18. 公比线带通滤波器

苏 涛
西安电子科技大学，电子工程学院

滤波器综合：**Butterworth，Chebyshev**综合

à **LC**梯形网络（低通），易于集总元件实现

问题：

1、集总元件**LC**在微波频率下实现困难；

2、微波频率下，元件之间的距离（或连线）是不可忽略的。

- 集总元件LC等效，分布元件（传输线、谐振腔等）；
- 网络结构变换，利于微波结构实现（J/K变换器）；

窄带的，近似的

比如：高阻抗短截线等效串联电感；低阻抗短截线等效并联电容。

另外一种近似，另外一种研究思路

公比线带通滤波器

1. Richard变换

2. Kuroda恒等关系

3. 公比线低通

公比线带通滤波器

1. Richard变换

2. Kuroda恒等关系

3. 公比线低通

P. Richard为了用开路或者短路的传输线段来实现LC网络而引入变换 $w \to \Omega$

$$\boxed{\Omega = \tan b\, l = \tan\left(\frac{w\, l}{v_p}\right)}$$

w 频率变量；

Ω 分布频率变量；（**distributed frequency**）

若采用上述变换，

电感电抗 $jX_L = jL\tan b\,l = j\Omega L$

$Z_0 = L, q = b\,l$ 短路短截线

电容电导 $jB_c = jC\tan b\,l = j\Omega C$

$Y_0 = C, q = b\,l$ 开路短截线

电感和电容即开路或短路短截线。

【讨论】

1、Richard变换的周期性

相速和频率无关，无色散的，**TEM**模传输线；

即，电长度与频率成正比；

$$q = q_c \frac{w}{w_c}$$

对于低通原型，截止频率为 **1**；使经过**Richard**变换后，仍为**1**；即 $\Omega = 1$

$$\Omega = 1 = \tan\theta_c \left.\frac{\omega}{\omega_c}\right|_{\omega=\omega_c}$$

显然地，

$$\theta_c = \frac{\pi}{4}, l = \frac{\lambda}{8}$$

在 $\omega = 2\omega_c$ 时，传输线长度为四分之一波长，这里将发生衰减的极点。

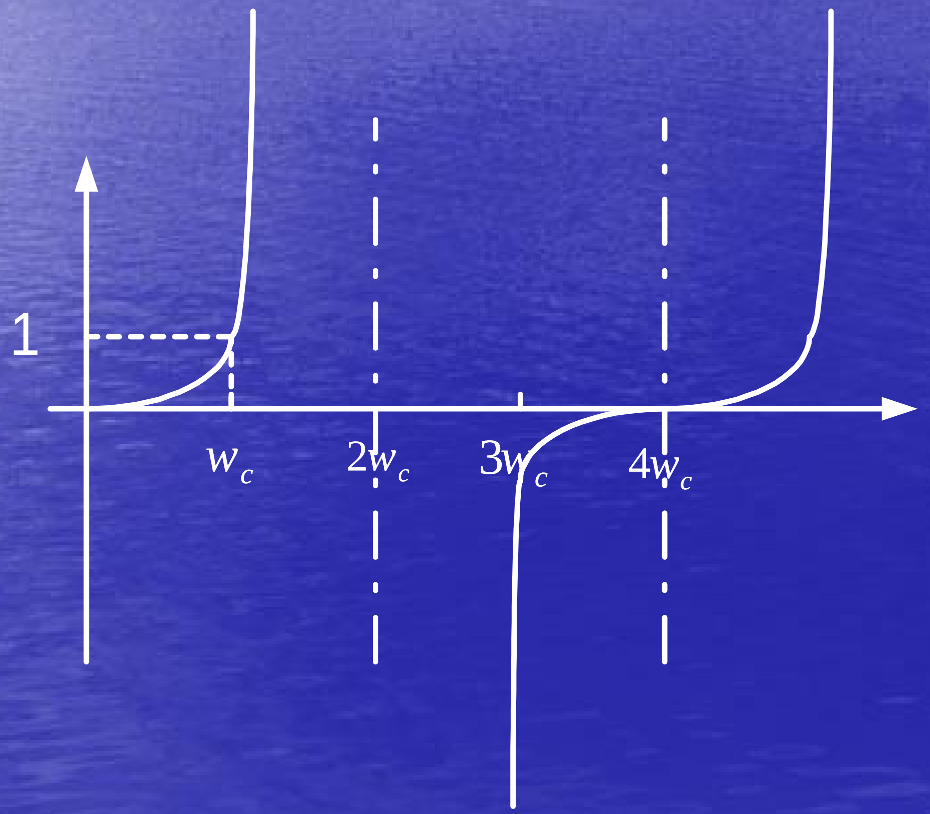
注意：远离截止频率时，短截线的阻抗将不再与原来的集总元件阻抗匹配。.

令：

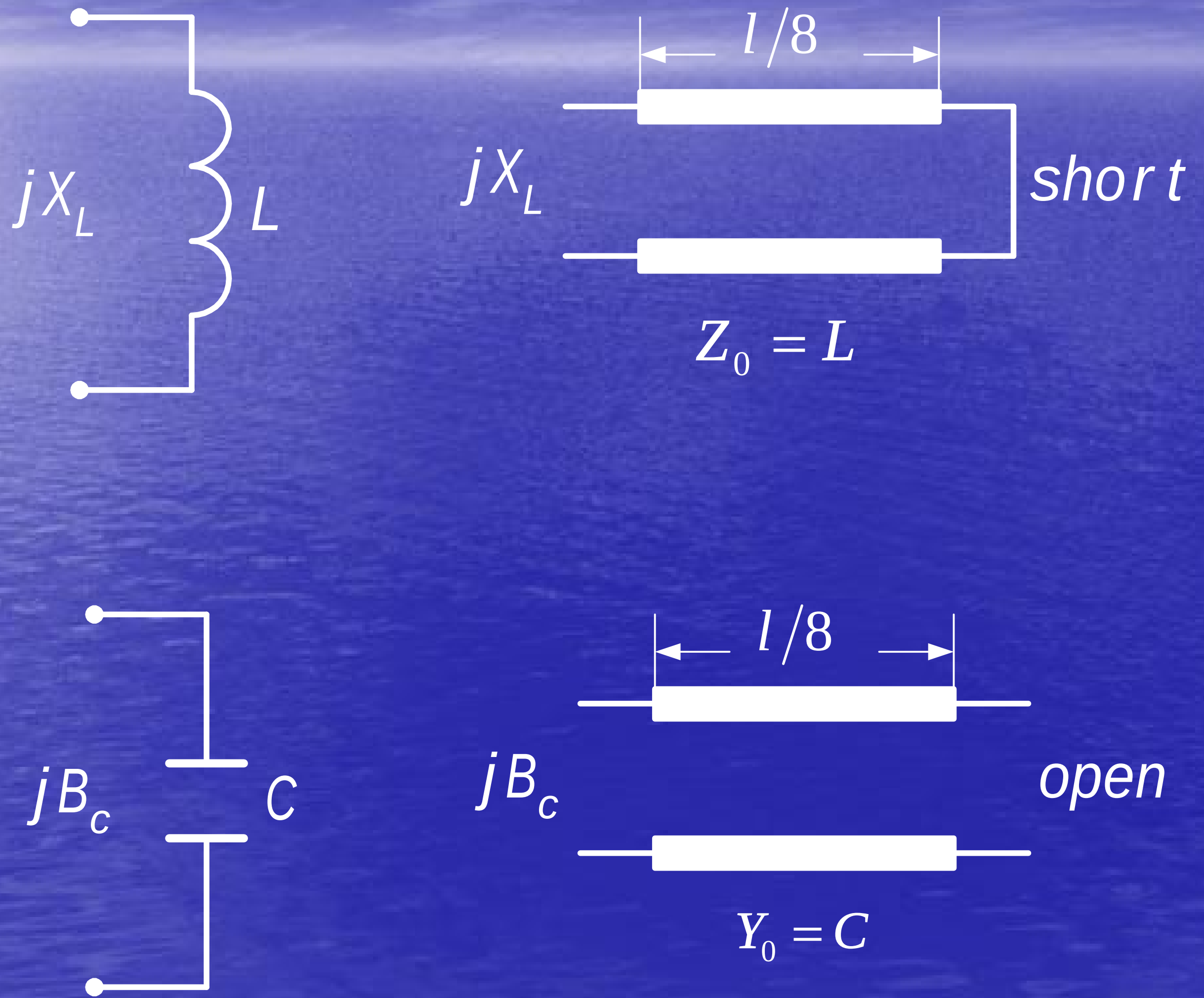
$$\Omega = \tan\left(\frac{p}{4}\cdot\frac{w}{w_c}\right)$$

有：

$$w: 0 \rightarrow 2 \qquad \Omega: 0 \rightarrow \infty$$



2. 分布元件等效

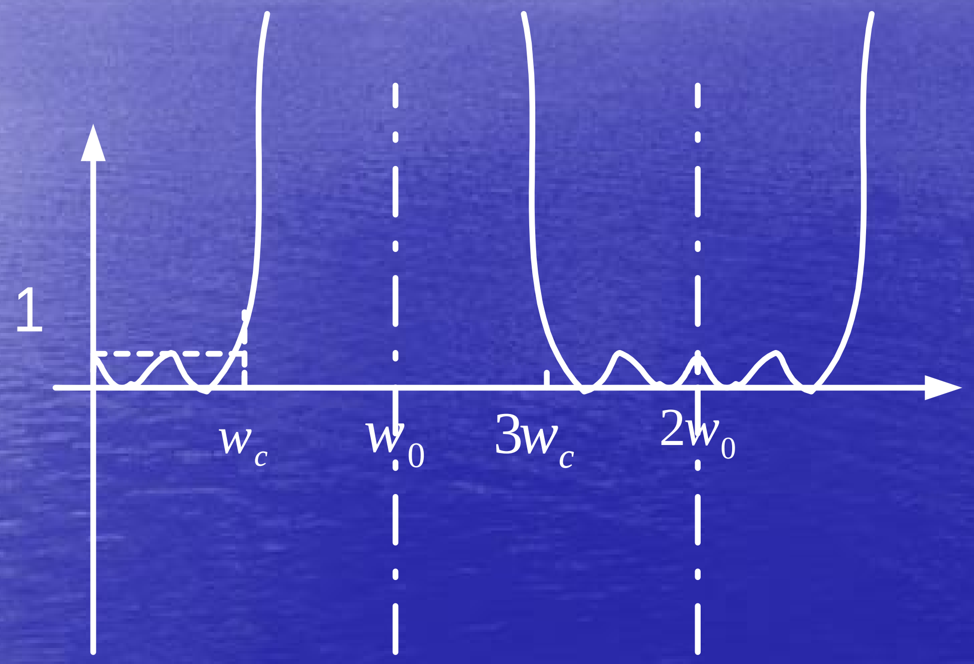


集总元件电感和电容可以用短路和开路短截线取代。

由于线长 $l = \frac{l}{8}$ ，这种线称为公比线（commensurate line）

网络综合步骤与低频相同，使用公比线实现。

3. 分布元件电路的周期性



低通原型经过变换之后，得到：

w 下的低通 à Ω 下的低通，

或 w_0 处的带阻；

w 下的高通 à Ω 下的高通，

或 w_0 处的带通。

$$w_0 = 2w_c$$

4. 传输矩阵

在 Ω 下的传输矩阵

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos q & jZ_0 \sin q \\ j\dfrac{1}{Z_0}\sin q & \cos q \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{1+\Omega^2}} \begin{bmatrix} 1 & j\Omega Z_0 \\ \dfrac{j\Omega}{Z_0} & 1 \end{bmatrix}$$

其中，

$$\Omega = \tan b\, l$$

公比线带通滤波器

1. Richard变换

2. Kuroda恒等关系

3. 公比线低通

Richard变换：把集总元件变换为传输线段；

Kuroda恒等关系：可用传输线段分隔个滤波器元件，添加的传输线段并不影响滤波器的响应，称为冗余滤波器综合，得到更容易实现的微波滤波器。

Kuroda恒等关系的作用：

- 使传输线短截线在物理上分隔开；
- 串联短截线变换成并联短截线，反之亦然；
- 把不实际的特性阻抗变为一种较易实现的特性阻抗。

附加的传输线段称为单位元件（UE，unit element）

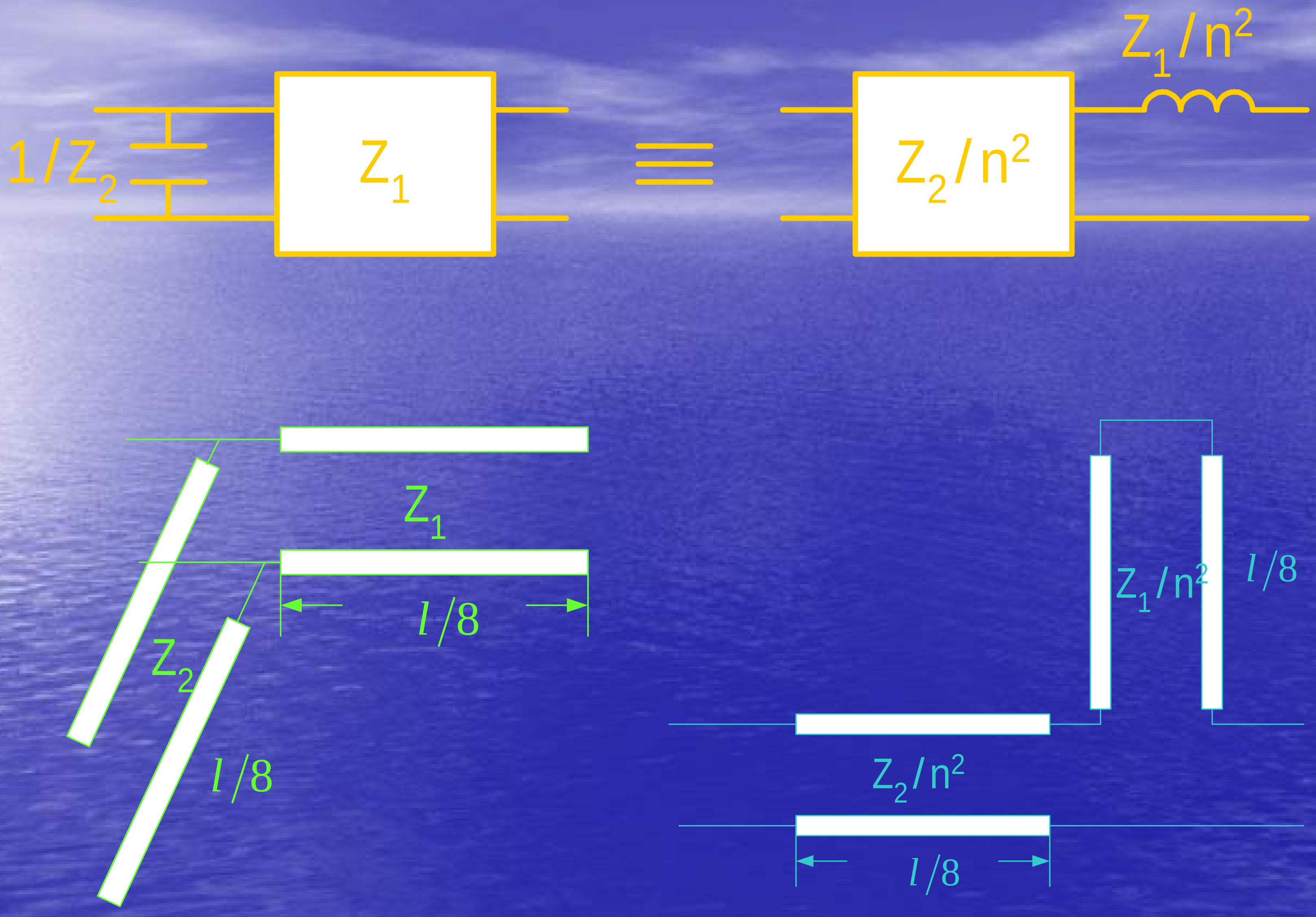
一般采用在截至频率处的八分之一传度传输线；

此与实现原型设计的电感和电容的短截线长度对应。

A.

盒子代表制定特定阻抗和长度（八分之一波长）的单位元件UE或者传输线；

电感电容代表短路或开路短截线。



$1/Z_2$
Z_1
$\equiv$
Z_2/n^2
Z_1/n^2
Z_1
$l/8$
Z_2
$l/8$
Z_1/n^2
$l/8$
Z_2/n^2
$l/8$

【证明】

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos q & jZ_1 \sin q \\ j\dfrac{1}{Z_1}\sin q & \cos q \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{1+\Omega^2}} \begin{bmatrix} 1 & j\Omega Z_1 \\ \dfrac{j\Omega}{Z_1} & 1 \end{bmatrix}$$

并联开路短截线导纳

$$-jZ_2 \cot b\, l = -jZ_2/\Omega$$

串联短路短截线阻抗

$$j\frac{Z_1}{n^2}\tan b\, l = j\Omega Z_1/n^2$$

第一个电路的传输矩阵 Ω

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix}_{total} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \dfrac{j\Omega}{Z_2} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & j\Omega Z_1 \\ \dfrac{j\Omega}{Z_1} & 1 \end{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{1+\Omega^2}}$$

$$= \frac{1}{\sqrt{1+\Omega^2}} \begin{bmatrix} 1 & j\Omega Z_1 \\ j\Omega\left(\dfrac{1}{Z_1}+\dfrac{1}{Z_2}\right) & 1-\Omega^2 \dfrac{Z_1}{Z_2} \end{bmatrix}$$

第二个电路的传输矩阵　　Ω

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix}_{total} = \begin{bmatrix} 1 & \dfrac{j\Omega Z_2}{n^2} \\ \dfrac{j\Omega n^2}{Z_2} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & \dfrac{j\Omega Z_1}{n^2} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{1+\Omega^2}}$$

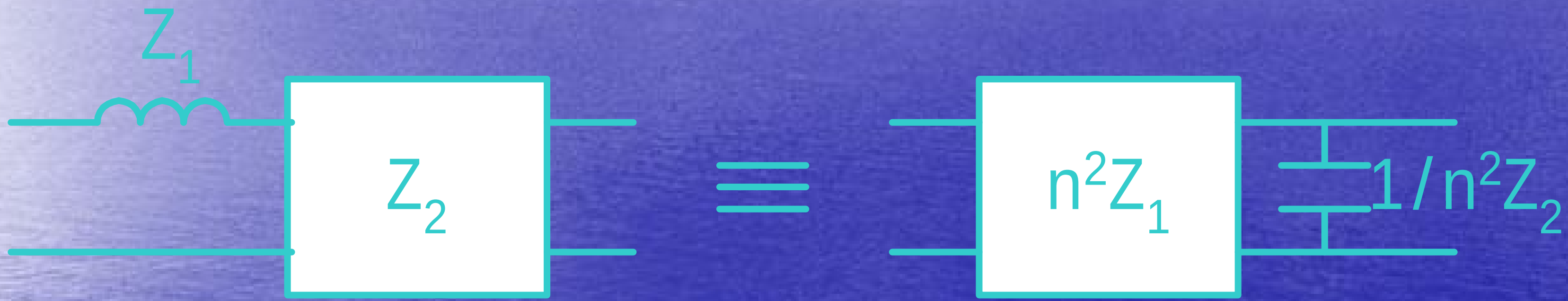
$$= \frac{1}{\sqrt{1+\Omega^2}} \begin{bmatrix} 1 & \dfrac{j\Omega}{n^2}\left(Z_1 + Z_2\right) \\ \dfrac{j\Omega n^2}{Z_2} & 1-\Omega^2 \dfrac{Z_1}{Z_2} \end{bmatrix}$$

如果选择

$$n^2 = 1 + Z_2/Z_1$$

结果恒定。 证毕！

B.



c.

D.

公比线带通滤波器

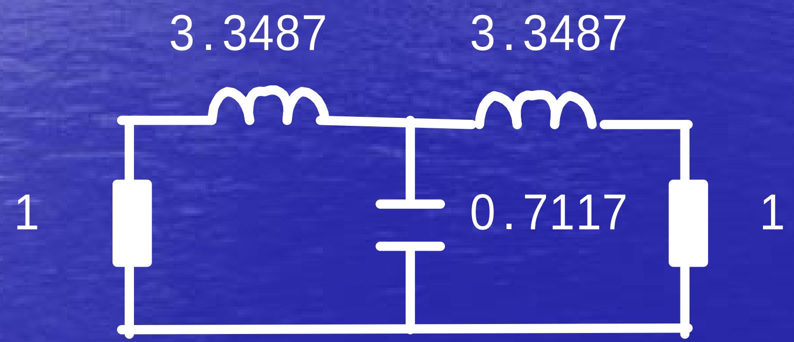
1. Richard变换

2. Kuroda恒等关系

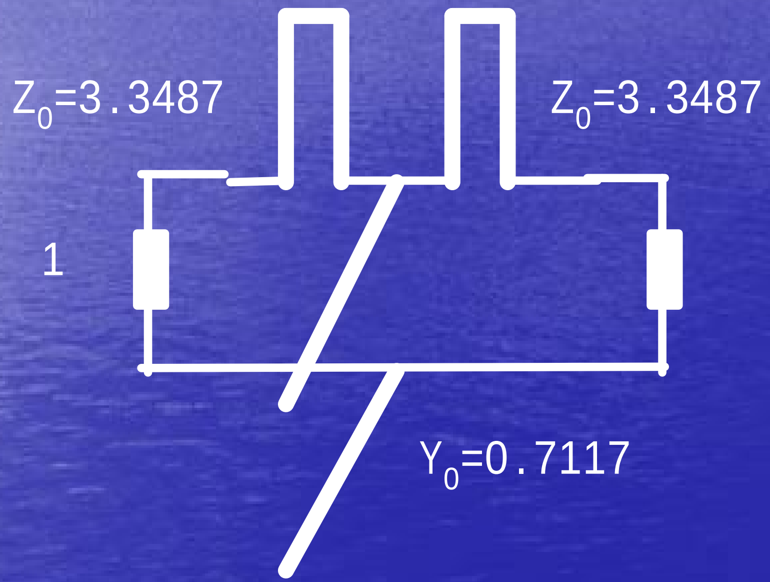
3. 公比线低通

【例】微带低通滤波器，截至频率4GHz，采用3阶Chebyshev综合，特性阻抗50欧姆，3dB等波纹

a. 低通电路



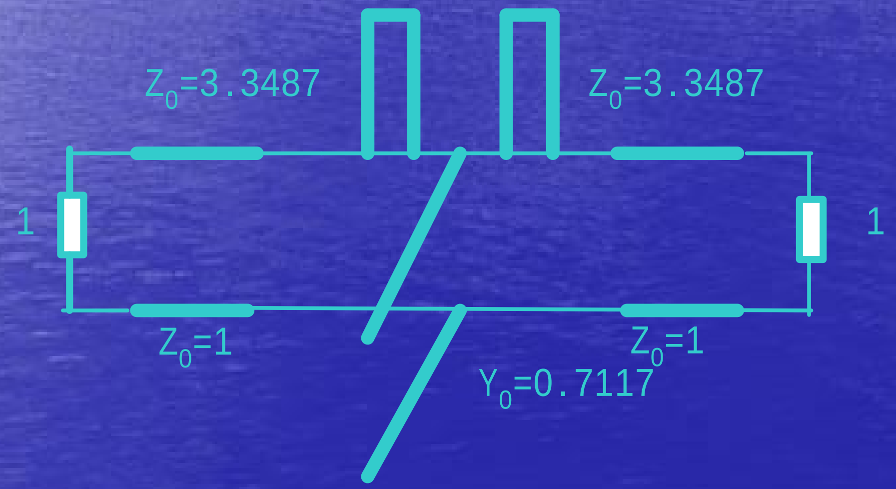
b. Richard变换



串联短截线在微带中实现是很困难的。

c. Kuroda恒等变换

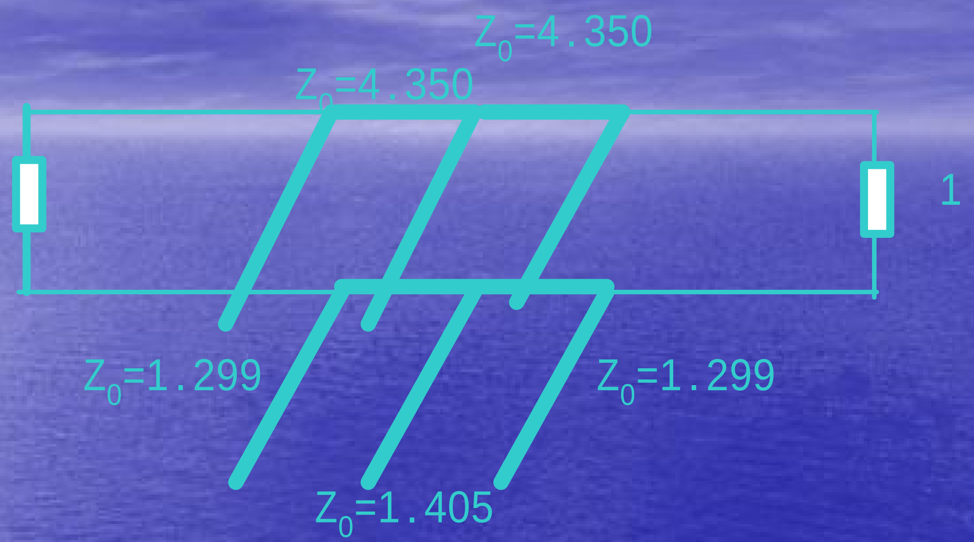
在滤波器的两端添加单位元件。



$$n^2 = 1 + Z_2 / Z_1 = 1 + \frac{1}{3.3487} = 1.299$$

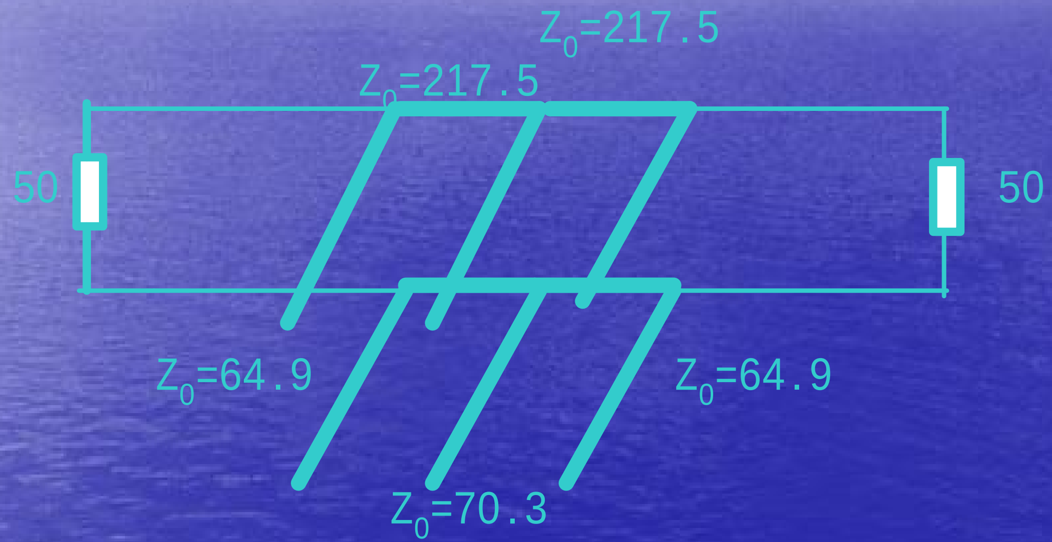
$$n^2 Z_1 = 4.350$$

$$\frac{1}{n^2 Z_2} = \frac{1}{1.299}$$



阻抗和频率定标：**50**欧姆，**4GHz**下八分之一波长。

d. 反归一



e. 物理电路