

微波毫米波滤波器基础知识

成都赛纳赛德科技有限公司

2007年12月21日

1 滤波器分类

1.1 根据频率

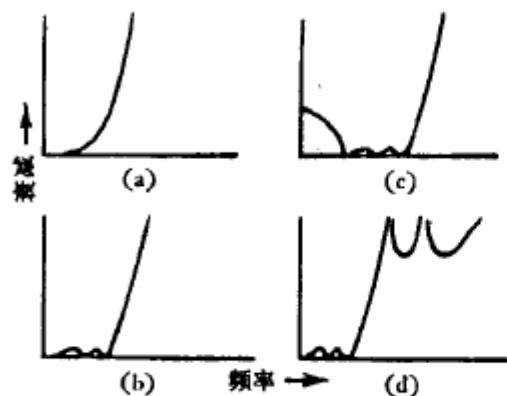


图 2.1-1 低通滤波器响应

- (a) 最平坦型 (b) 切比雪夫型
(c) 切比雪夫变换器型 (d) 椭圆函数型

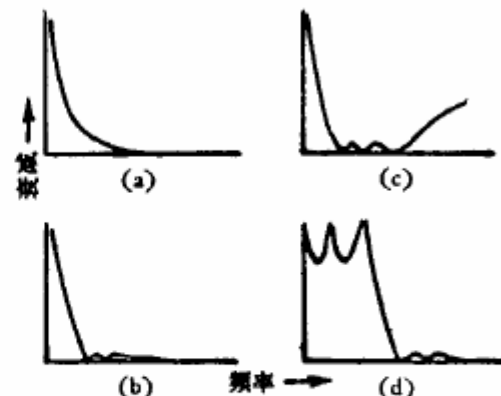


图 2.1-2 高通滤波器响应

- (a) 最平坦型 (b) 切比雪夫型
(c) 切比雪夫变换器型 (d) 椭圆函数型

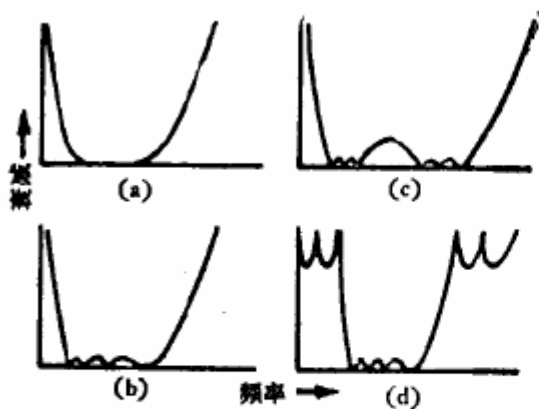


图 2.1-3 带通滤波器响应

- (a) 最平坦型 (b) 切比雪夫型
(c) 切比雪夫变换器型 (d) 椭圆函数型

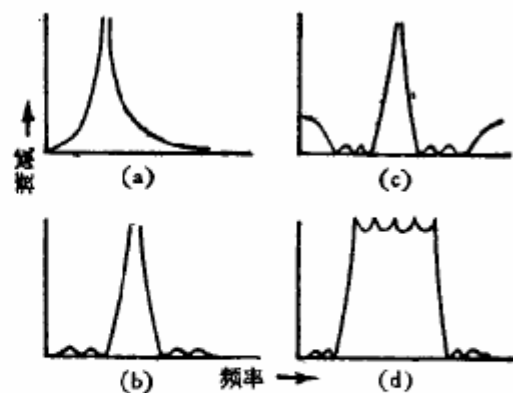


图 2.1-4 带阻滤波器响应

- (a) 最平坦型 (b) 切比雪夫型
(c) 切比雪夫变换器型 (d) 椭圆函数型

1.2 根据相对带宽

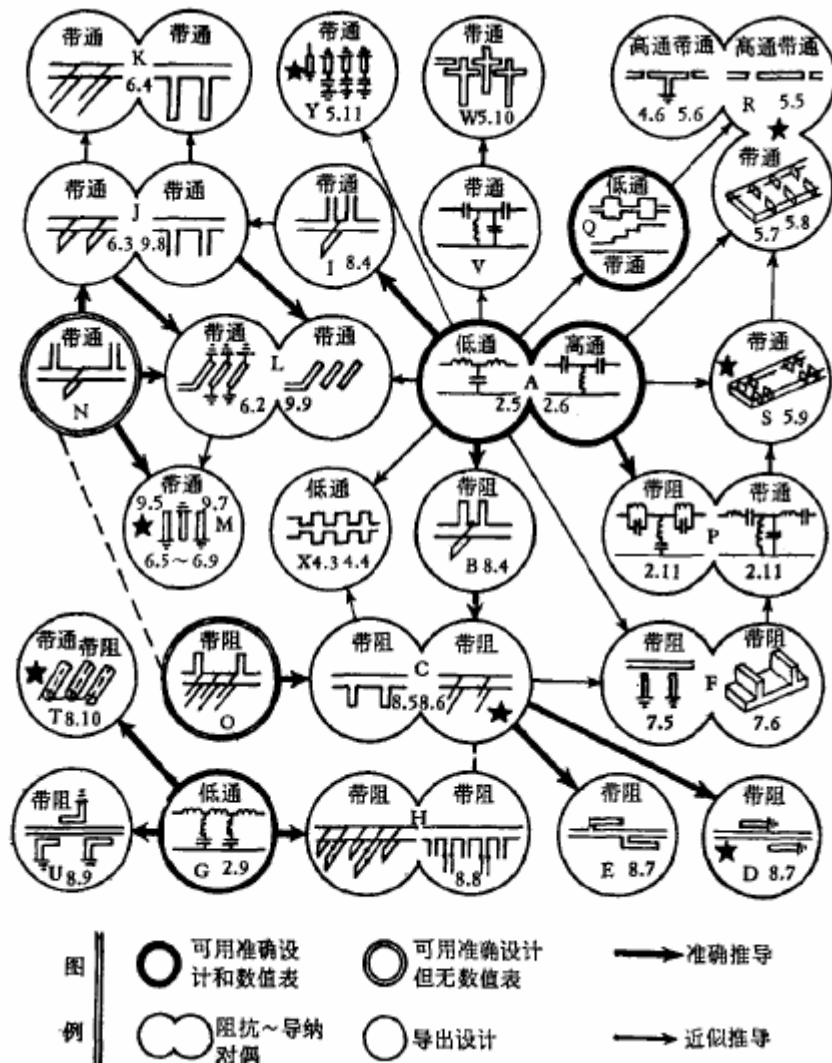
窄带:

$$\frac{\Delta f}{f} \leq 1\%$$

宽带:

$$\frac{\Delta f}{f} \geq 20\%$$

1.3 根据结构



集总参数, A, V, G
 同轴
 波导, F, R, S
 平面结构: L, M, Y, T
 集成波导

2.1.4 根据功率容量：低功率、中功率和高功率滤波器

2.1.5 根据中心频率：固定频带和可调谐滤波器

2.1.6 根据阻带功率流向：反射式和吸收式滤波器

2 滤波器应用

- 在放大链路中，用于防止带外自激振荡
- 在通讯系统中，用作双工器，将输入信号与输出信号隔离

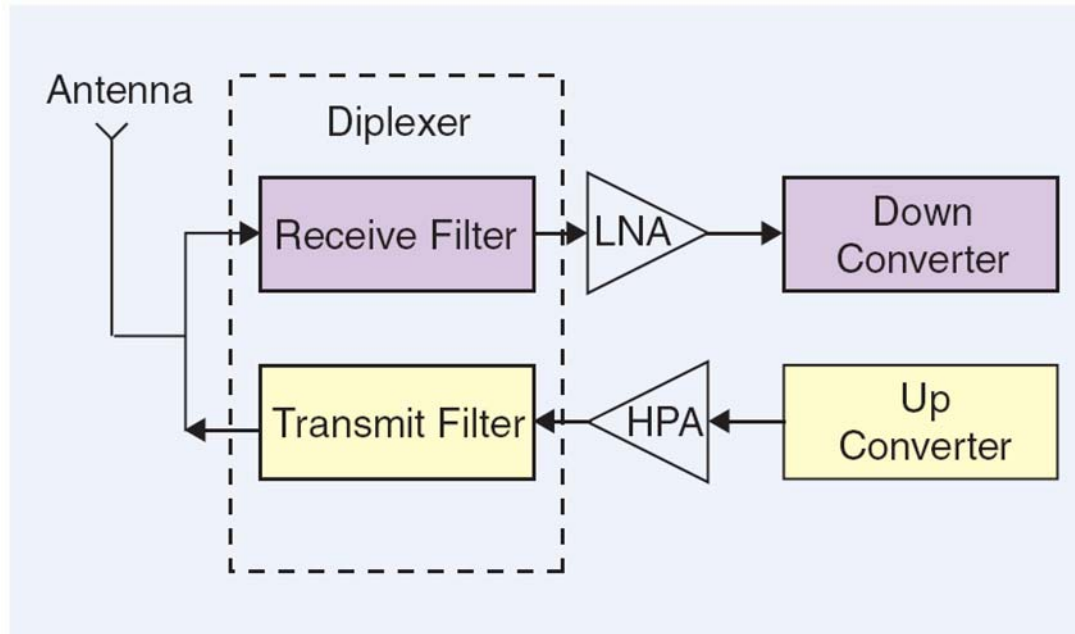


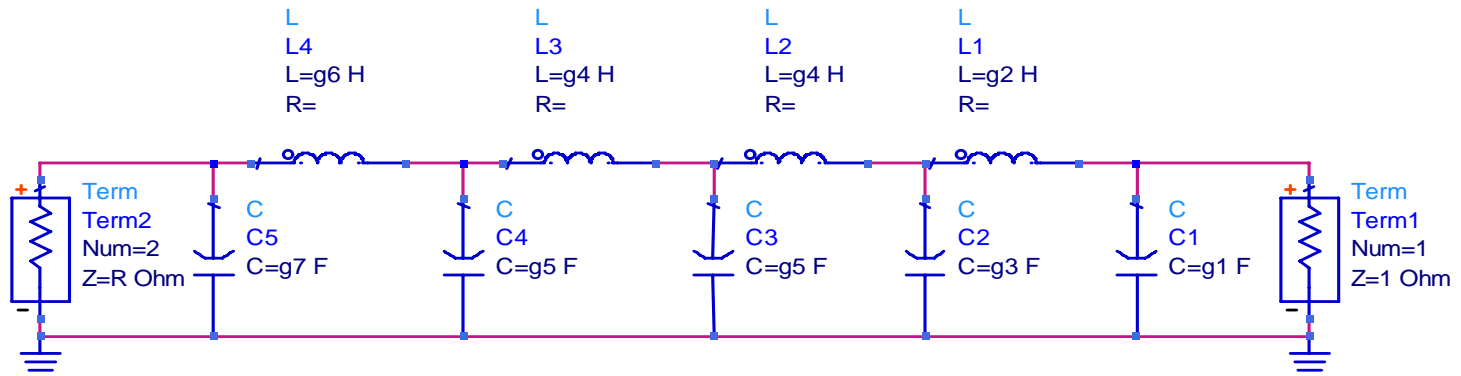
Figure 1. A simplified block diagram of the front end in

- 在微波电路中，用于不同特性阻抗和特性的组件之间的匹配

- 在微波通讯系统中，用于紧凑型时间延迟线，或波形修正
- 在脉冲雷达中，用于脉冲压缩处理

3. 波导滤波器理论初步

3.1 切比雪夫带通滤波器原型



典型的切比雪夫低通滤波器原型 (9阶)

对于截止频率 $\omega_c = 1$ ，通带最高插损为 L dB, 滤波器阶数为 N , 根据切比雪夫多项式, 上图中所有的变量可以由以下公式给出:

$$k = \sqrt{10^{L(\text{dB})/10} - 1}$$

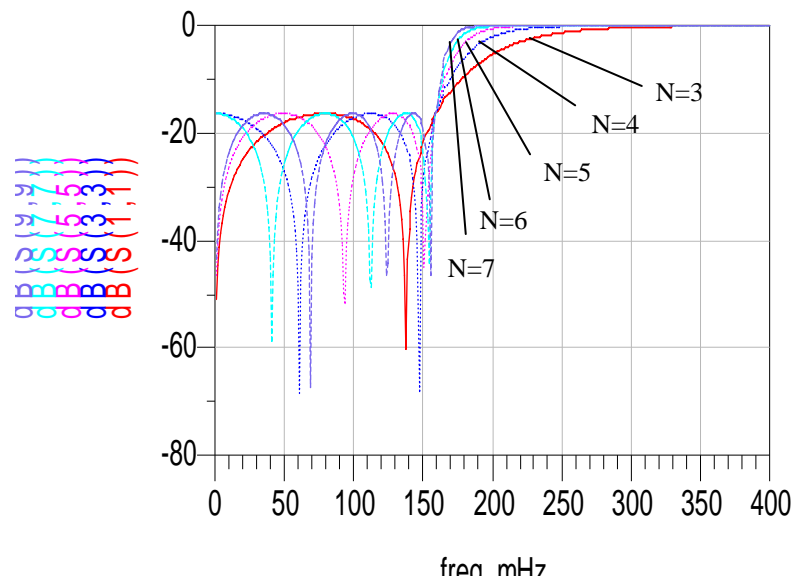
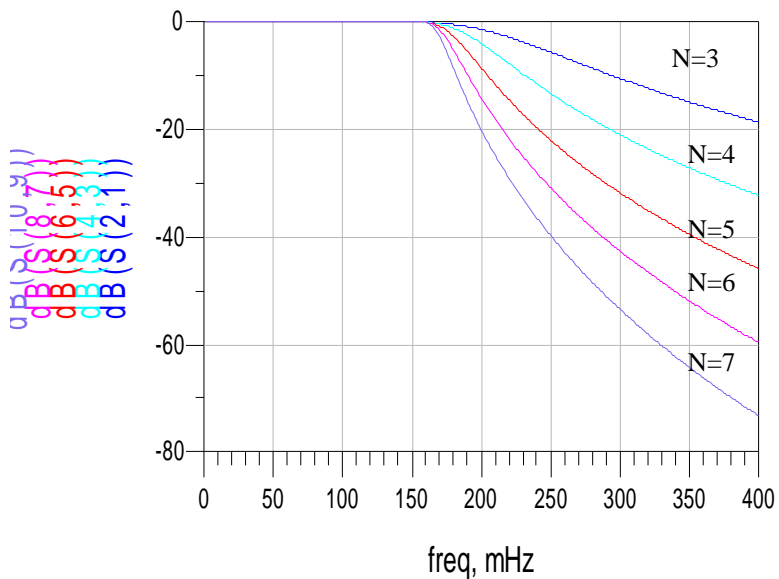
$$R = \begin{cases} 1, N \text{ 为奇数时} \\ 2k^2 + 1 - 2k\sqrt{1+k^2}, N \text{ 为偶数时} \end{cases}$$

$$\beta = -\ln\left(\frac{\sqrt{1+k^2} - 1}{\sqrt{1+k^2} + 1}\right)$$

$$\gamma = \sinh\left(\frac{\beta}{2N}\right)$$

$$\begin{cases} a_i = \sin\frac{2i-1}{2N}\pi \\ b_i = \gamma^2 + \sin^2\left(\frac{i\pi}{N}\right) \end{cases} \quad i = 1, 2, \dots, N$$

$$\begin{cases} g_0 = 1 \\ g_1 = \frac{2a_1}{\gamma} \\ g_i = \frac{4a_{i-1}a_i}{b_{i-1}g_{i-1}} \end{cases} \quad i = 2, 3, \dots, N$$



低通切比雪夫滤波器插损和反射模拟
曲线N=3~7, L=0.1dB.

结论:

N 阶反射曲线有 $N/2$ 个零点. 当 N 为奇数时, 我们可以看到“半”个反射零点出现在0频率处。

N 阶反射曲线有 $(N-1)/2$ 个峰值且所有峰值都相同, 为 L (dB)。

在通带中, 插入损耗在0 dB和 L dB之间振荡 (图中难以见到, 因为波动幅度太小, 仅为0.1dB)。

在通带外, 插入损耗成指数增大。

根据插损曲线, 阶数增大, 带外插损随频率变化更陡.

更进一步可以说明, 在阶数一定时, 带外插损的陡度随插损波动幅度 L 的增大而增加。

3.2 采用一种电抗元件和阻抗变换器的滤波器原型

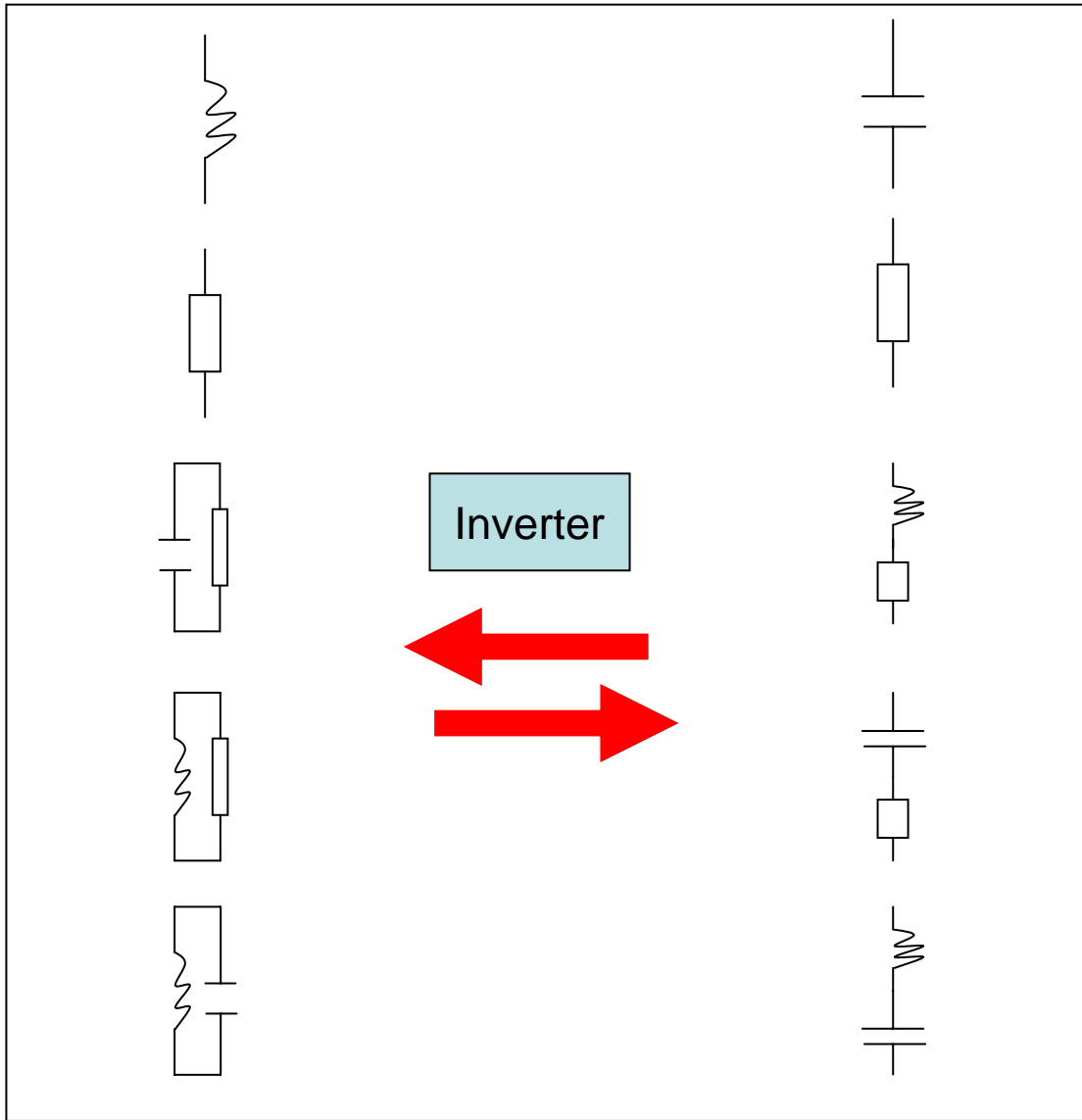
一个特性阻抗为 K 的理想阻抗变换器是一个在任意频率长度都为四分之一波长的传输线。通过阻抗变换器后，负载的阻抗变为：

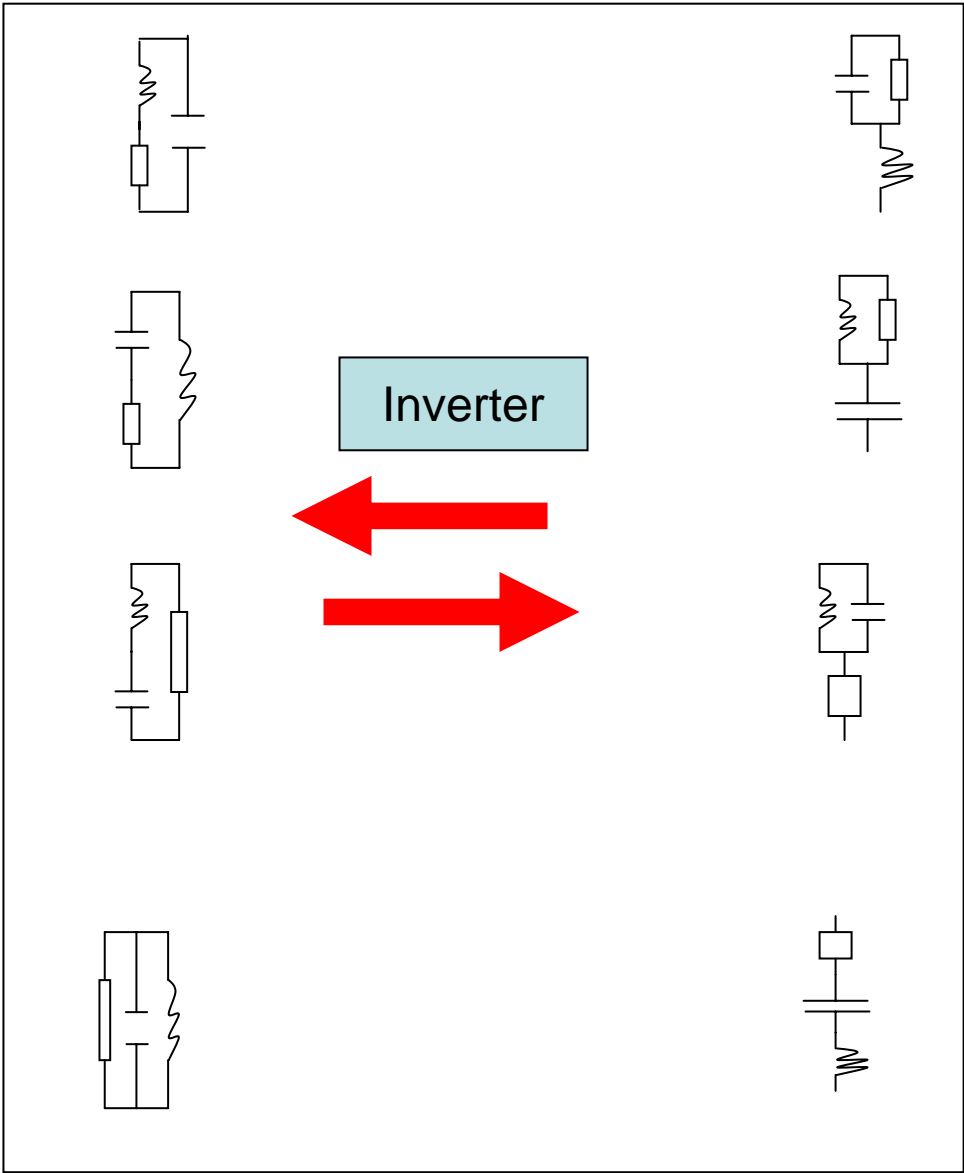
$$Z_{in} = \frac{K^2}{Z_l}$$

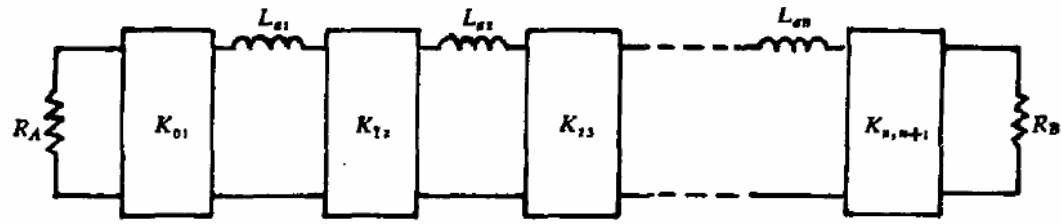
一个特性导纳 J 的理想导纳变换器是一个在任意频率长度都为四分之一波长的传输线。通过导纳变换器后，负载的导纳变为：

$$Y_{in} = \frac{J^2}{Y_l}$$

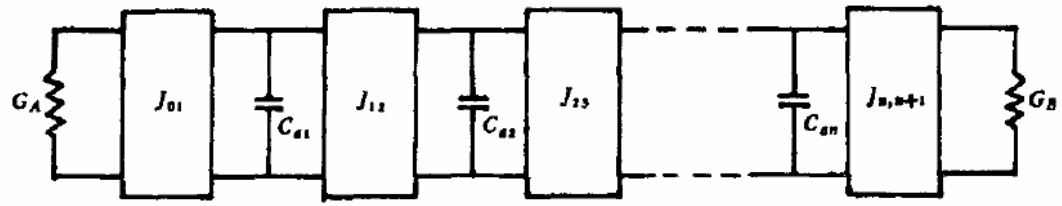
阻抗和导纳变换器的功能是，它使电感和电容互换，使并联电路和串连电路互换。





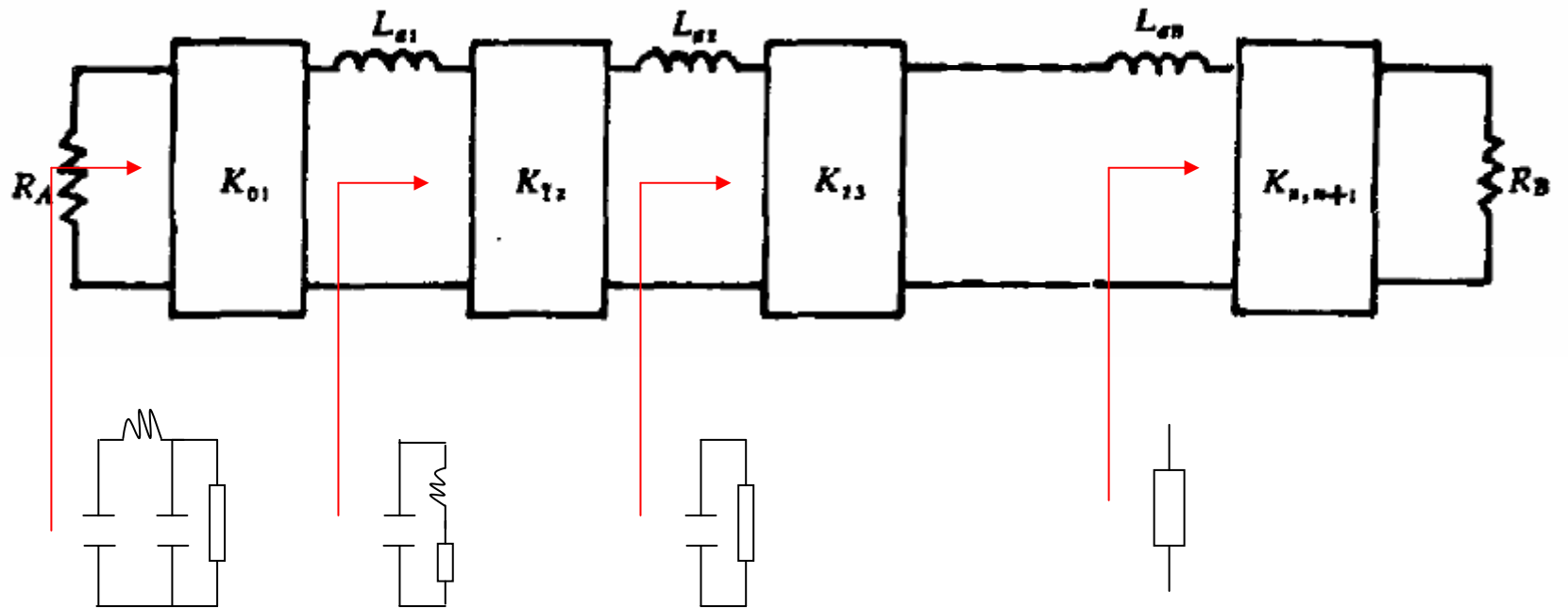


(a)



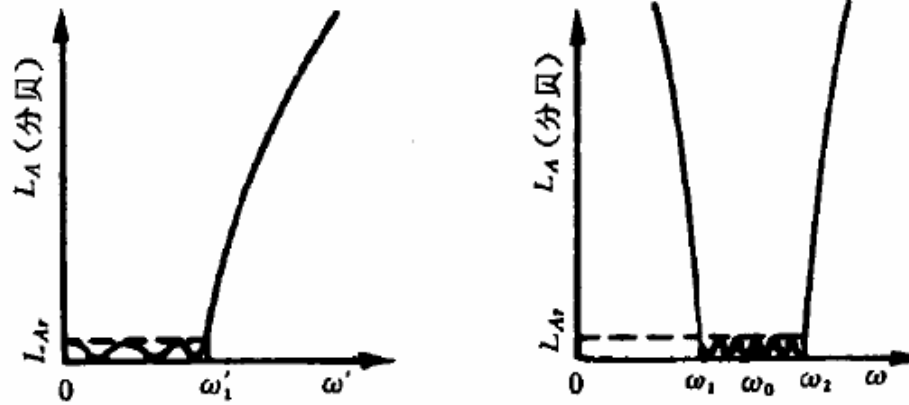
(b)

采用一种电抗元件和阻抗变换器的滤波器原型

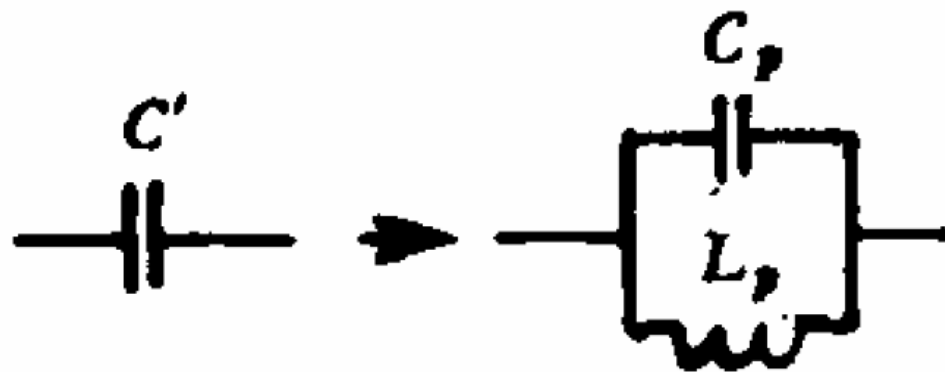


利用变换器将切比雪夫低通滤波器原型变为只有一种元件的滤波器原型

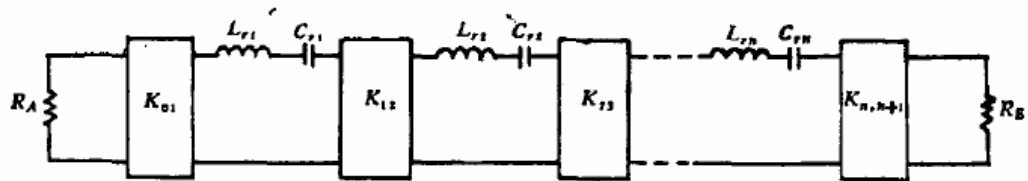
3.3 低通滤波器到带通滤波器的变换



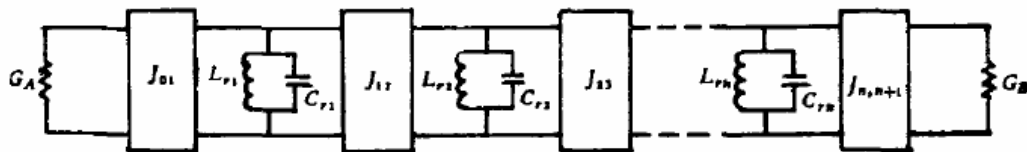
低通滤波器和带通滤波器的插入损耗



低通到带通元器件变换



(a)



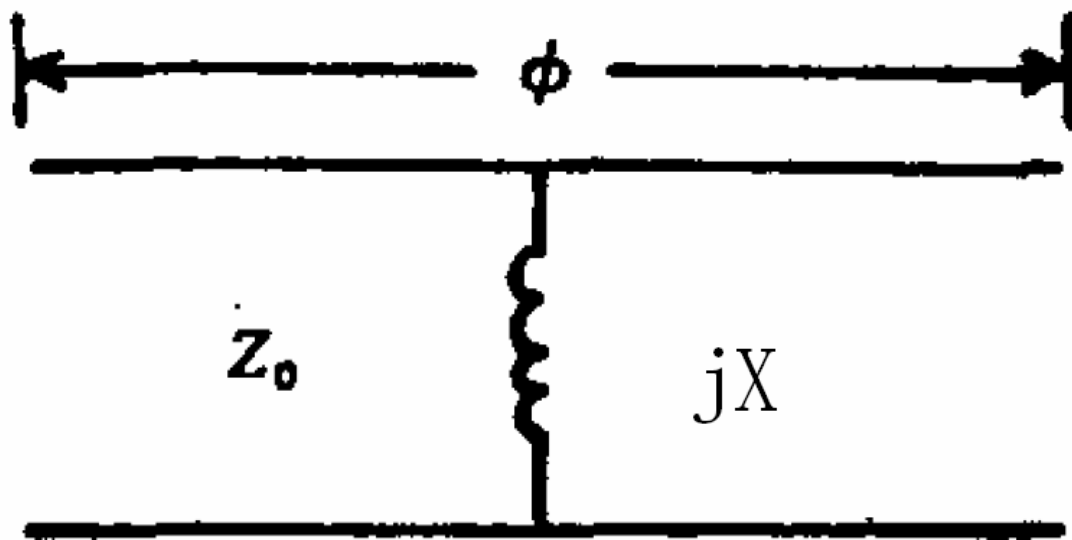
(b)

带变换器的带通滤波器原型

各种谐振电路，通过一定方式的变换器连接，可以组成低通滤波器。如果我们找到一种新的谐振电路，或者一种新的变换器，我们可以设计一种新的滤波器。

3.4 科恩的直接耦合腔滤波器

1957, 科恩 (S. B. Cohn) 提出了用二分之一波长的传输线作为谐振腔和电感性模片作为变换器的滤波器。直接耦合腔滤波器在通讯技术中得到了广泛应用。



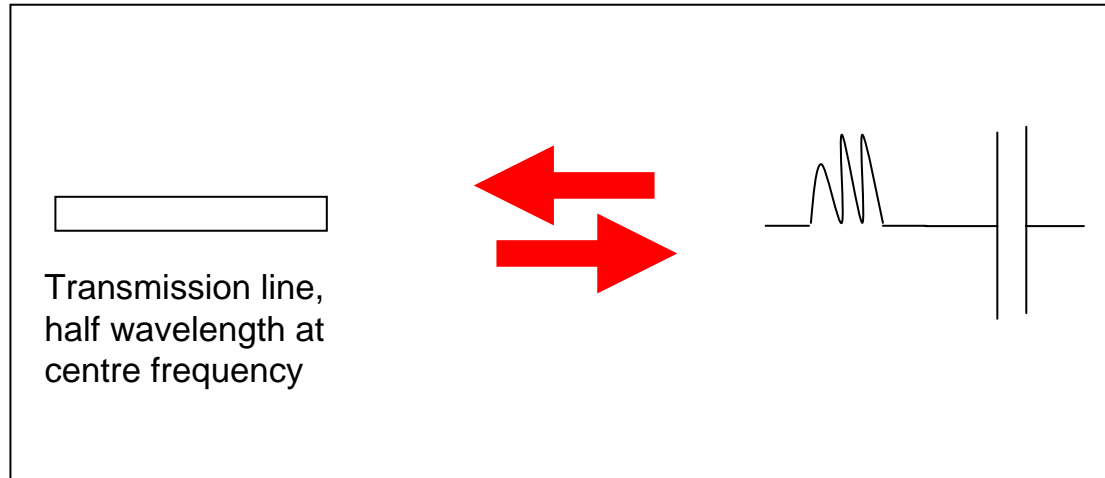
科恩的阻抗变换器

这里，传输线的长度为负：

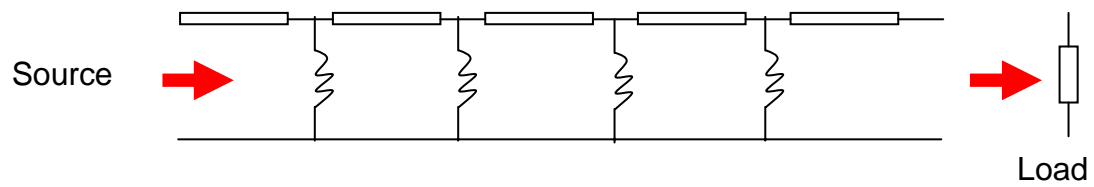
$$\phi = -\tan^{-1}\left(\frac{2X}{Z_0}\right)$$

则：

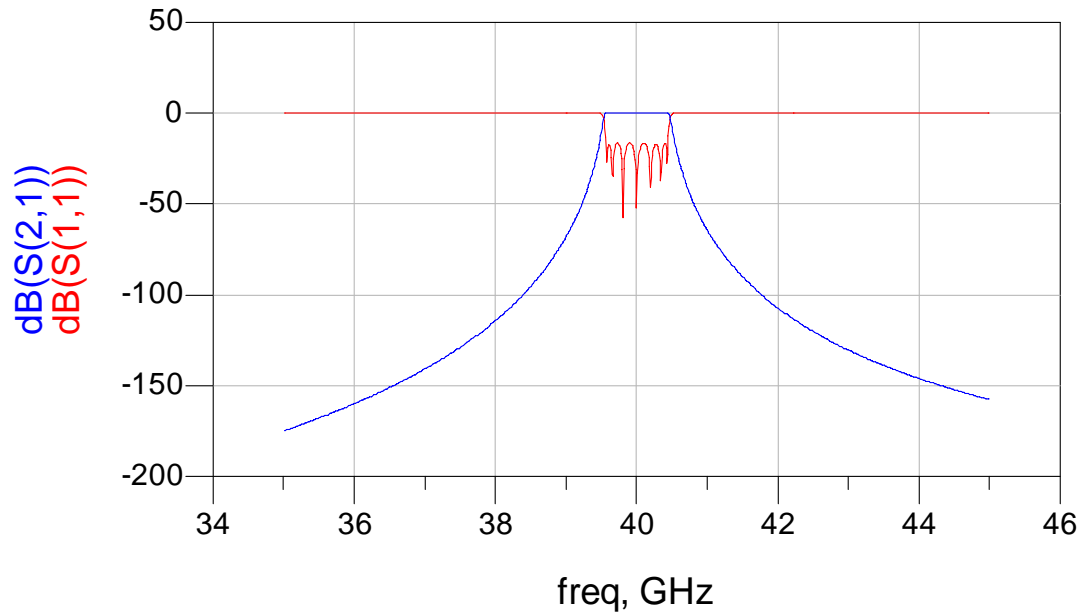
$$K = Z_0 \tan(\phi/2)$$



科恩的传输线谐振腔



科恩的直接耦合腔波导滤波器

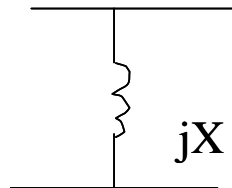
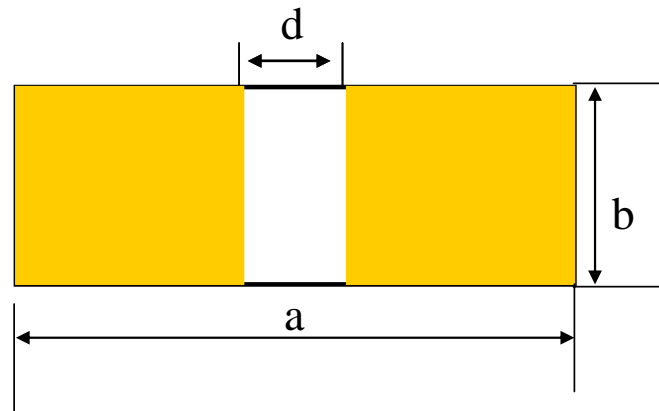


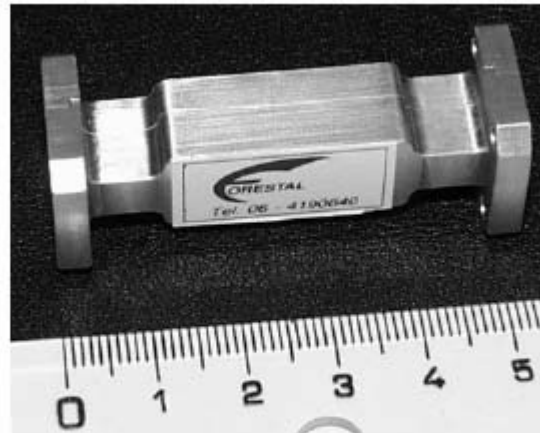
模拟得到的直接耦合腔滤波器的反射和传输曲线， $N=7$ ， $L=0.1\text{dB}$ 。中心频率40GHz，带宽1GHz。

3.5 科恩的直接耦合腔波导滤波器

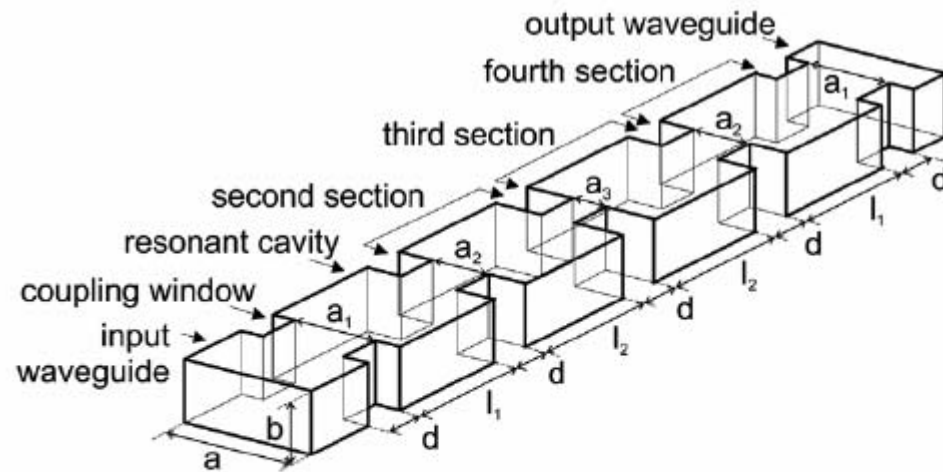
采用波导和波导中的电感性膜片，可以构成直接耦合腔波导滤波器

电感性膜片是置于波导中，中间开缝的金属薄片



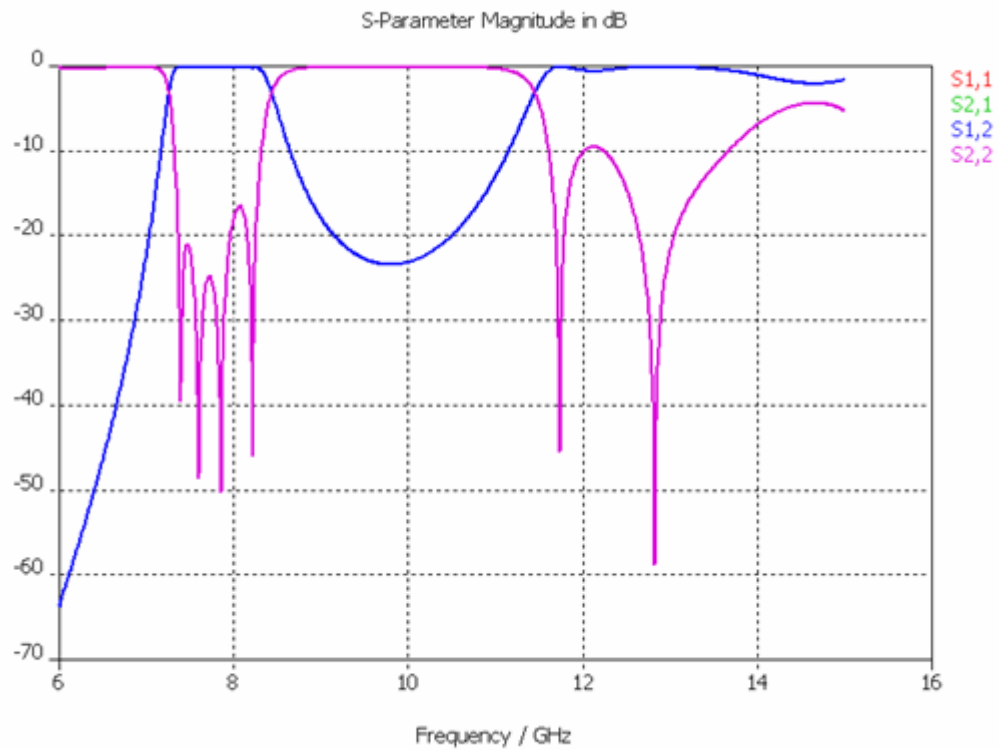


(a)



(b)

Fig. 6. Manufactured prototype of an LMDS filter at 28 GHz. (a) External view. (b) Inner structure.



反射和传输曲线：注意寄生通带的存在和影响

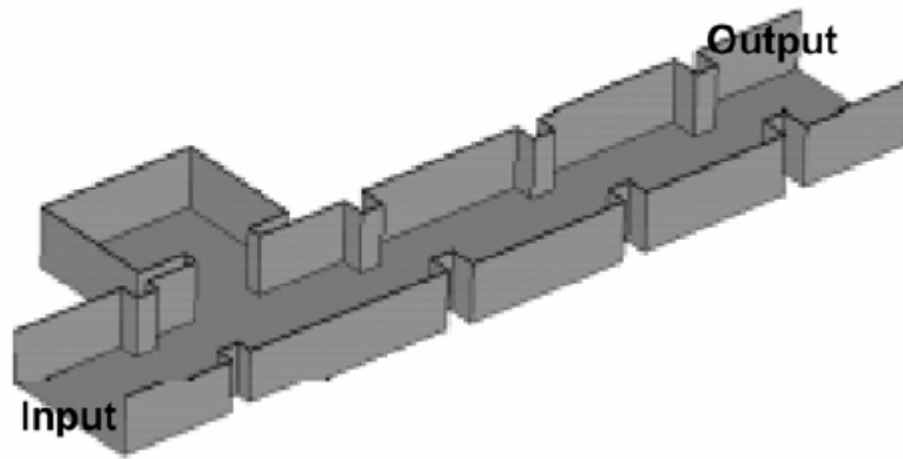
优点：结构简单，插损小

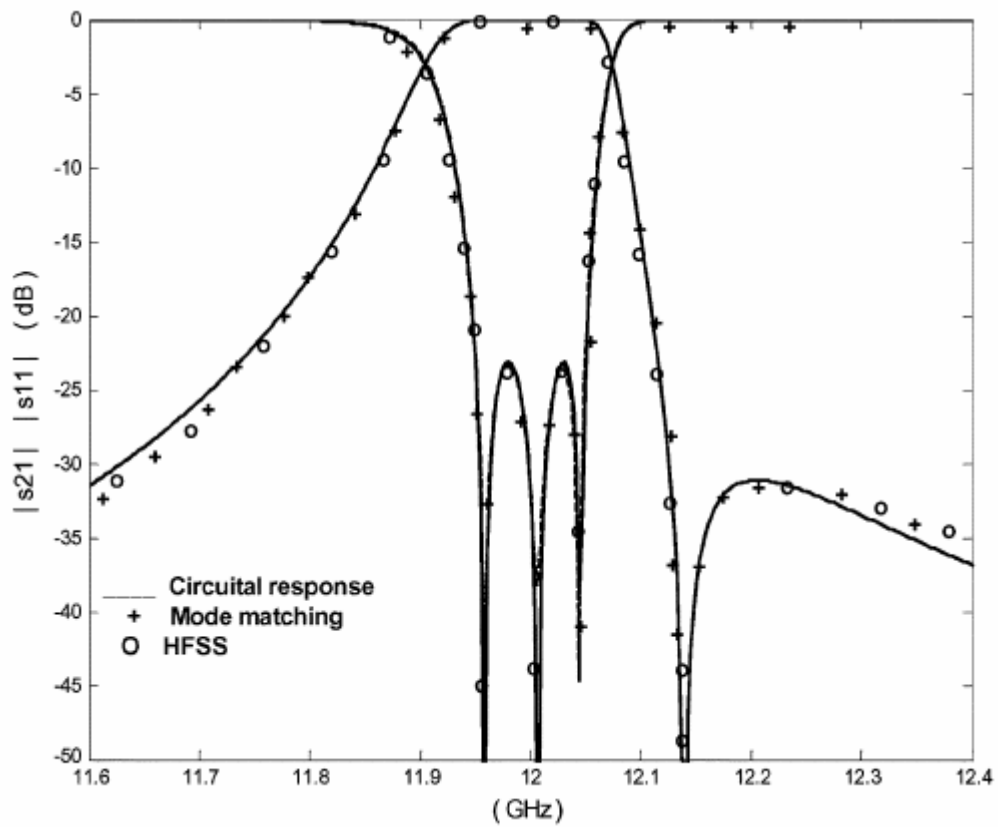
缺点：

较长、带外抑制陡度有限、阻带无传输零点、寄生通带影响

4. 波导滤波器小型化技术

4.1 短路支节





反射和传输曲线

优点：

带外抑制改善

灵活的传输零点位置

对于一定带外选择性要求，总体尺寸减小

易于铣加工

缺点：

结构复杂程度增加

器件宽度增加

4.2 基片集成波导滤波器

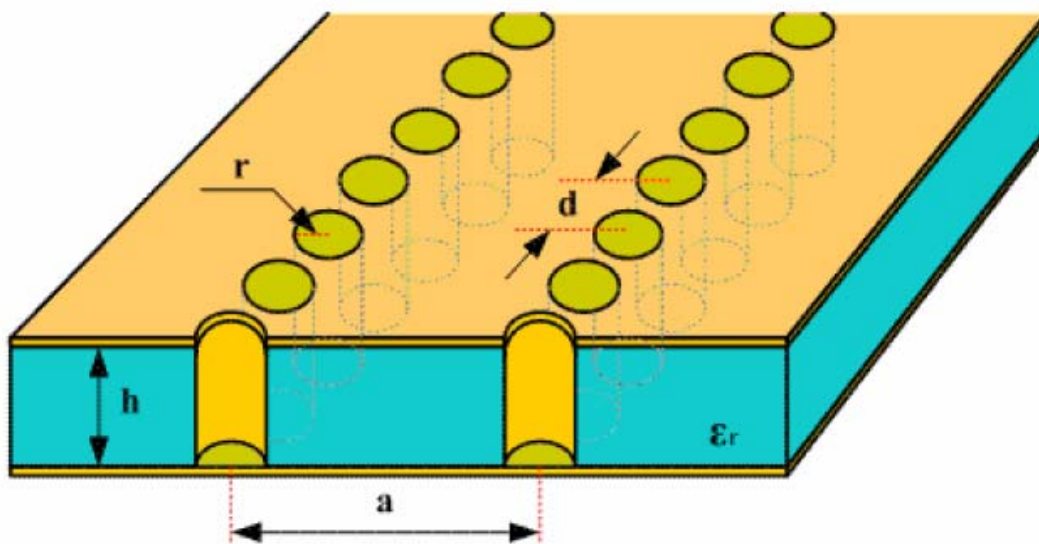
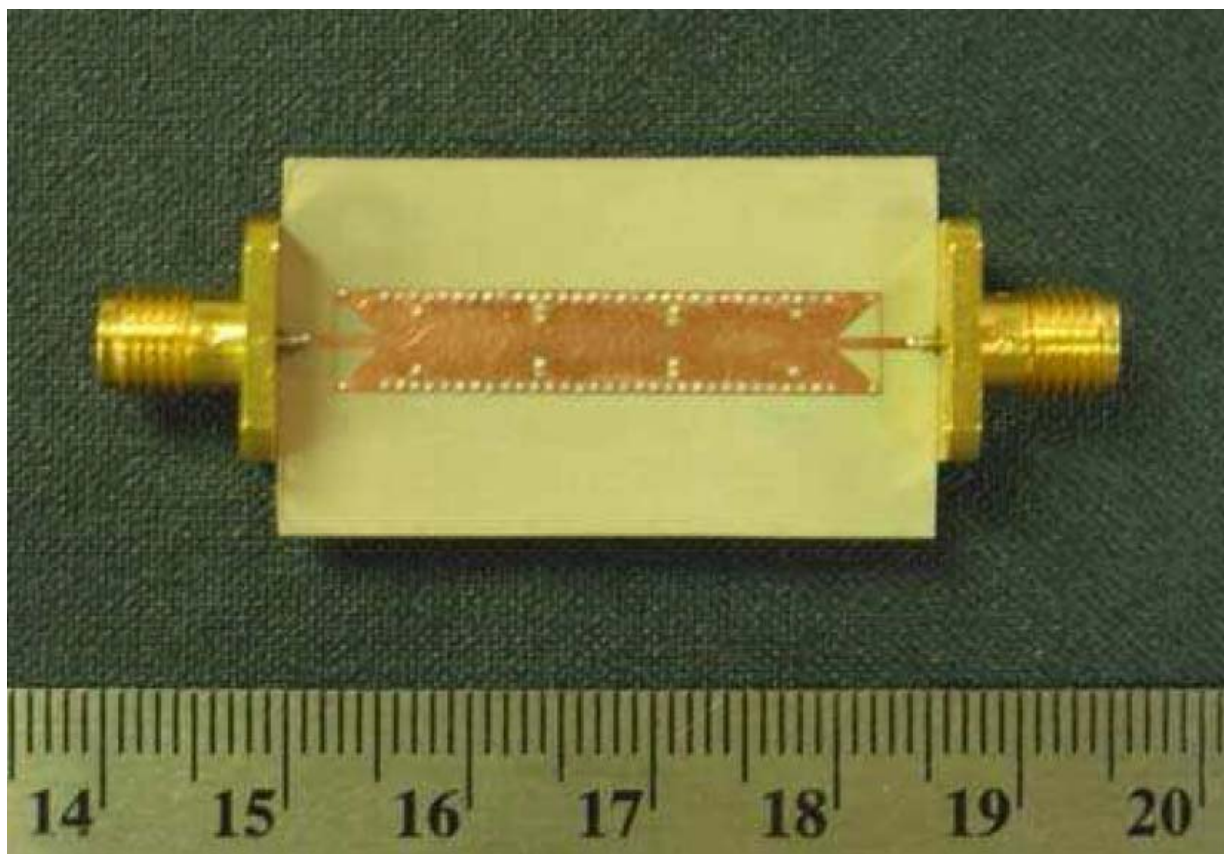
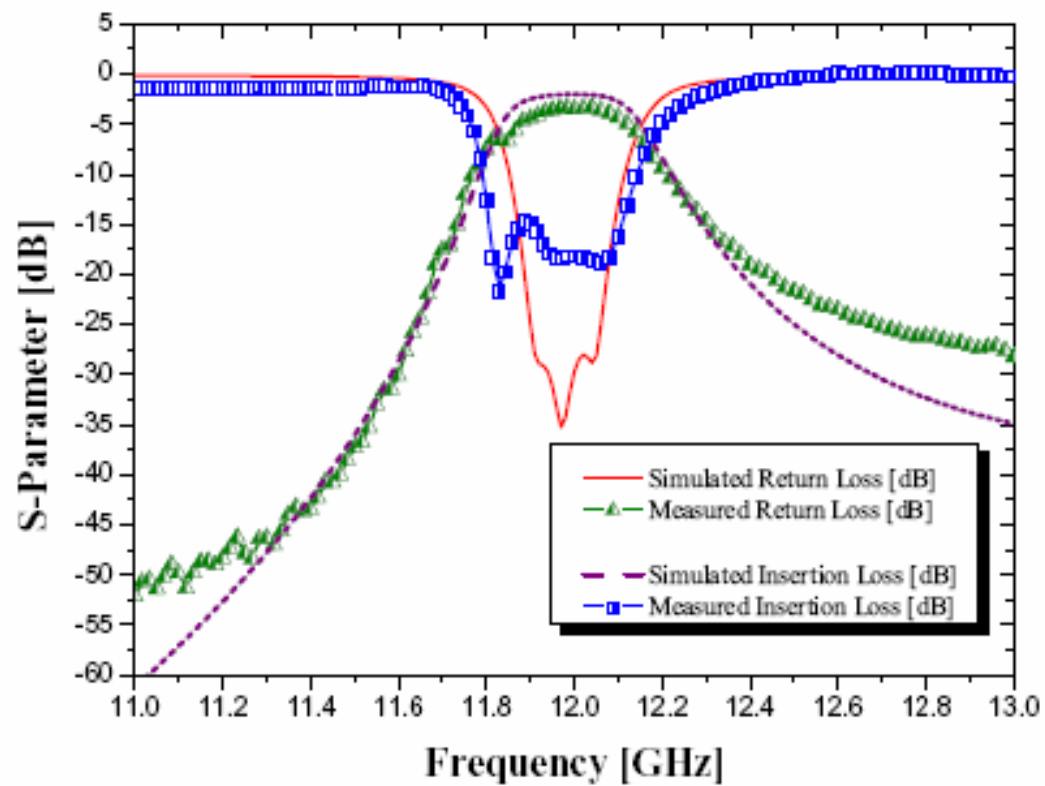


Fig. 1. Substrate integrated waveguide (SIW) structure

基片集成波导滤波器与普通波导滤波器相似，但采用金属过孔代替波导侧壁



12 GHz 基片集成波导滤波器



反射与传输曲线

优点：

超小型化

质量轻

低成本

表面安装、易于集成

比微带滤波器插损小、辐射小

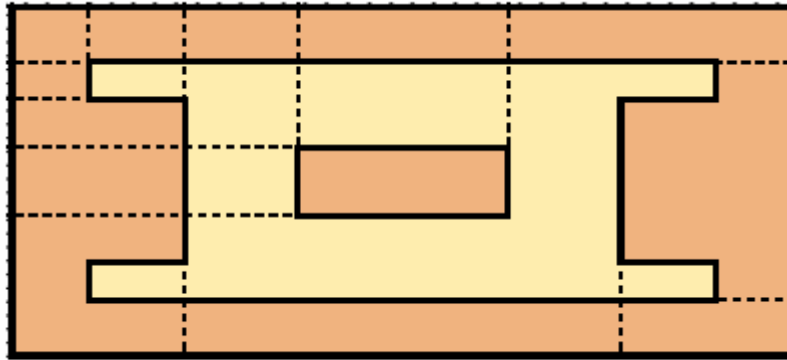
缺点：

插损比波导滤波器大

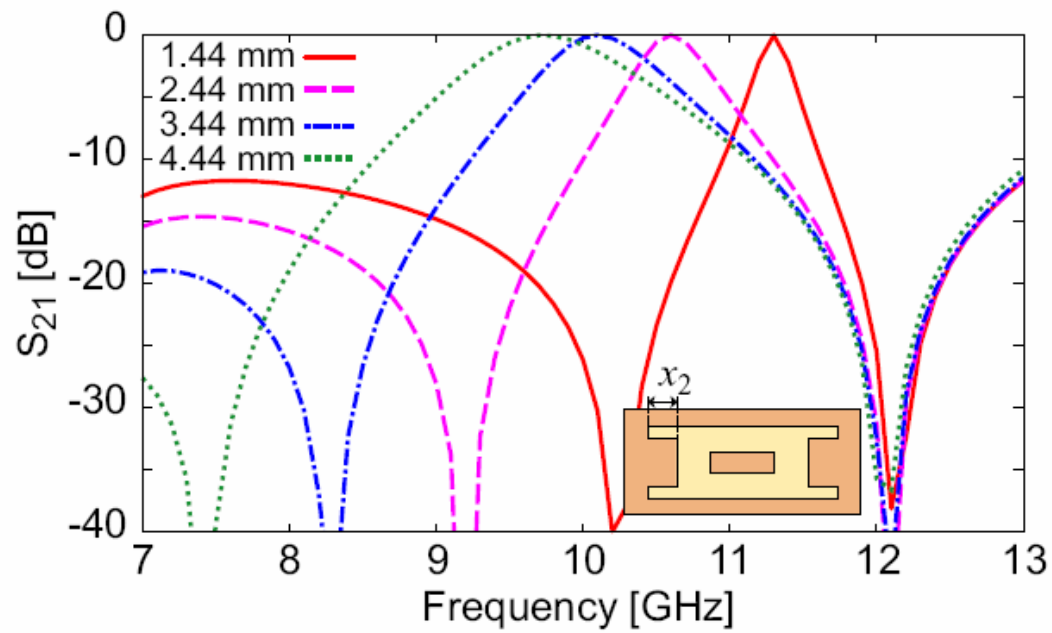
加工一致性要求高

性能易受材料影响

4.3 频率选择性膜片滤波器



频率选择性膜片

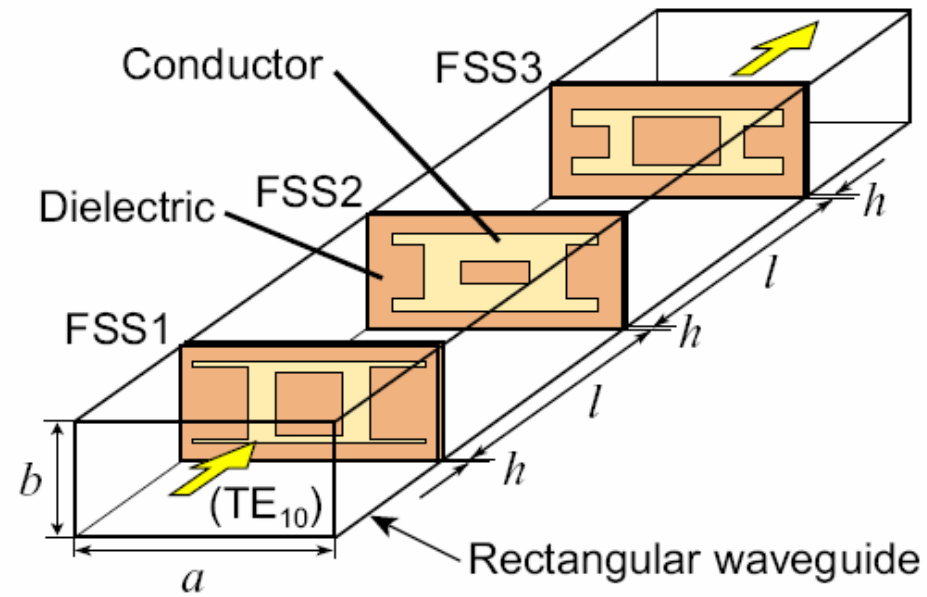


波导中的频率选择性膜片的反射和传输曲线

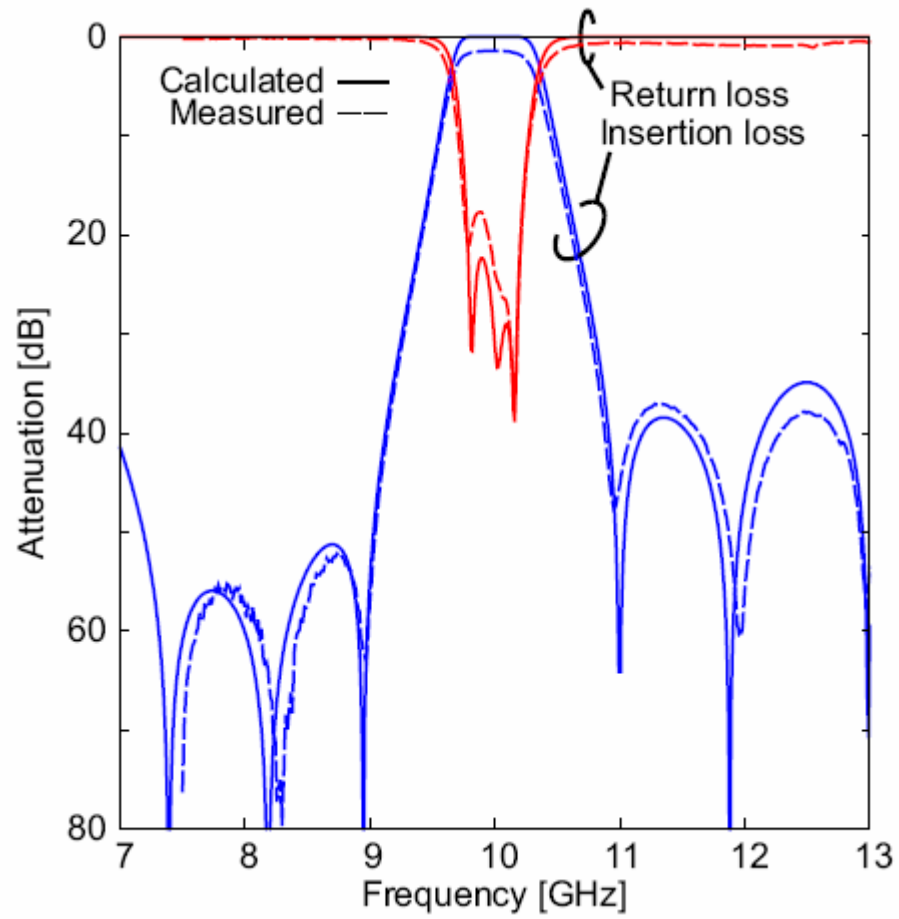
频率选择性膜片与普通电感膜片类似，但具有谐振特性

可以通过四分之一波长连接频率选择性膜片，构成带通滤波器。长度缩短50%。

可以通过四分之一波长连接频率选择性膜片，构成新型带阻滤波器。长度缩短50%。不需要短路支节，高度也缩小。



3阶频率选择性膜片波导滤波



反射和传输曲线

优点:

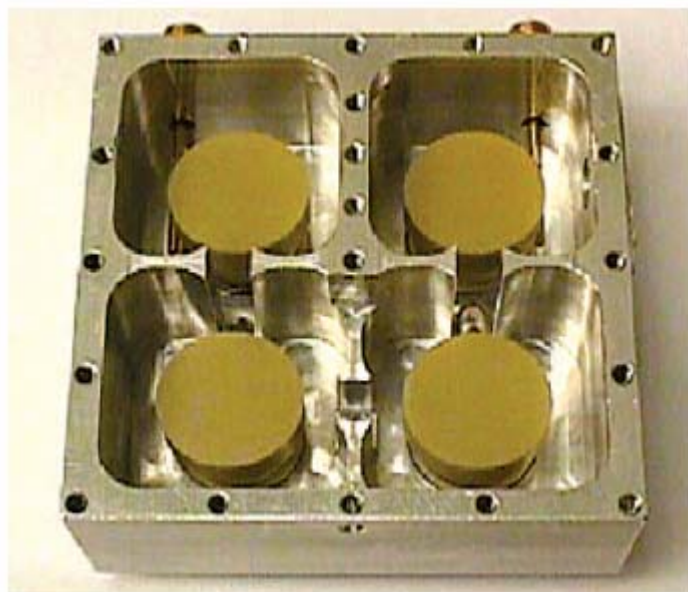
紧凑: 与普通直接耦合腔波导滤波器相比, 长度缩短**50%**。不需要短路支节可以传输传输零点, 满足更高选择性要求。

缺点:

不适于窄带

插损比波导滤波器大

4.4 介质谐振腔滤波器



优点：

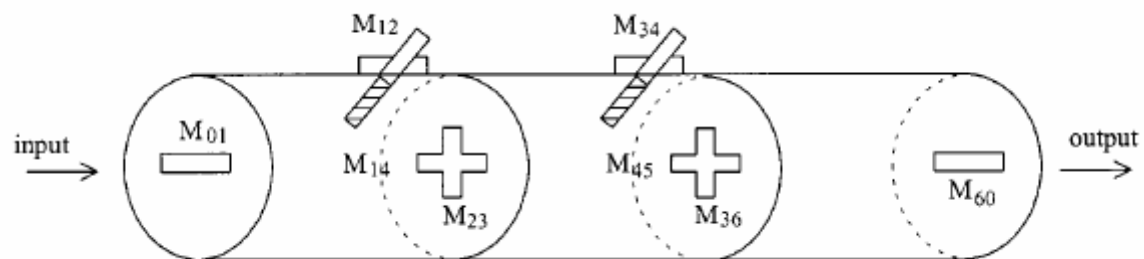
紧凑：与普通直接耦合腔波导滤波器相比，体积可以缩小**10**倍以上。

低插损

缺点：

对高性能介质的需求

4.5 多模腔滤波器



优点:

紧凑: 与满足同样指标的普通直接耦合腔波导滤波器相比, 体积可以大大缩小。

低插损

高选择性: 可以实现一个或多个传输零点, 使带外抑制迅速提高

缺点:

每一个腔体的尺寸可能比较大

比较复杂的微调技术

不适合于宽带

寄生通带的影响可能比较严重

谢谢，再见！