

# Применение метаматериалов для изготовления нового класса СВЧ устройств

Серебренников А.А.



**Основные изделия ОАО «ЦКБА»**

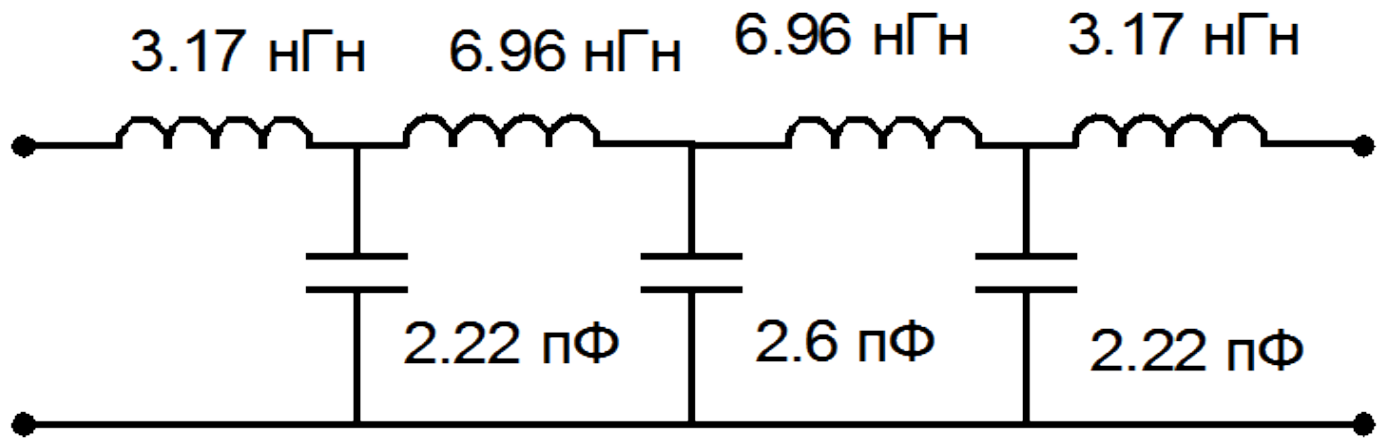
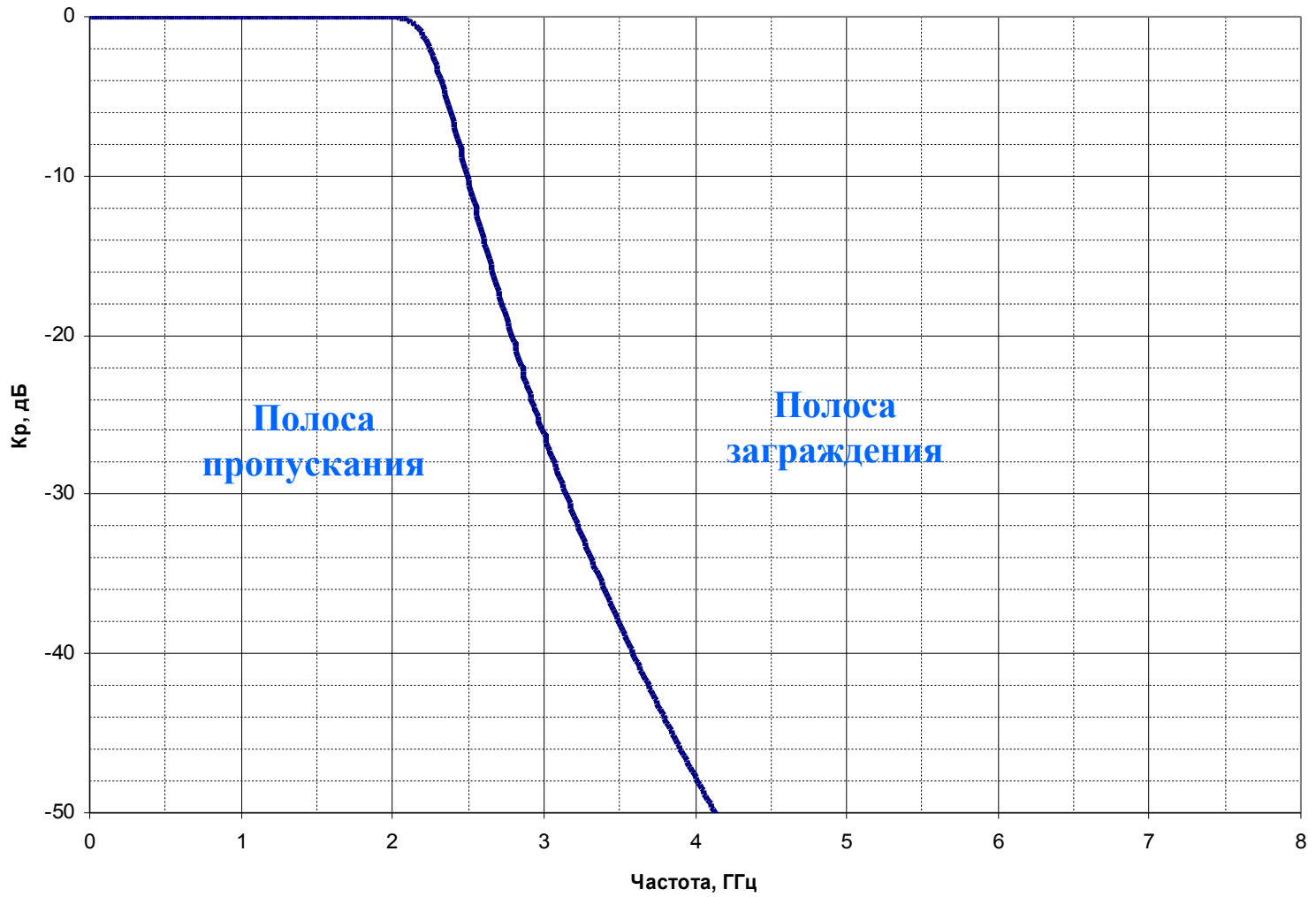


Схема электрическая принципиальная ФНЧ



**АЧХ идеального ФНЧ**

**Топология ФНЧ, реализованного на НМЛ  
( подложка из поликора толщиной 0.5 мм ).**

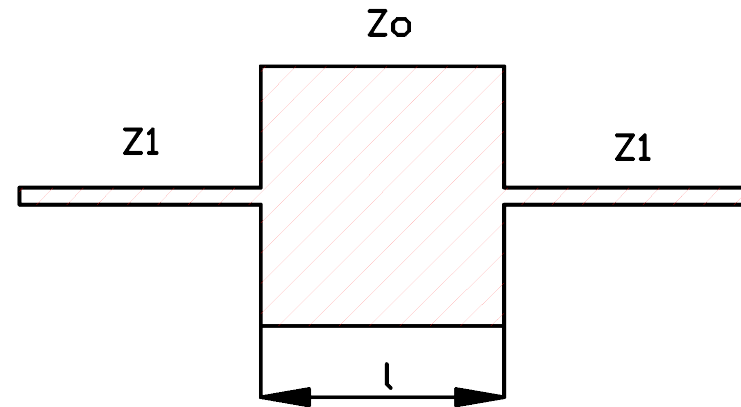
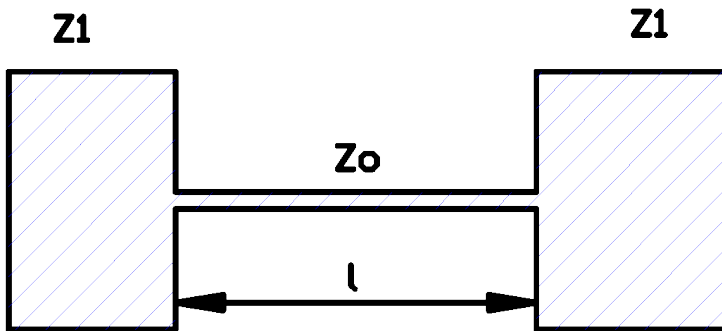
$$L [\Gamma H] \approx Z_0 \cdot l \cdot \frac{\sqrt{\varepsilon_{\text{эф}}}}{c}$$

$$C [\Phi] \approx \frac{1}{Z_0} \cdot \frac{l \cdot \sqrt{\varepsilon_{\text{эф}}}}{c}$$

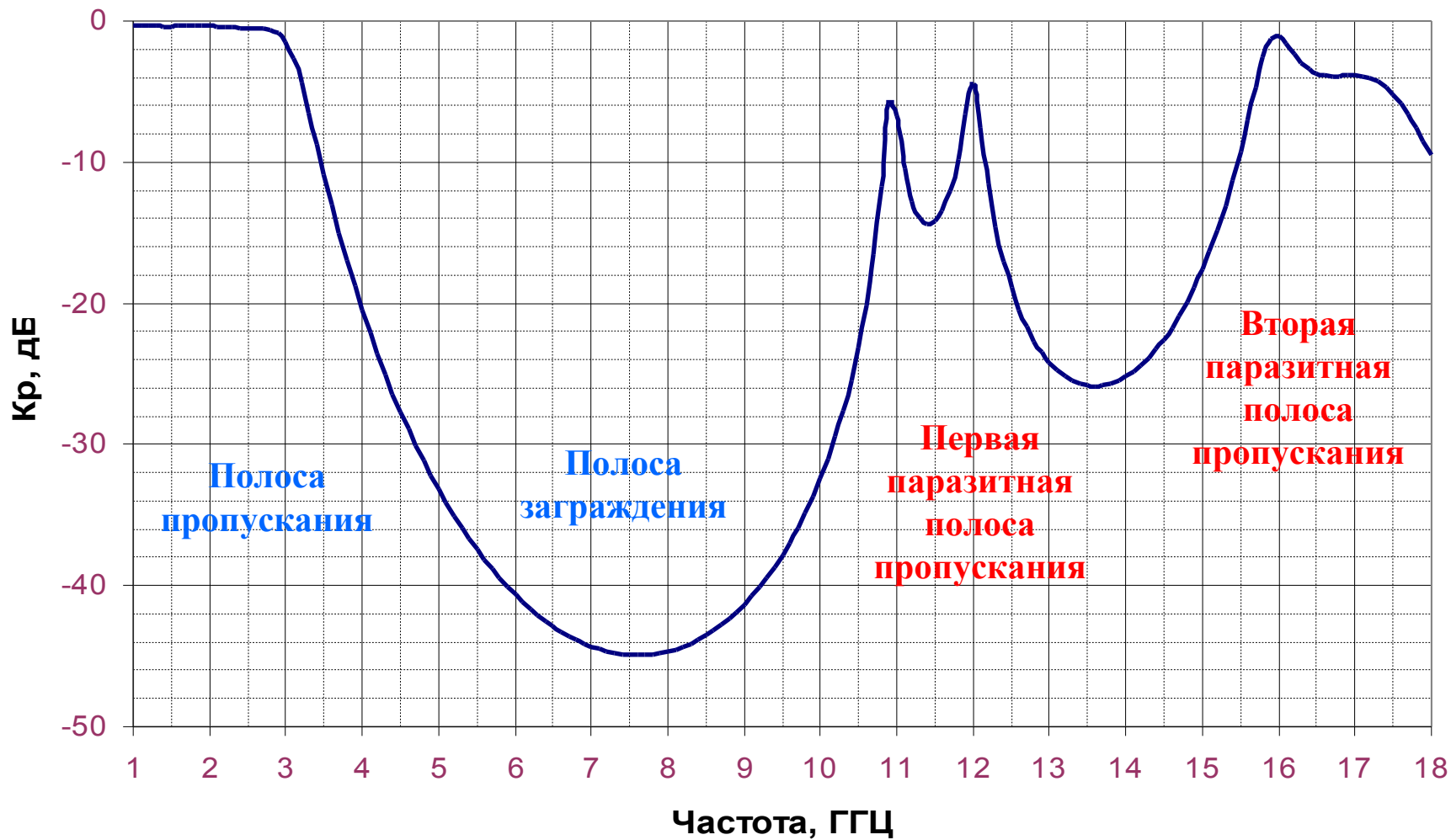
$$Z_0 \gg Z_1$$

$$Z_1 \gg Z_0$$

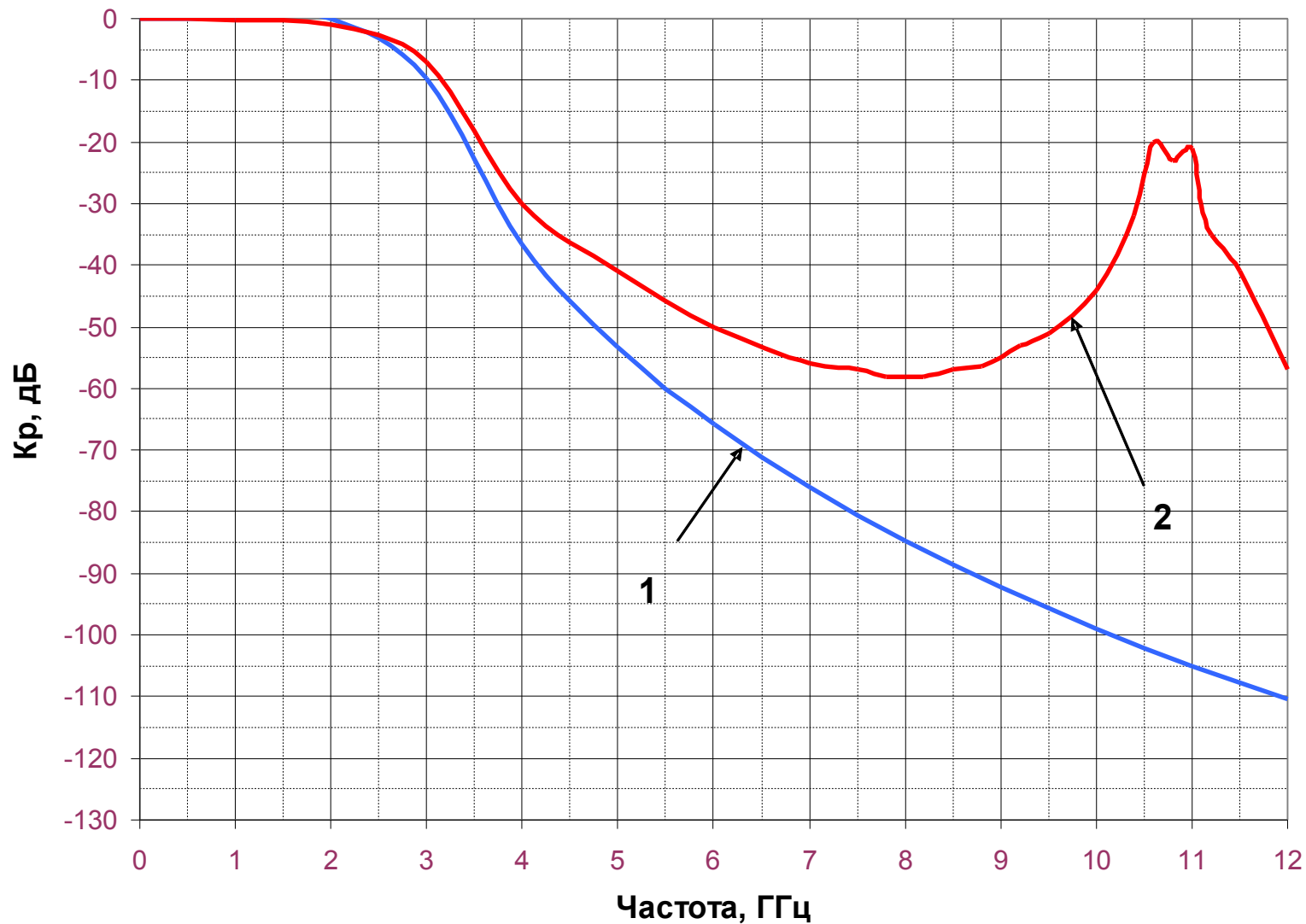
$$c = 3 \cdot 10^{11} \text{ мм/с}, \quad l [\text{мм}], \quad z_0 [\text{Ом}]$$



Формулы для расчета ФНЧ в полосковом виде

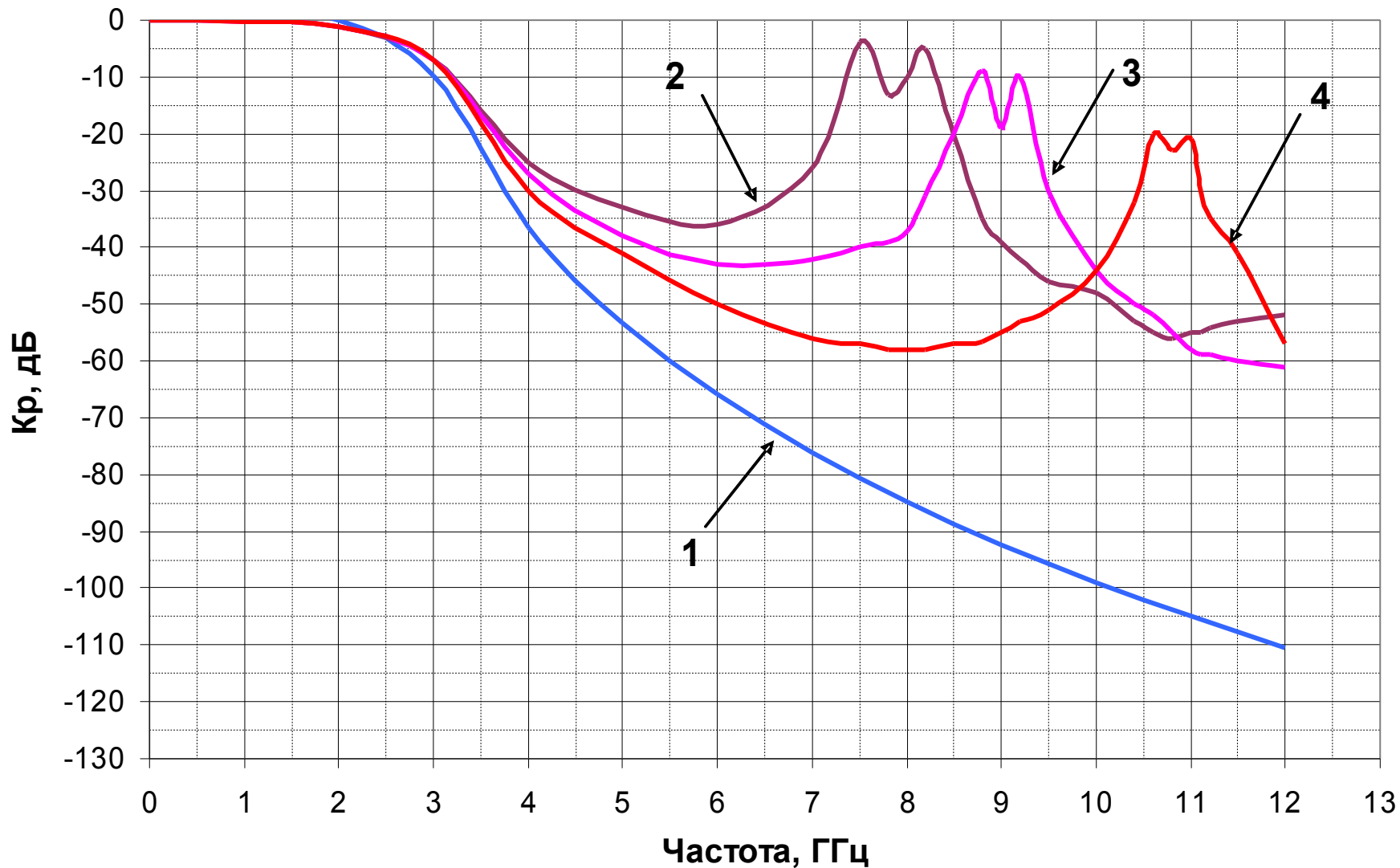


**АЧХ ФНЧ в полосковом виде**



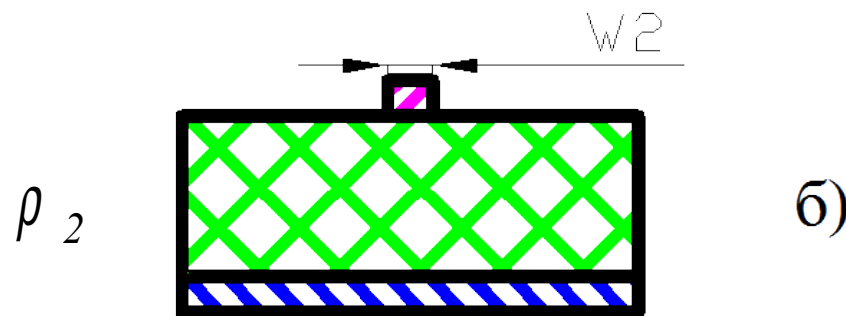
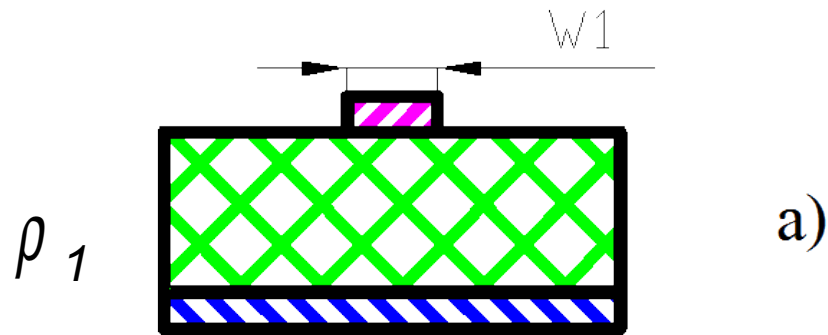
**АЧХ моделей идеального ФНЧ и ФНЧ на полосковых элементах на НПЛ**  
1 - АЧХ идеального ФНЧ, 2 - АЧХ ФНЧ в полосковом виде.





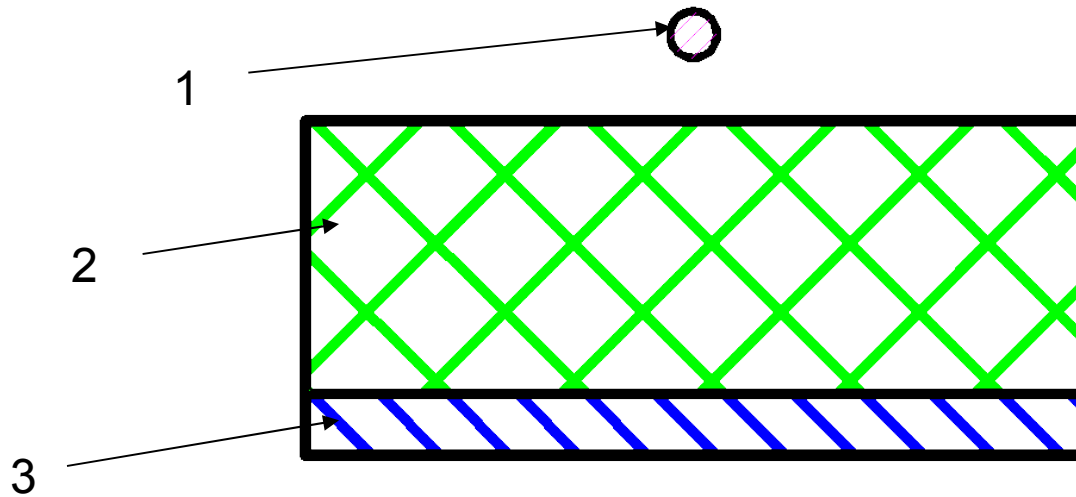
**АЧХ модели ФНЧ при различных ширинах (W)  
токонесущего проводника высокоомных отрезков НПЛ**

- |                                |                           |
|--------------------------------|---------------------------|
| <b>1</b> - АЧХ идеального ФНЧ, | <b>2</b> - $W = 200$ мкм, |
| <b>3</b> - $W = 100$ мкм,      | <b>4</b> - $W = 30$ мкм.  |



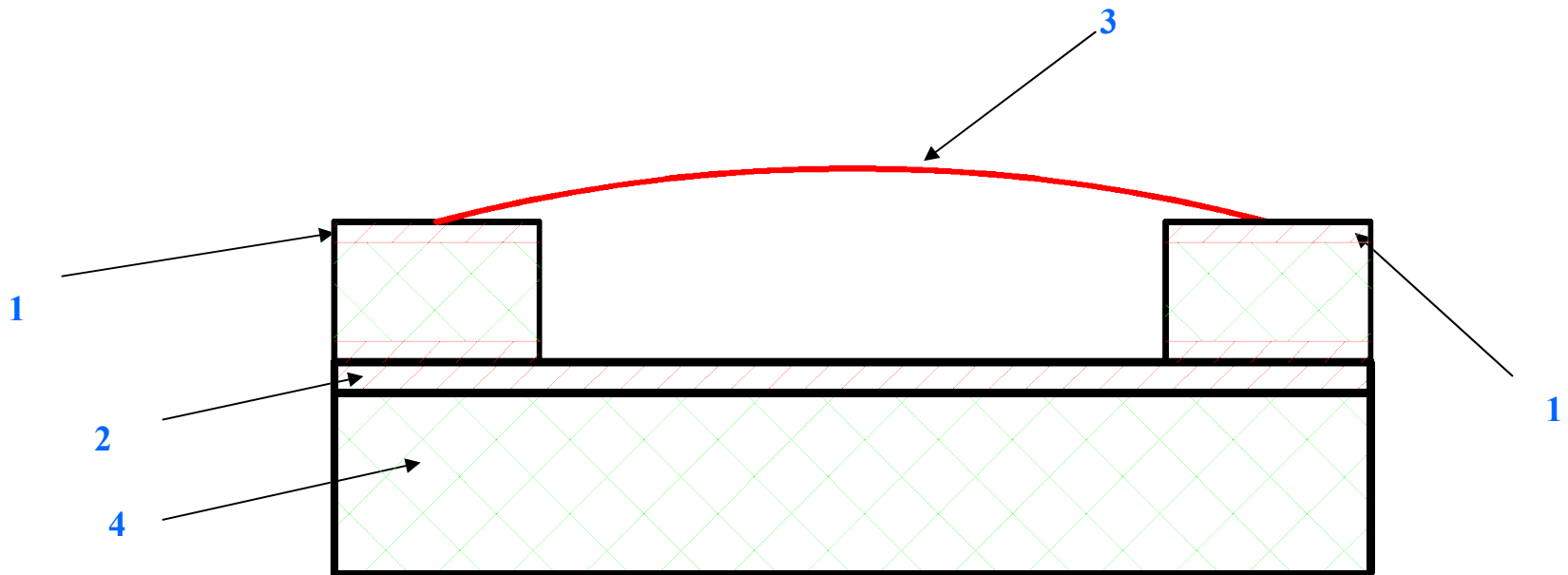
$$\rho_2 > \rho_1$$

Поперечное сечение НПЛ



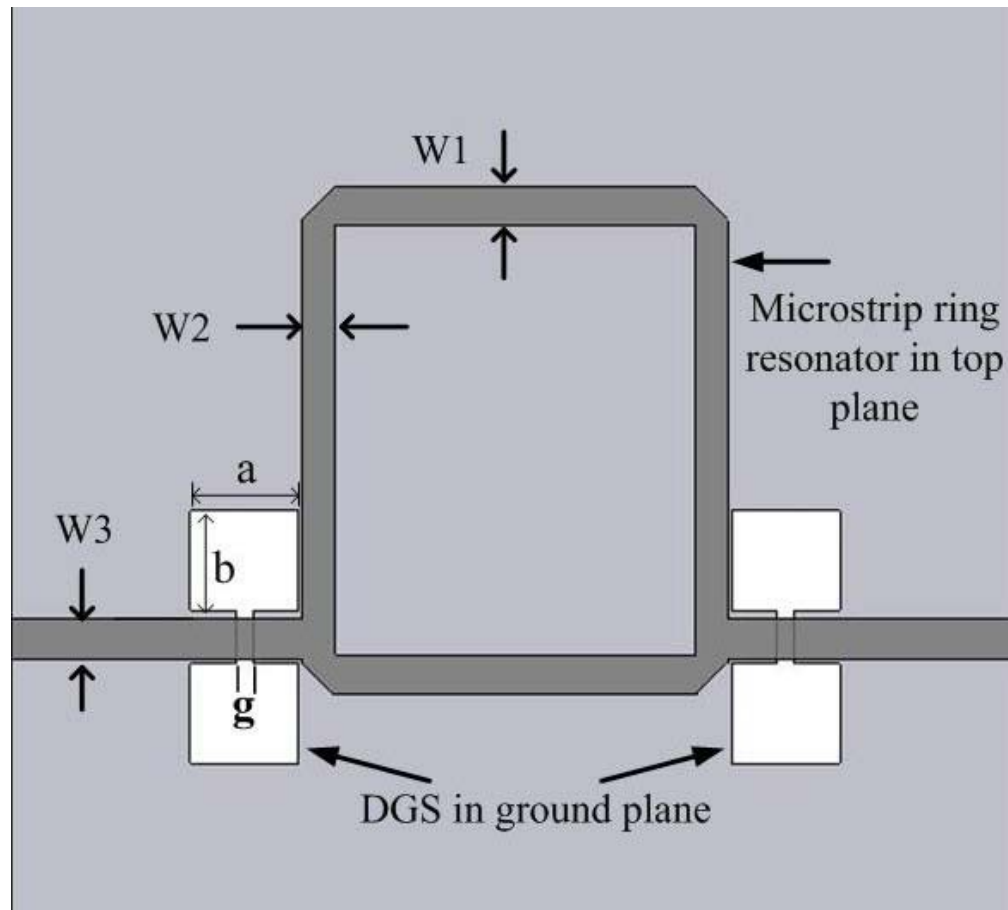
**Токонесущий проводник оторванный от подложки**

- 1 – токонесущий оторванный от подложки,
- 2 – диэлектрик,
- 3 – экранирующий проводник.

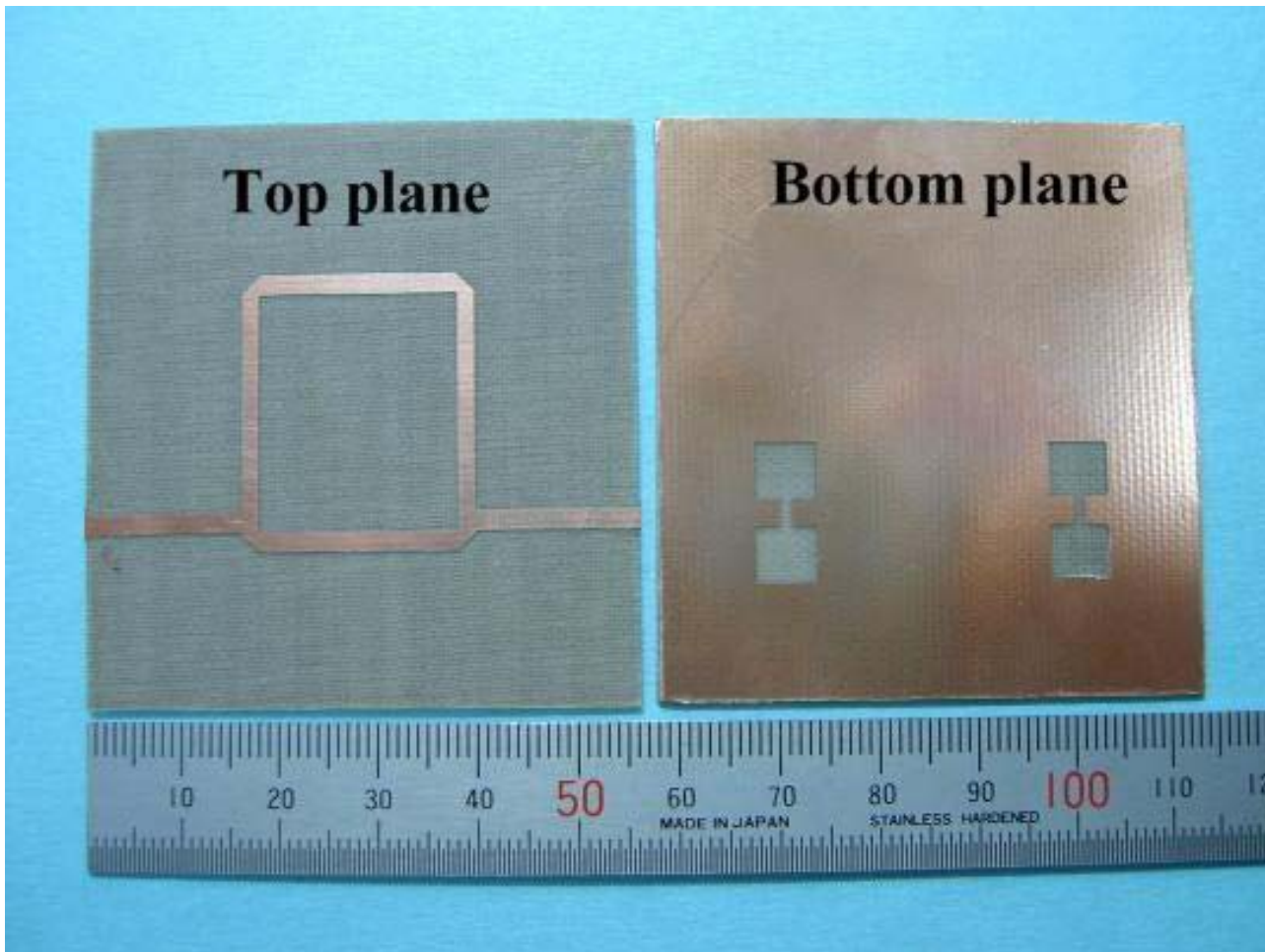


### **Физическая реализация отрыва токонесущего проводника от подложки**

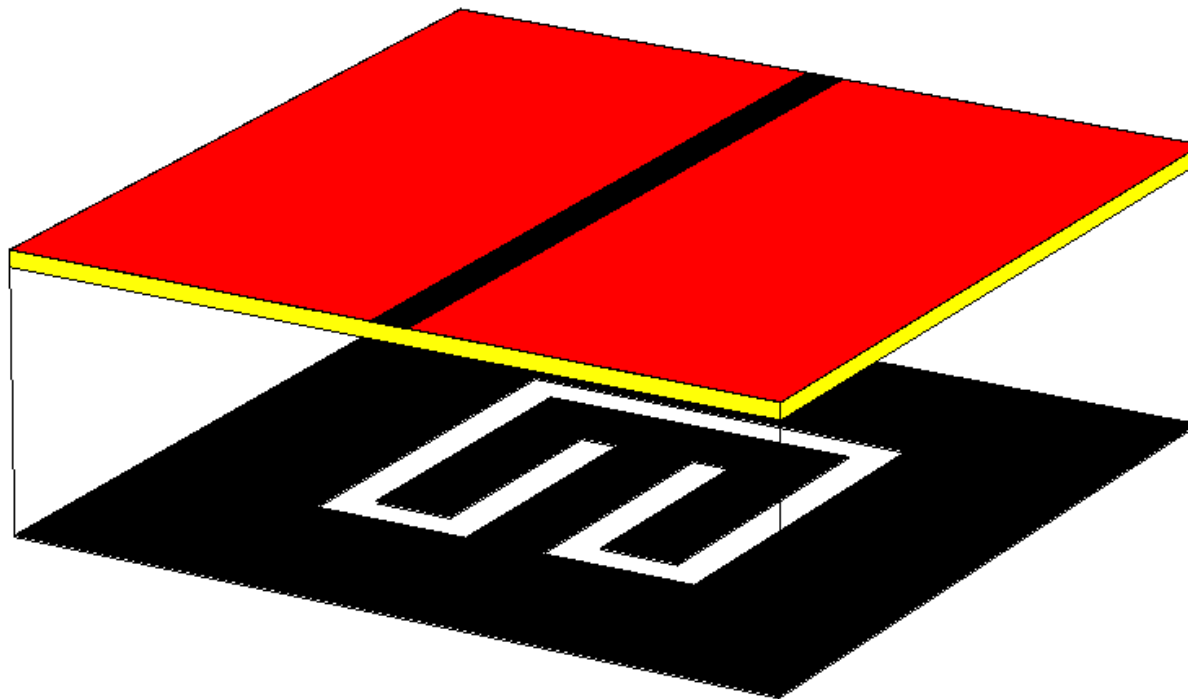
- 1 – токонесущий проводник,
- 2 – экранный проводник,
- 3 – оторванный токонесущий проводник,
- 4 – диэлектрик.



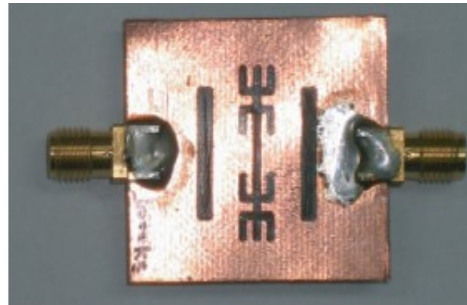
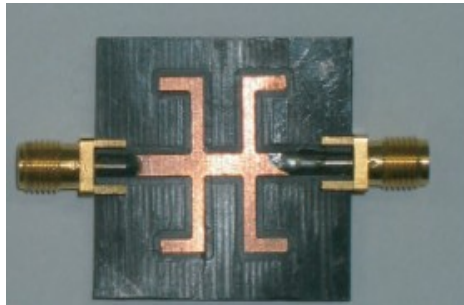
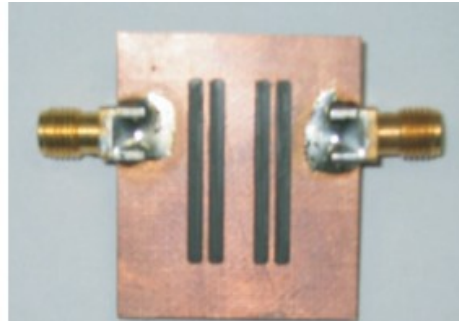
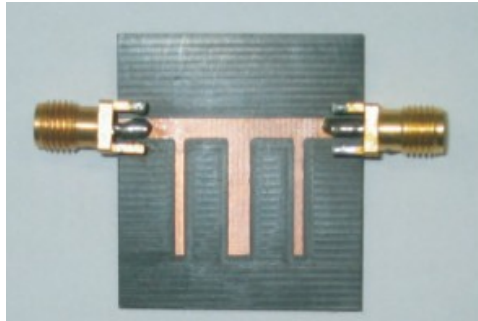
**Топология кольцевого полосового фильтра с использованием DGS**



**Фото кольцевого полосового фильтра с использованием DGS**



**Топология полосового фильтра с использованием defected-ground structure  
в виде связанных резонаторов.**



**ФНЧ с использованием DGS**



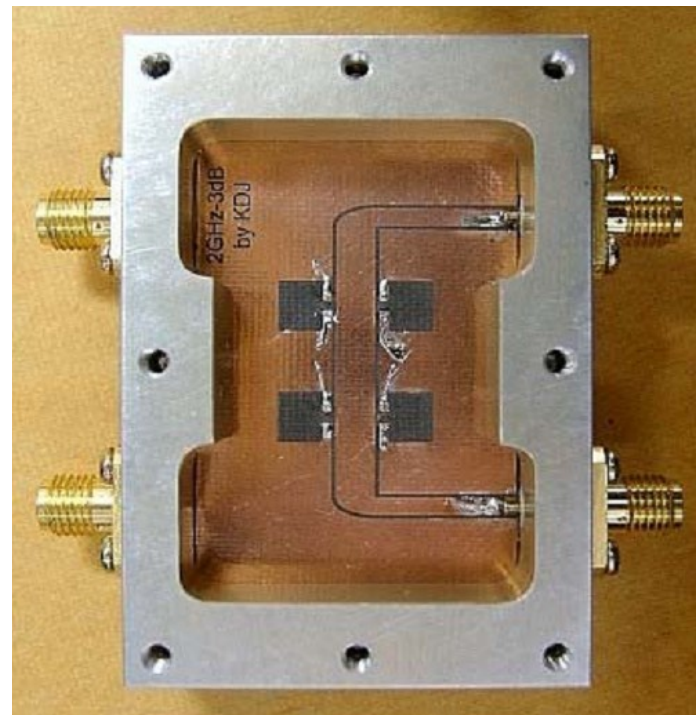
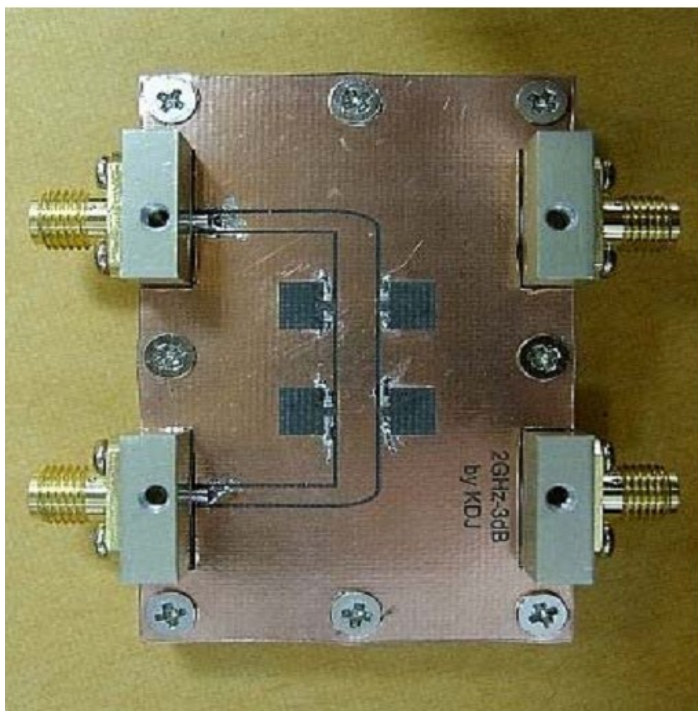


Фото 3 дБ направленного ответвителя с использованием DGS

$$n = \pm \sqrt{\varepsilon \cdot \mu}$$

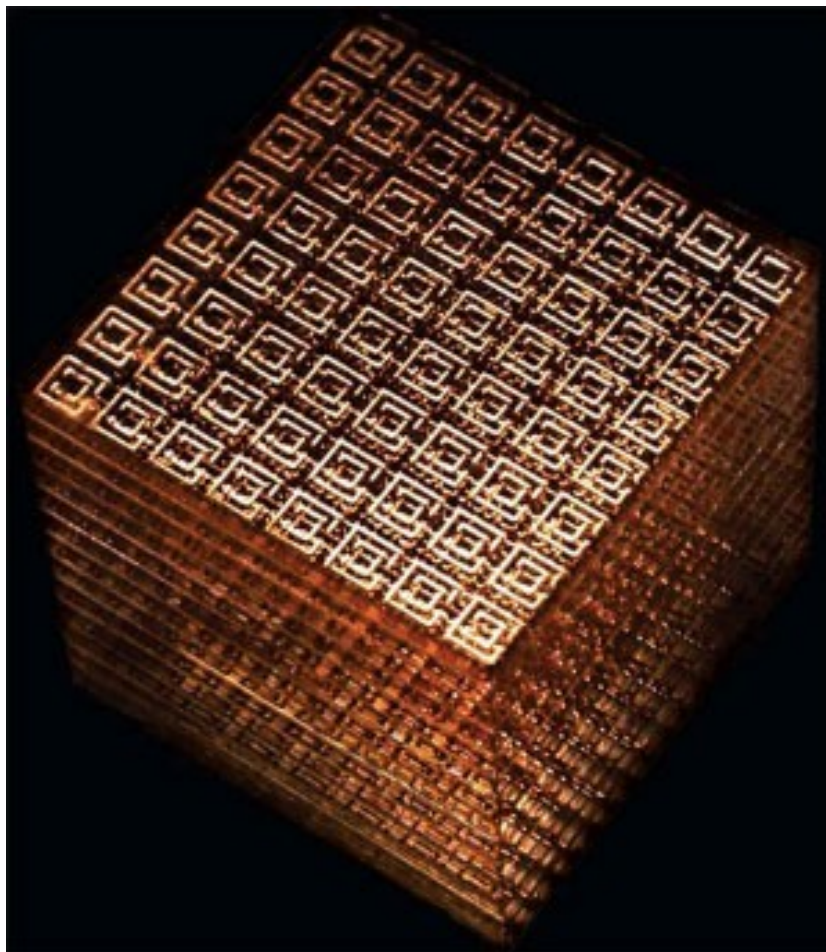
если

$$\varepsilon > 0, \mu > 0 \Rightarrow n > 0$$

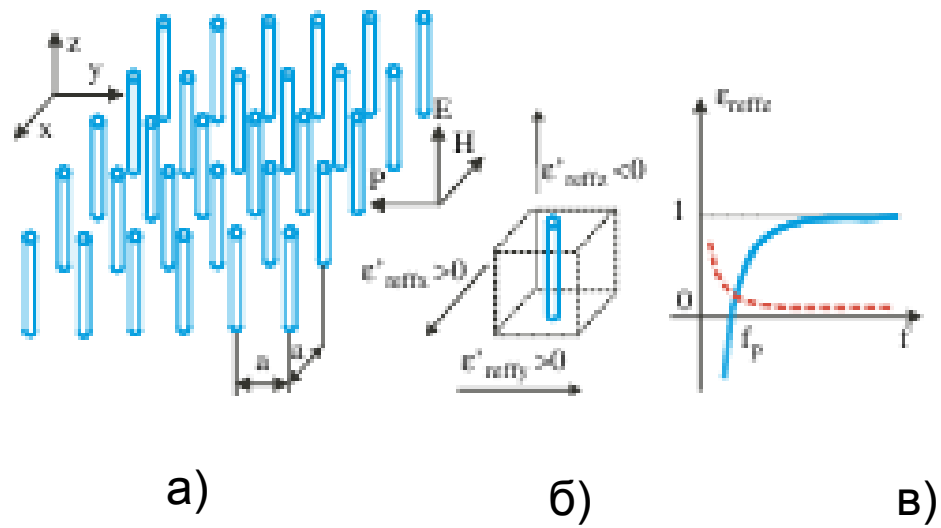
если

$$\varepsilon < 0, \mu < 0 \Rightarrow n < 0$$

**Показатель преломления**

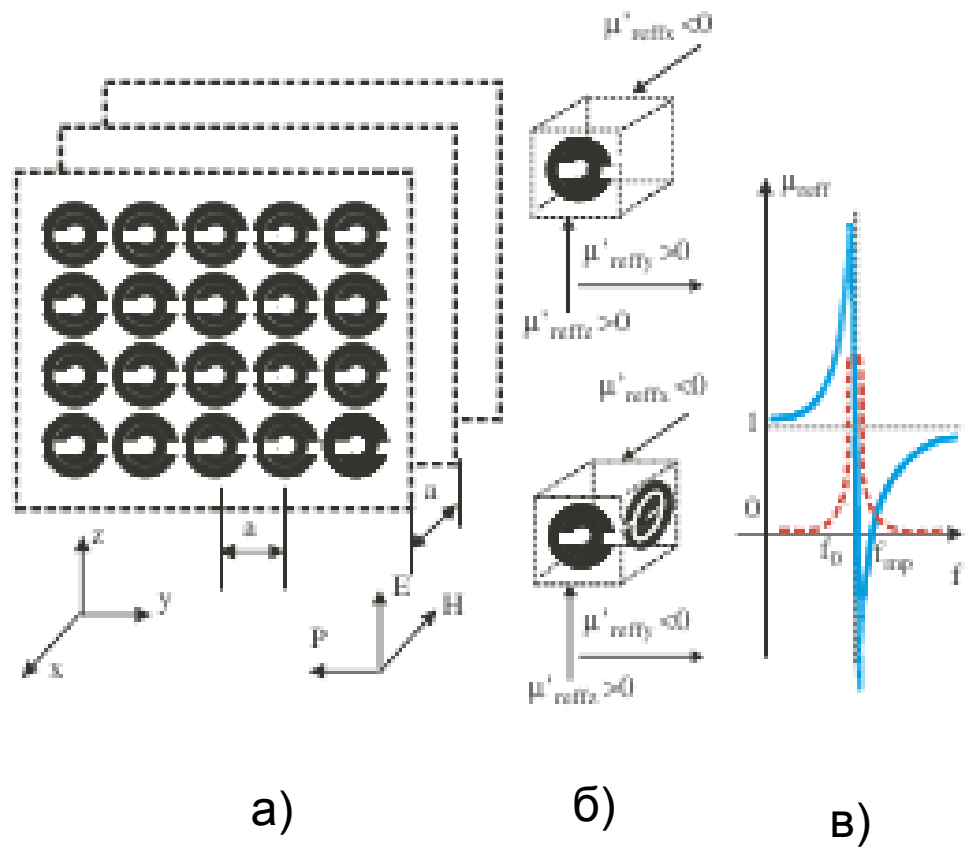


**Куб метаматериала**



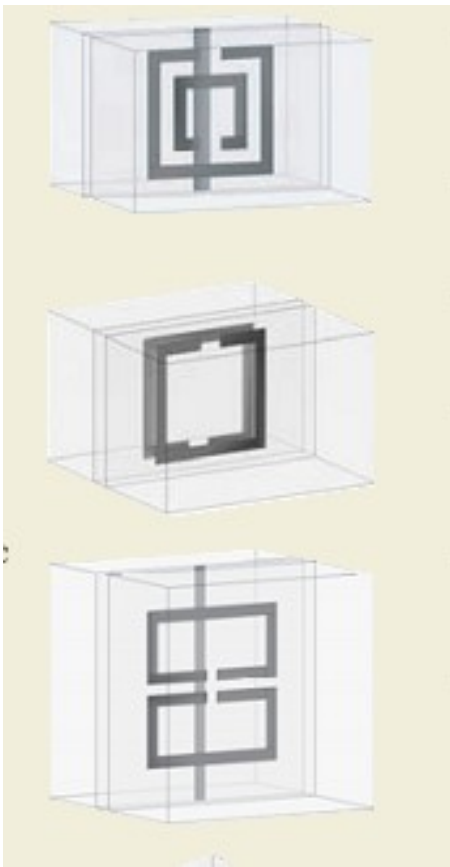
### Плотно упакованные тонкие проводники

- а) множество тонких проводов,
- б) элементарная ячейка,
- в) эффективная диэлектрическая проницаемость.



### Множество разорванных колец (SRR)

- а) множество разорванных колец,
- б) элементарная ячейка,
- в) эффективная магнитная проницаемость.



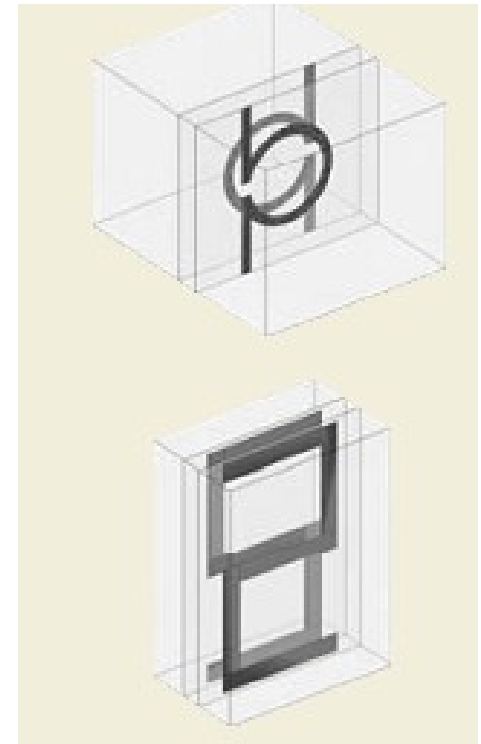
а)

б)

в)

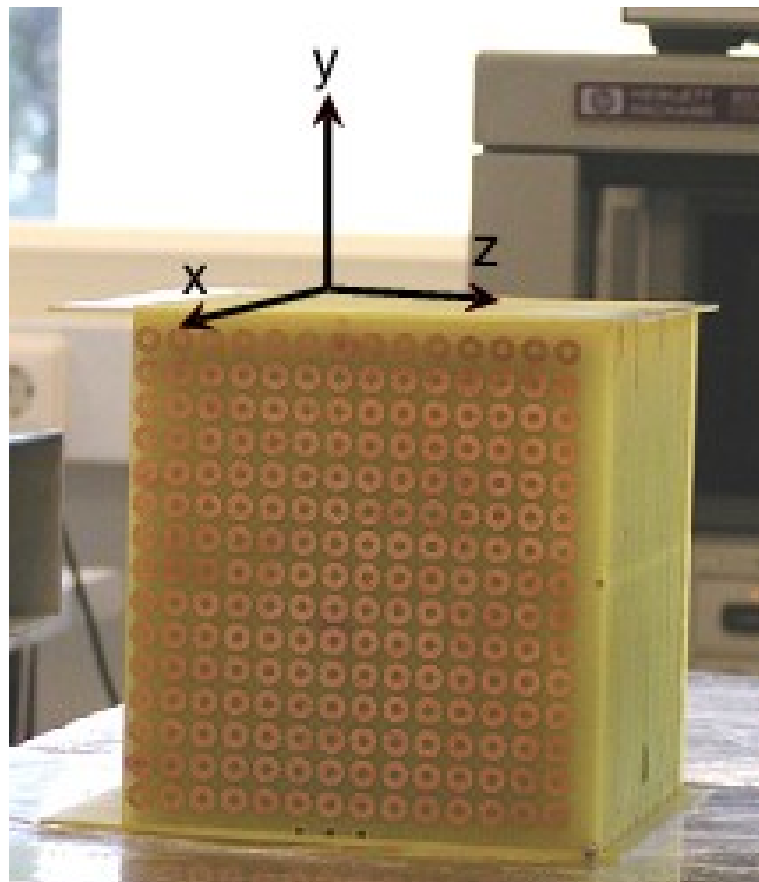
г)

д)

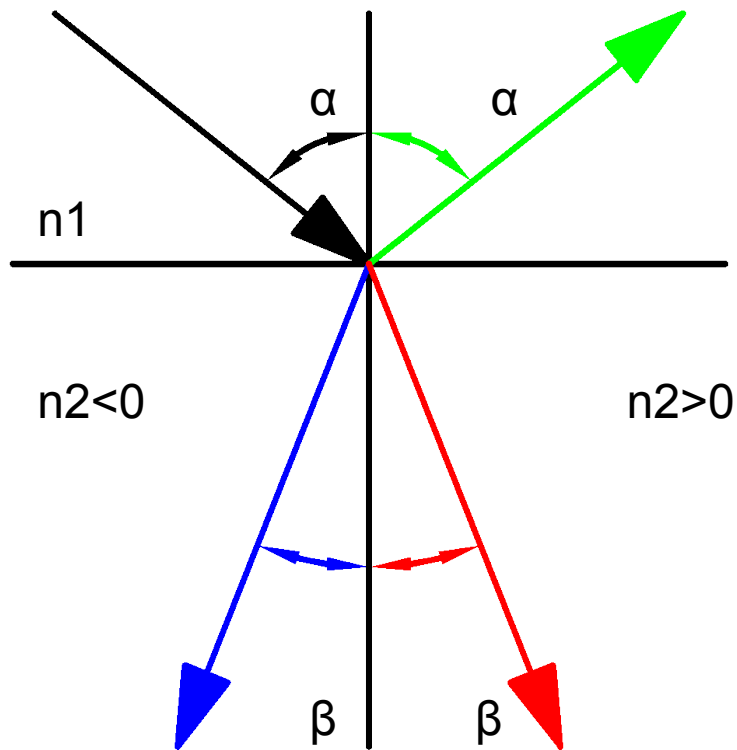


### Различные типы SRR

- а) краевая связь
- б) связь по всей поверхности
- в) осесимметричная связь
- г) связь в виде буквы омеги
- д) связь в виде буквы S



**Фото кольцевого резонатора**



**Закон Снеллиуса**