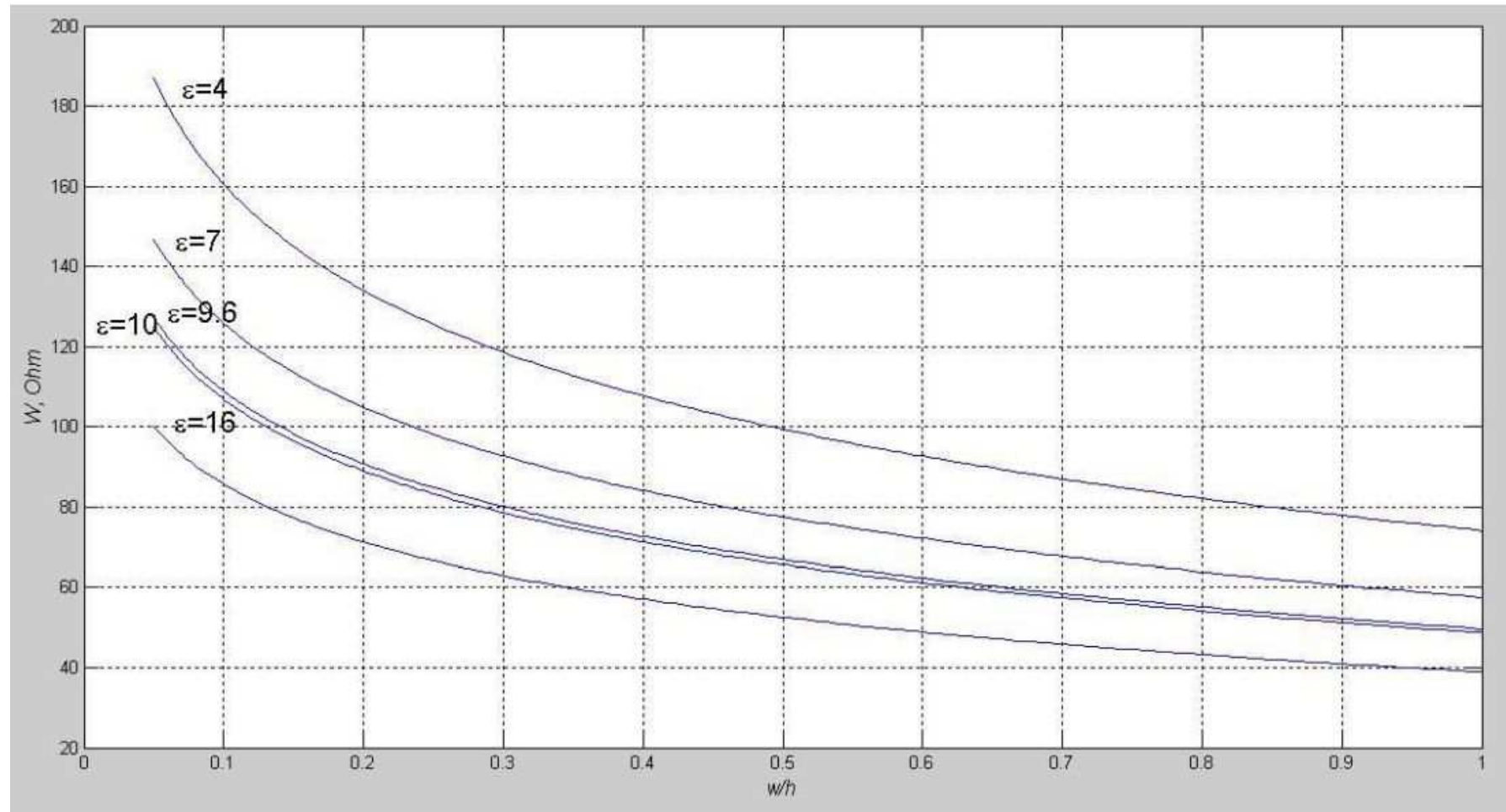
Смужкова (несиметрична) лінія

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

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

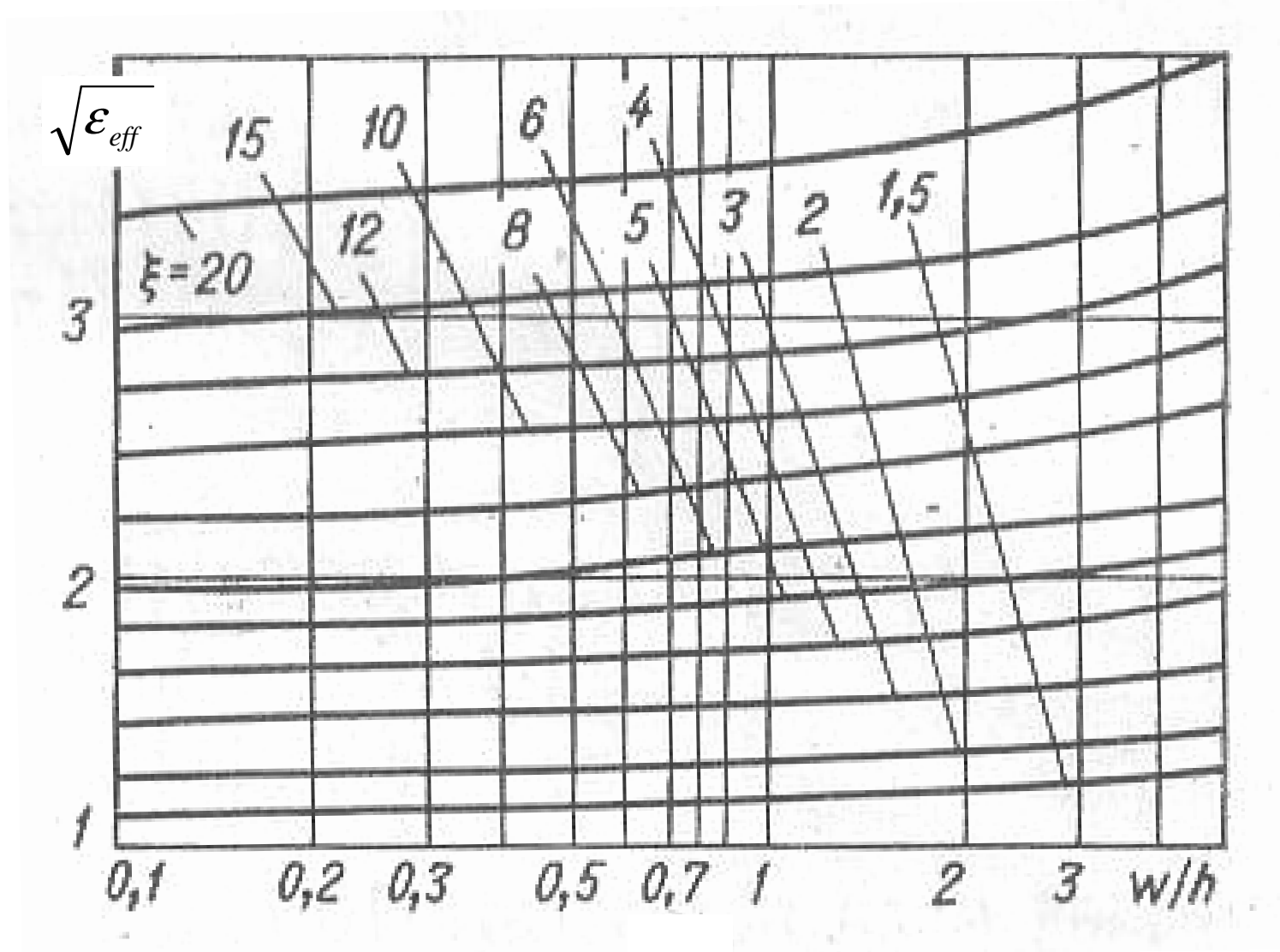
$$F(w/h) = \frac{1}{\left[\frac{1}{\sqrt{1 + 12 \frac{h}{w}}} + 0,04 \left(1 - \frac{w}{h} \right)^2 \right]} \text{ при } w/h < 1.$$

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:

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

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

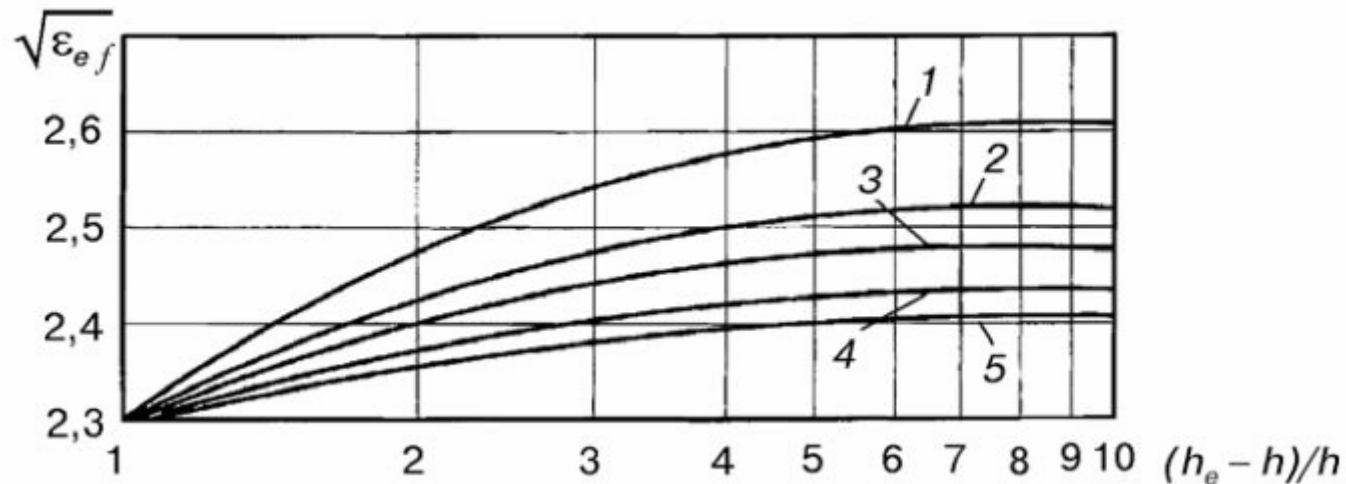
$$\alpha_{\text{м}} = 8,7 R_s / (Ww),$$

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

Смужкова (несиметрична) лінія

Якщо МСЛ виконано в екрані, то ЕМП деформується, причому деформація супроводжується зменшенням α_Σ .

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 $\frac{h_e - h}{h} = 1 \Rightarrow \varepsilon_{eff} = 0,5(\varepsilon_r + 1)$ незалежно від розмірів лінії.

Смужкова (несиметрична) лінія

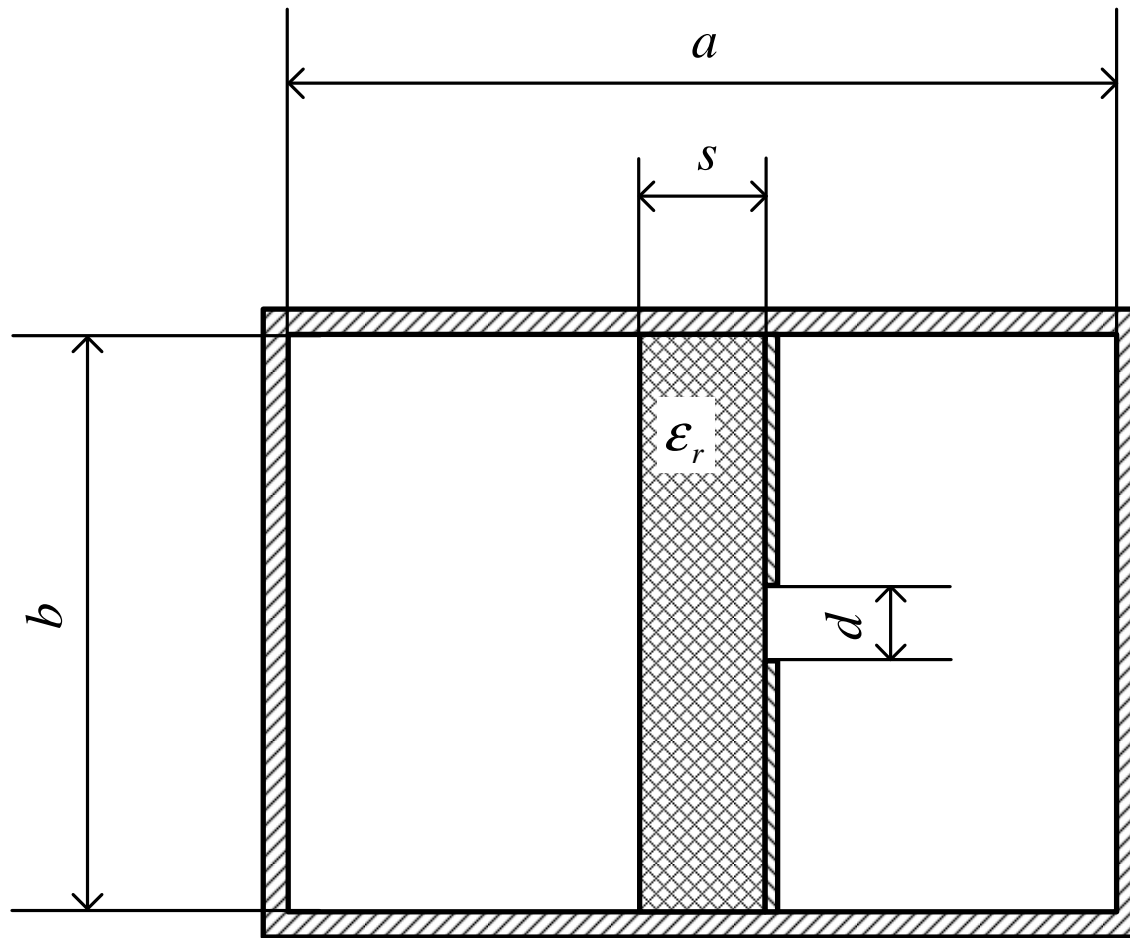
Переваги МСЛ:

- 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 ± 2 % для $s/a \leq 0,05$ та ± 3 % для $s/a \geq 0,05$.