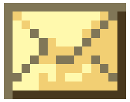
高泽华

- 联系方式：
- : gaozehua@bupt.edu.cn
-  :62283728
- 办公室：教三楼739

阻抗导纳圆图和阻抗匹配

- 阻抗和导纳圆图
- $\lambda/4$阻抗变换器、信号源与负载阻抗的匹配
- 阻抗匹配和调谐
- 小反射理论和宽带阻抗变换器

阻抗圆图和导纳圆图

阻抗圆图

电阻、电抗

等电阻圆、等电抗圆

等反射系数圆

驻波比

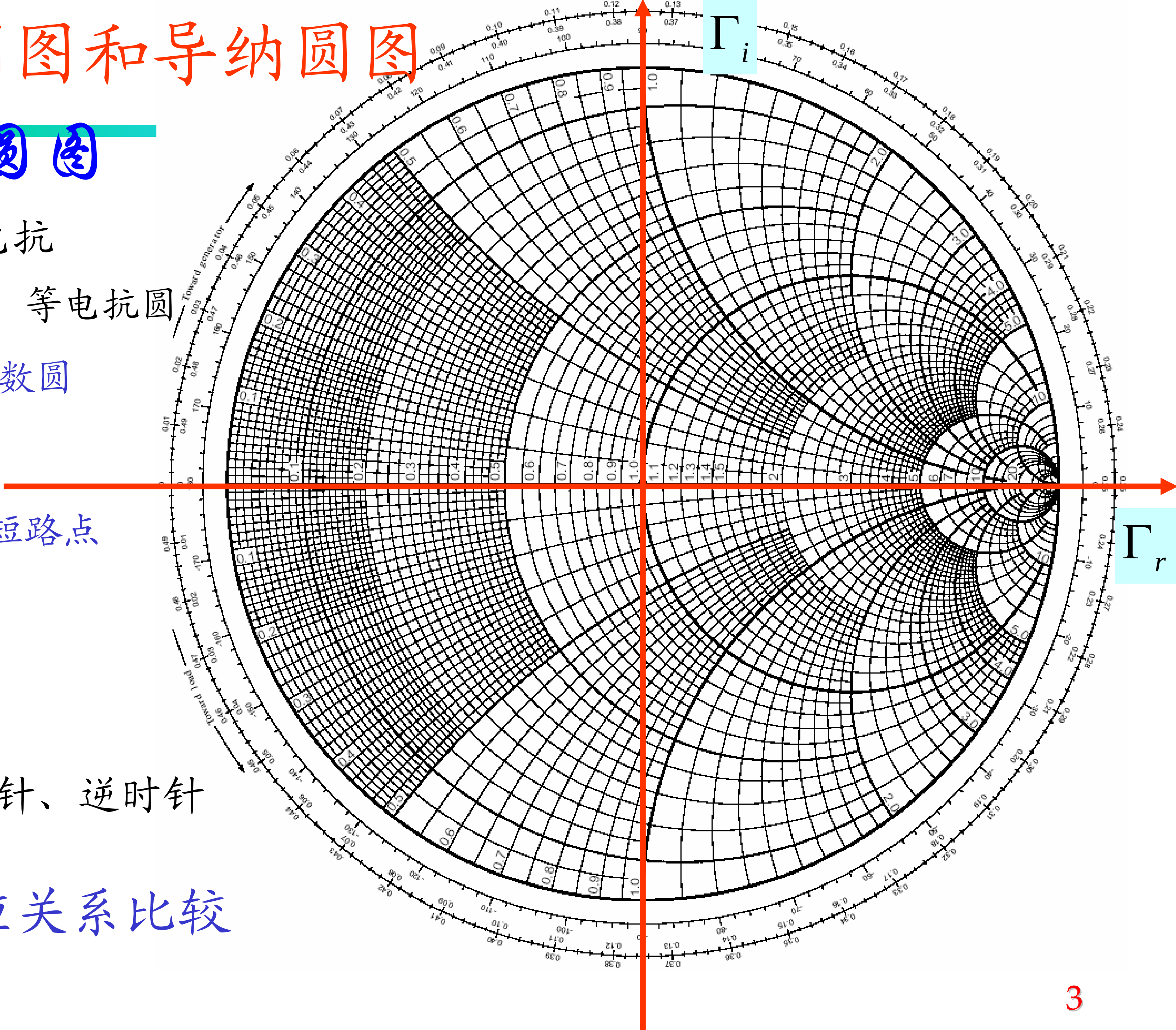
开路点、短路点

刻度

转?

顺时针、逆时针

对应关系比较

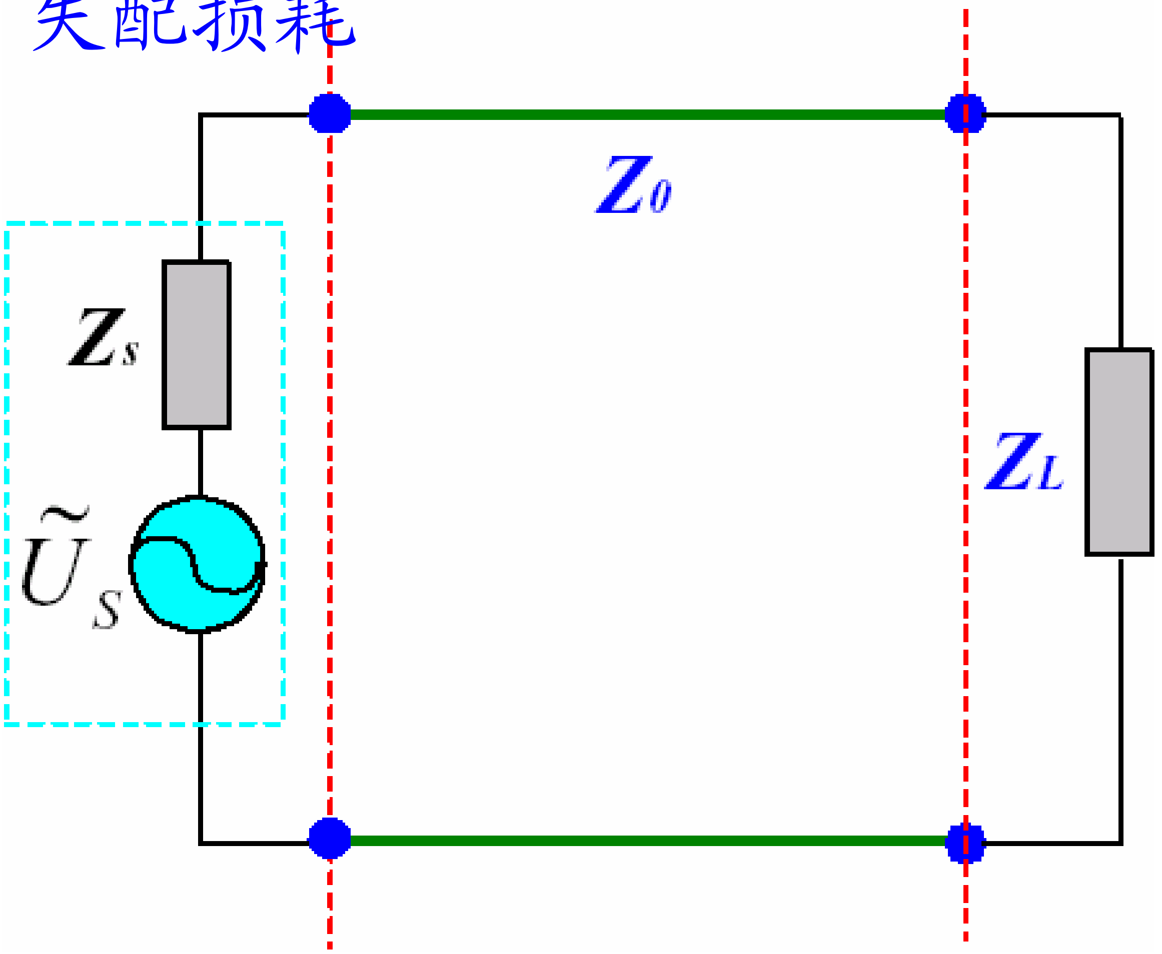


阻抗匹配

- 1. 匹配(这里只考虑：无损耗传输线)
- 2. ¼波长线串连匹配
- 3. 单节传输线并联匹配
- 4. 双节传输线并联匹配
- 5. 波导段匹配
- 6. 微带线匹配
- 7. 几种特殊要求下的匹配

传输线失配损耗

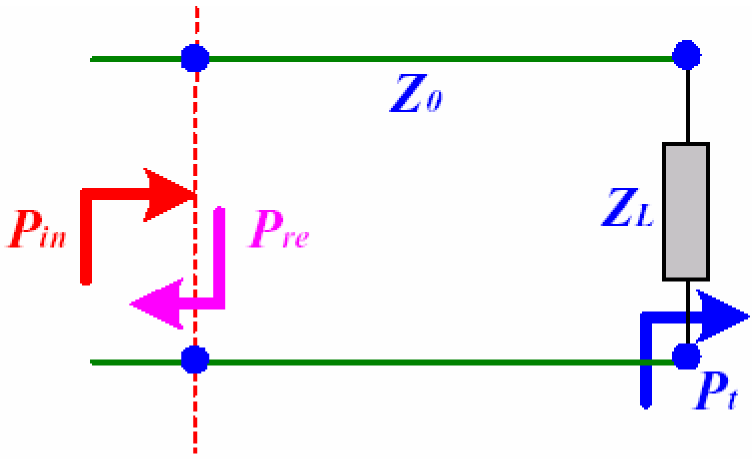
- 失配损耗

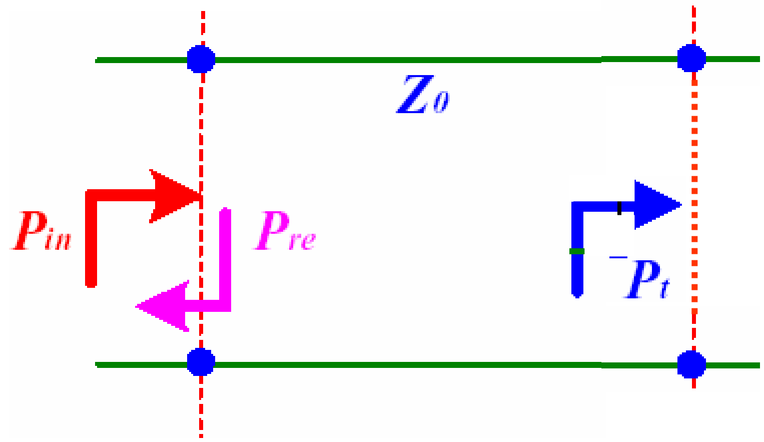


传输线损耗

- 衰减损耗
- 反射损耗
- 传输损耗
- 回波损耗
- 插入损耗

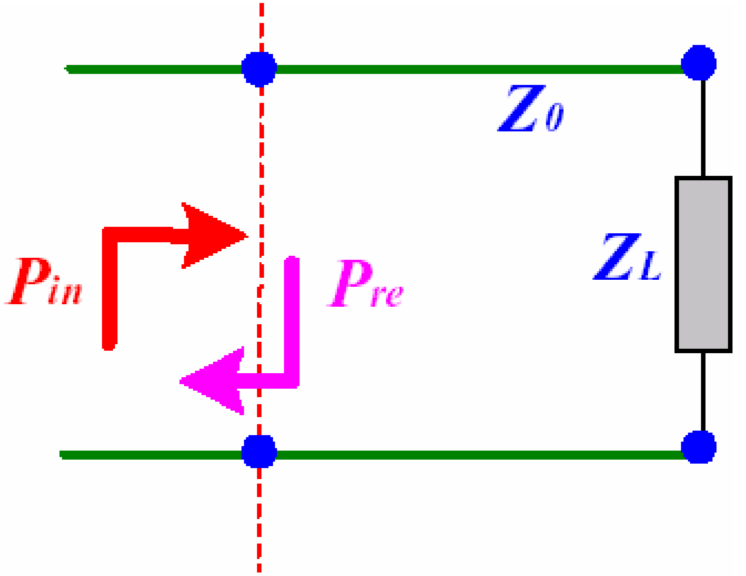
1、衰减损耗





$$L_{att} = 10 \cdot \lg\left(\frac{P_{in} - P_{re}}{P_t}\right) = 8.686 \cdot \alpha \cdot l \quad (dB)$$

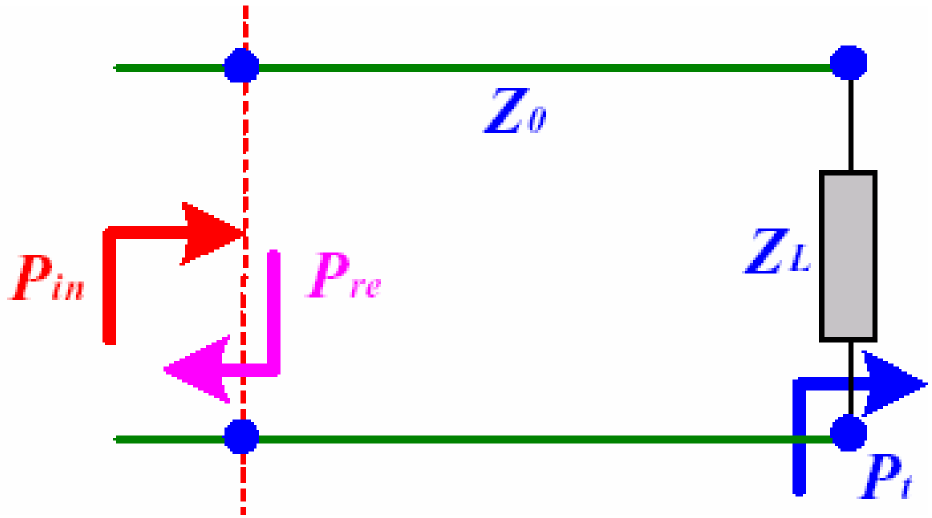
2、反射损耗



$$L_{re}=10\cdot\lg\left(\frac{P_{in}}{P_{in}-P_{re}}\right)=10\cdot\lg\left(\frac{1}{1-|\Gamma|^2}\right)\qquad(dB)$$

小?

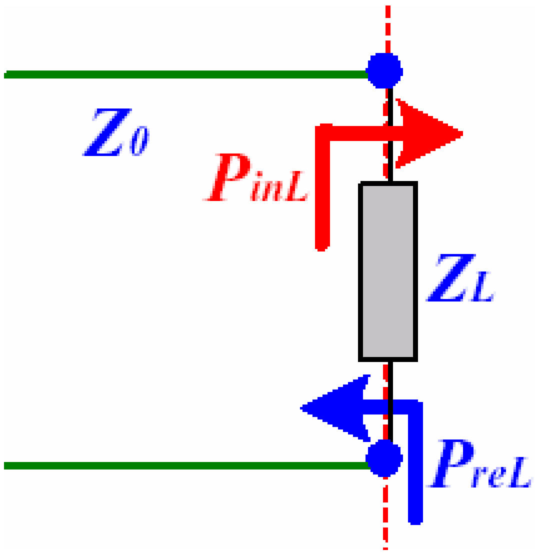
3、传输损耗



$$L_{TX} = 10 \cdot \lg\left(\frac{P_{in}}{P_t}\right) = L_{att} + L_{re} \qquad (dB)$$

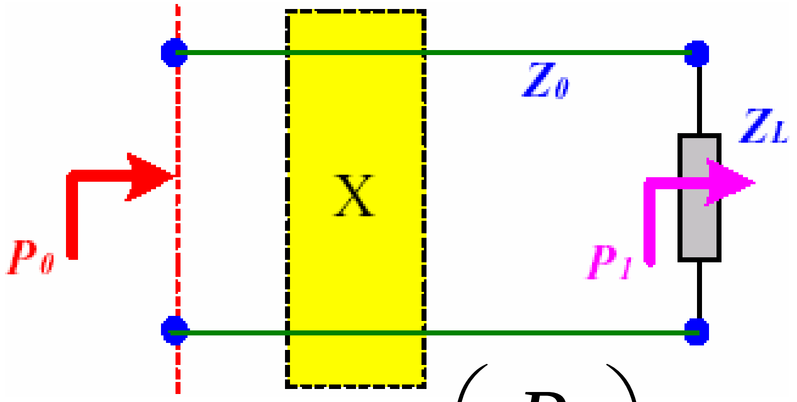
$$L_{att} = 10 \cdot \lg\left(\frac{P_{in} - P_{re}}{P_t}\right) \qquad L_{re} = 10 \cdot \lg\left(\frac{P_{in}}{P_{in} - P_{re}}\right)$$

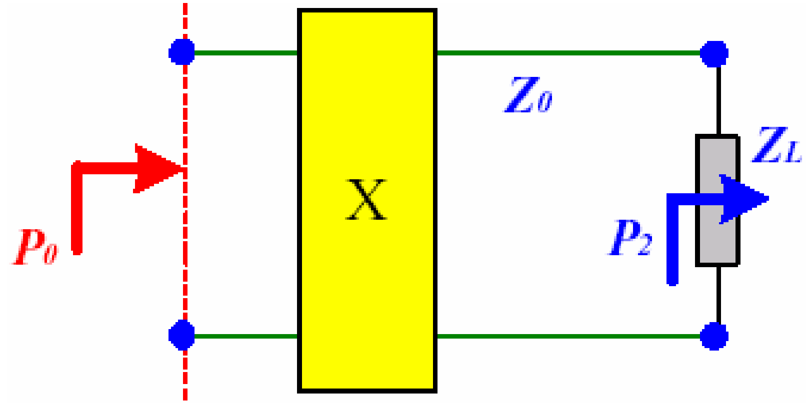
4、回波损耗



$$L_{ru} = 10 \cdot \lg\left(\frac{P_{inL}}{P_{reL}}\right) = 10 \cdot \lg\left(\frac{1}{|\Gamma|^2}\right) \qquad (dB)$$

5、插入损耗





$$L_{insert} = 10 \cdot \lg\left(\frac{P_1}{P_2}\right) \quad (dB)$$

引起插损原因

(1) 输入端失配
(2)器件衰减
(3)输出端失配

损耗总结

- 衰减损耗
- 反射损耗
- 传输损耗
- 回波损耗
- 插入损耗

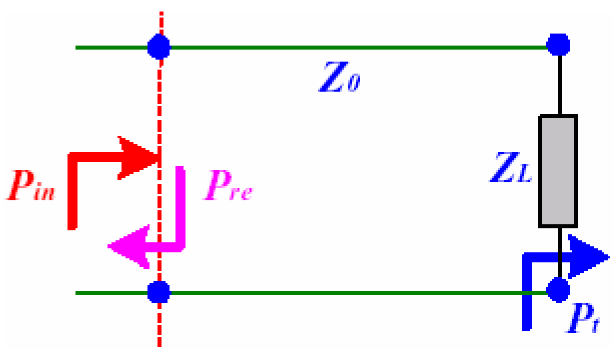
$$L_{att}=10\cdot\lg\left(\frac{P_{in}-P_{re}}{P_t}\right)$$

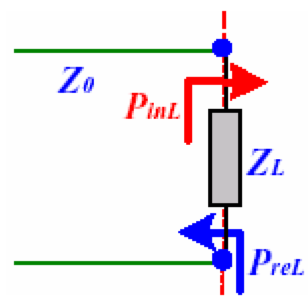
$$L_{re}=10\cdot\lg\left(\frac{P_{in}}{P_{in}-P_{re}}\right)$$

$$L_{TX}=10\cdot\lg\left(\frac{P_{in}}{P_t}\right)=L_{att}+L_{re}$$

$$L_{ru}=10\cdot\lg\left(\frac{P_{inL}}{P_{reL}}\right)=10\cdot\lg\left(\frac{1}{|\Gamma|^2}\right)$$

$$L_{insert}=10\cdot\lg\left(\frac{P_1}{P_2}\right)$$





问题的提出：匹配

$$\Gamma(L)=\frac{Z_L-Z_0}{Z_L+Z_0} \quad Z_{in}=Z_0\cdot\frac{Z_L+jZ_0tg(\beta\cdot l)}{Z_0+jZ_Ltg(\beta\cdot l)}$$

- （1）信号源输出最大功率— —“功率匹配”

$$Z_s=Z_{in}^*$$

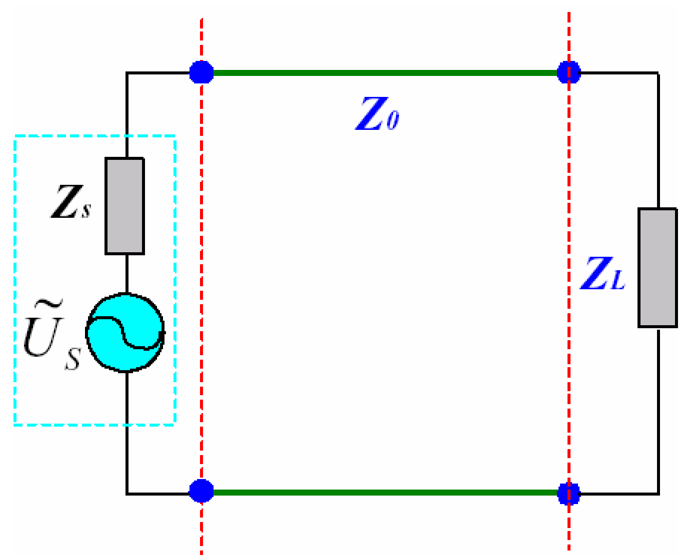
- （2）负载吸收全部功率— —“行波匹配”

$$Z_L=Z_0 \qquad Z_{in}=Z_0$$

- （3）无损耗传输线，什么时候“匹配”？

$$Z_0=R_0$$

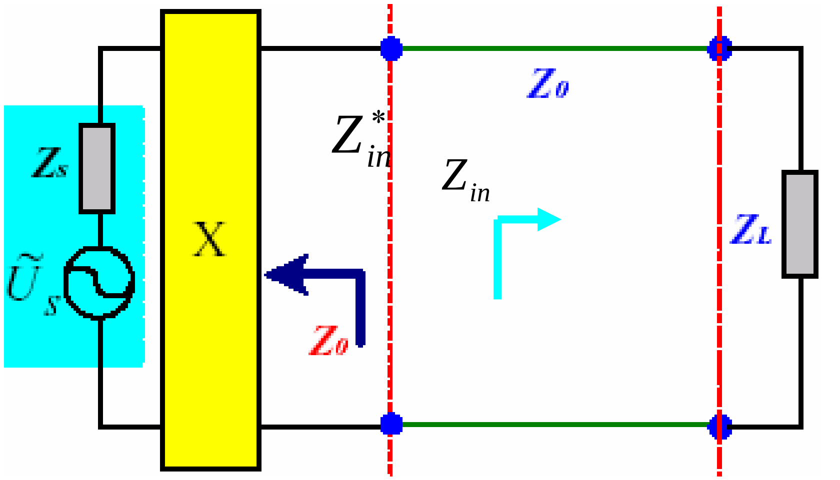
$$\begin{cases} Z_L=Z_0=R_0 \\ Z_s=Z_{in}^* \\ Z_{in}=R_0 \end{cases} \Rightarrow \boxed{Z_L=Z_s=R_0}$$



源的处理

1、匹配技术：

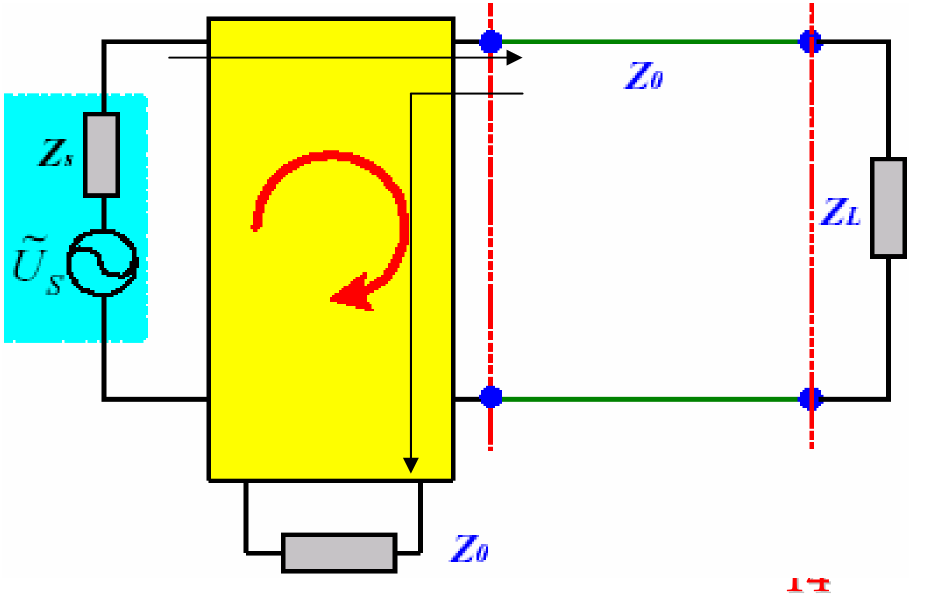
X阻抗为 Z_{in}^* 就可以匹配无反射



缺点：随频率变

2、隔离技术：环形器

优点：与频率无关（宽带）、无源

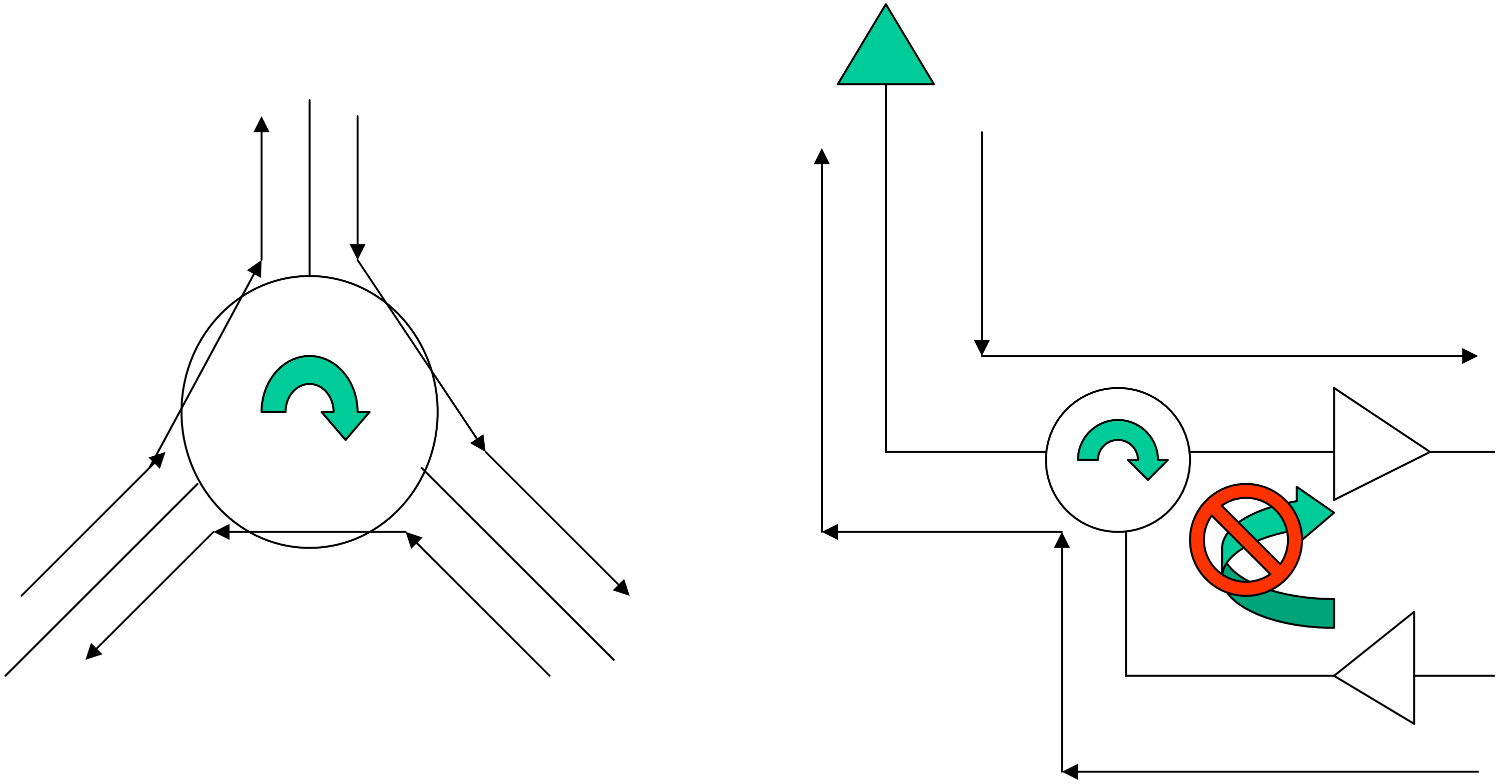


便宜
几元

贵：几千、几万

环形器

- 环形器



负载的处理

阻抗匹配

无损传输线枝节匹配

枝节：短路无开路无损的一段

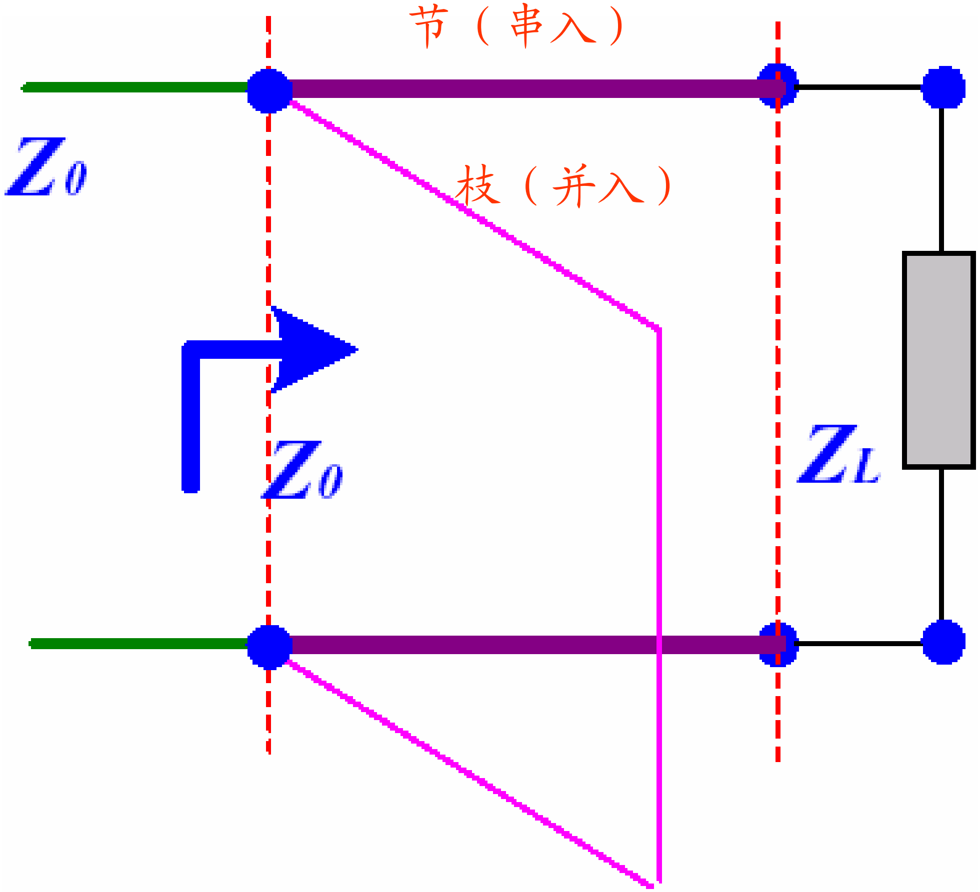
$$\Gamma(L)=\frac{Z_L-Z_0}{Z_L+Z_0}$$

无损传输线枝节匹配

$$Z_L=Z_0$$

$$Z_{in}=Z_0$$

枝节匹配

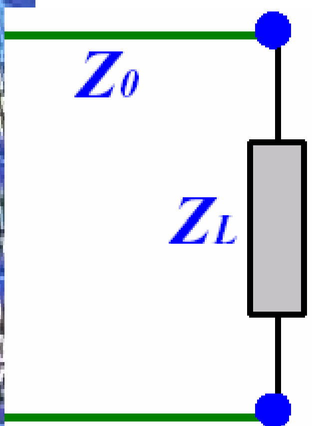


串连1/4波长线实现匹配

$$\Gamma(L)=\frac{Z_L-Z_0}{Z_L+Z_0}$$
$$Z_L=Z_0$$
$$Z_{in}=Z_0$$

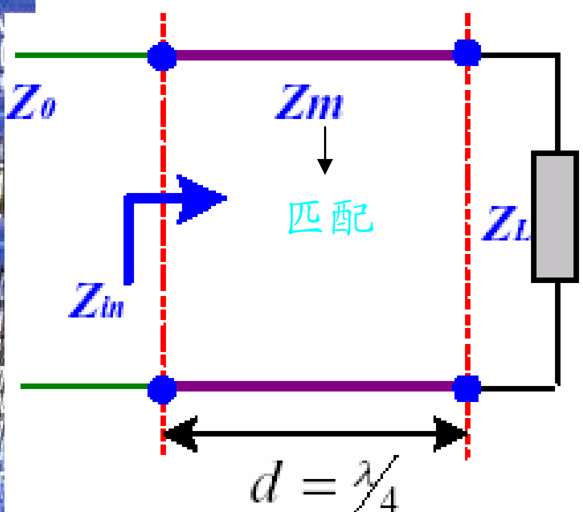
- 复习：无损耗线：$Z_0=R_0$

$$Z_{in}=Z_0\cdot\frac{Z_L+jZ_0tg(\beta l)}{Z_0+jZ_Ltg(\beta l)} \quad l=\frac{\lambda}{4}$$



$$Z_{in}(\frac{\lambda}{4})=\lim_{\beta l\to\frac{\pi}{2}}(Z_m\frac{Z_L+jZ_mtg(\beta l)}{Z_m+jZ_Ltg(\beta l)})=(Z_m)^2\left(\frac{1}{Z_L}\right)$$

匹配要求 $\boxed{Z_{in}=Z_0}$ 为实数



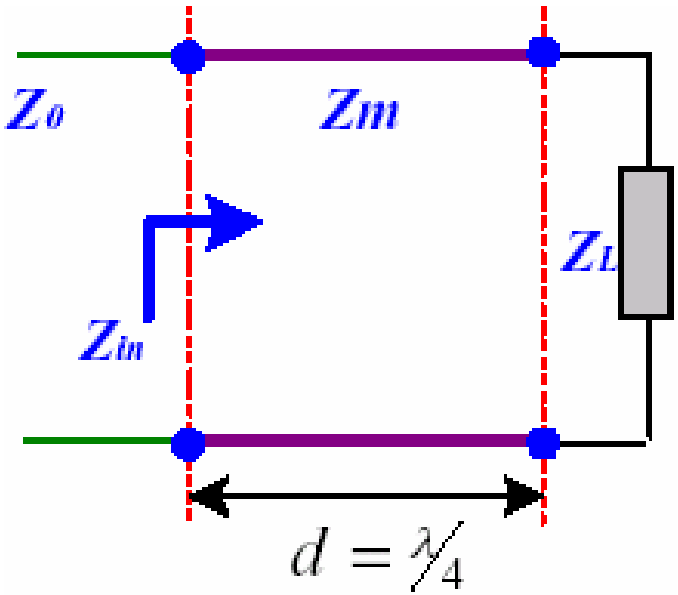
串联另外一种(Zm)传输线，实现匹配

四分之一波长阻抗变换器— —"阻抗倒置"

串连1/4波长线进行阻抗匹配

$Z_0 = R_0$

- 如果纯阻性负载 Z_L 没有虚部 —— $Z_L = R_L$



$$Z_{in} = (Z_m)^2\left(\frac{1}{R_L}\right) = Z_0$$

$$\therefore Z_m = \sqrt{Z_0 \cdot R_L}$$

串连一根1/4波长传输线，特征阻抗为: $Z_m = \sqrt{Z_0 \cdot R_L}$

串联的是另外一种(Zm)传输线，实现匹配

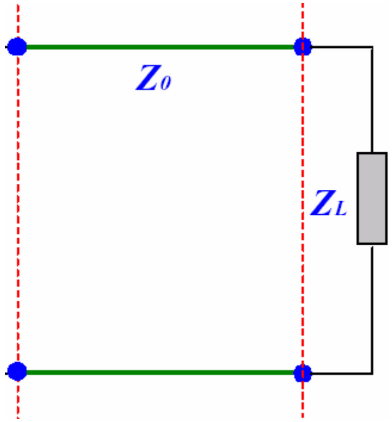
我们掌握了一种纯阻性负载匹配方法

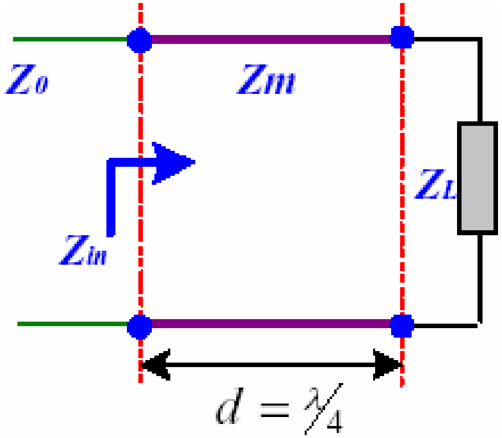
无损耗线

$Z_0 = R_0$

负载是复数情况下时

- 如果 $Z_L = R_L + jX_L$





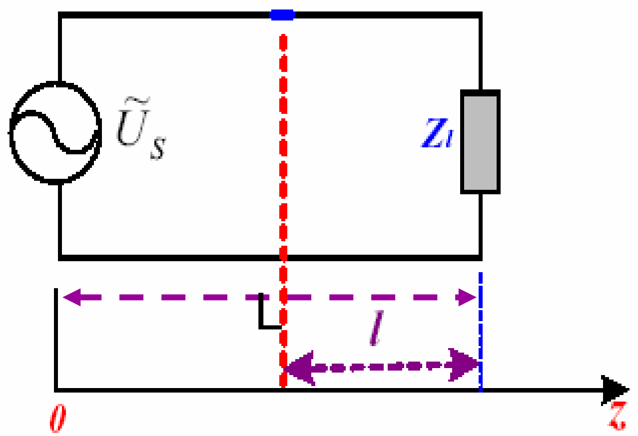
复数变实数负载实数化

如何实现?

复习驻波（standing wave）状态

驻波状态——全反射——终端短路、开路

驻波状态反射系数 $\Gamma = \pm 1$



由反射系数 $\Gamma(l) = \Gamma(L)e^{-2\gamma l}$

其中负载处反射系数 $\Gamma(L) = \dfrac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0}$

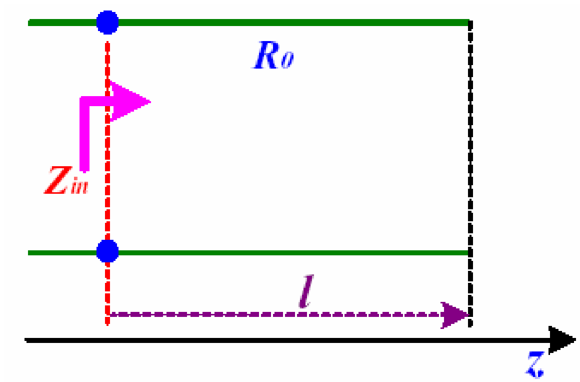
所以

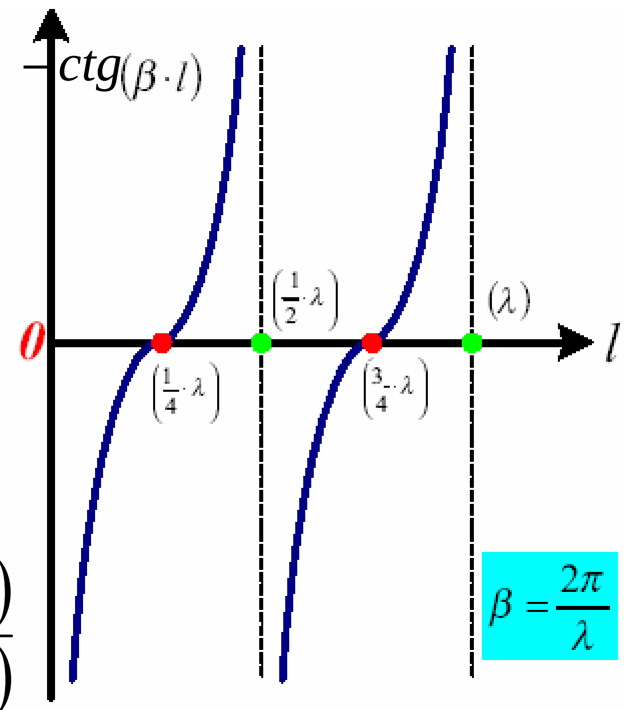
$$\begin{cases} Z_L = 0 & Z_{in}(l) = jZ_0 tg(\beta l) \\ Z_L = \infty & Z_{in}(l) = -jZ_0 ctg(\beta l) \end{cases}$$

$$Z_{in}(l) = Z_0 \frac{Z_L + jZ_0 tg(\beta l)}{Z_0 + jZ_L tg(\beta l)}$$

无损耗传输线的输入阻抗的研究－1

（1）终端开路情况——纯电抗





$$\beta = \frac{2\pi}{\lambda}$$

以下用 R_0 表示 R_Z

$$Z_{in}(l) = R_Z \frac{Z_L + jR_Z tg(\beta l)}{R_Z + jZ_L tg(\beta l)} \rightarrow Z_{in}(l) = R_0 \frac{Z_L + jR_0 tg(\beta l)}{R_0 + jZ_L tg(\beta l)}$$

$$Z_L = \infty \qquad Z_{in}(l) = -jR_0 ctg(\beta l) = -jZ_O$$

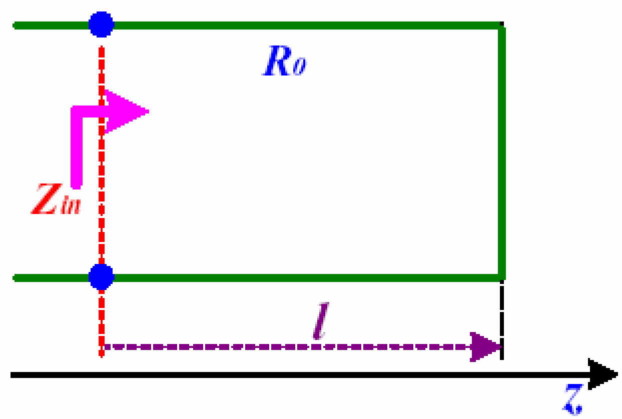
（a） $0 < l < \lambda/4$ 时呈容性

（b） $\lambda/4 < l < \lambda/2$ 时呈感性

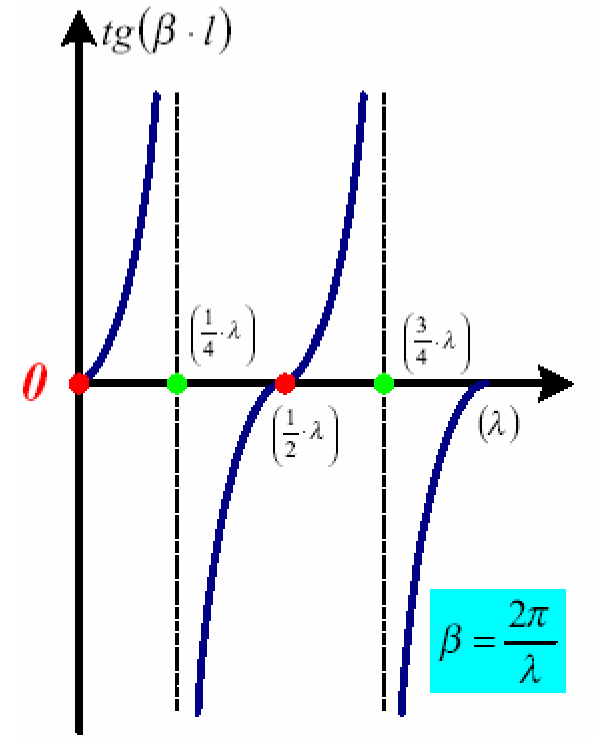
（c）周期性变化

复习 无损耗传输线的输入阻抗的研究－2

（2）终端短路情况——纯电抗



$$Z_{in}(l)=R_0\frac{Z_L+jR_0tg(\beta l)}{R_0+jZ_Ltg(\beta l)}$$



$Z_L=0 \qquad Z_{in}(l)=jR_0tg(\beta l)=jZs$

（a） $0<l<\lambda/4$ 时呈感性

（b） $\lambda/4<l<\lambda/2$ 时呈容性

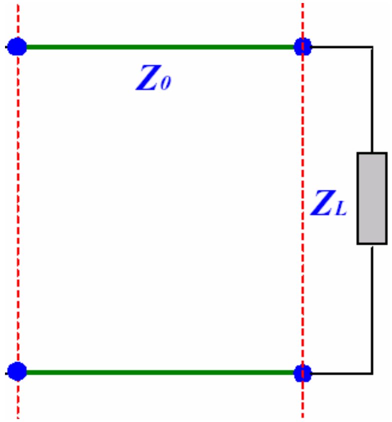
（c）周期性变化

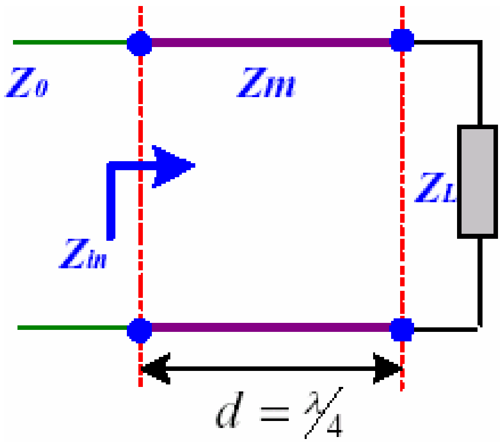
周期是多少？ $\lambda/2$

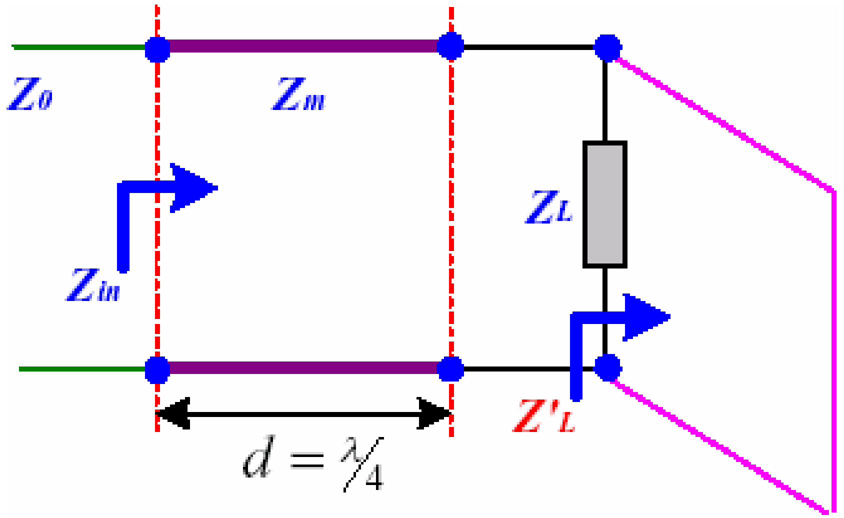
负载是复数情况下时

$Z_0 = R_0$

- 如果 $Z_L = R_L + jX_L$



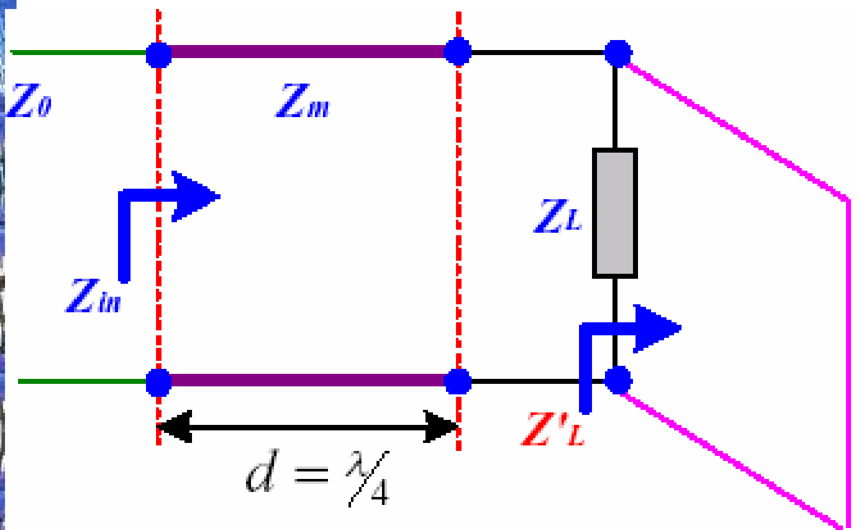




复数变实数负载实数化

负载是复数情况下时

- 如果$Z_L = R_L + jX_L$　　$\frac{1}{Z_L} = G_L + jY_L$



并联短路线 l　导纳为$-jY_L$

如图并联后导纳 $(Z'_L)^{-1} = Y'_L$

$Y'_L = G_L + jY_L + (-jY_L) = G_L$

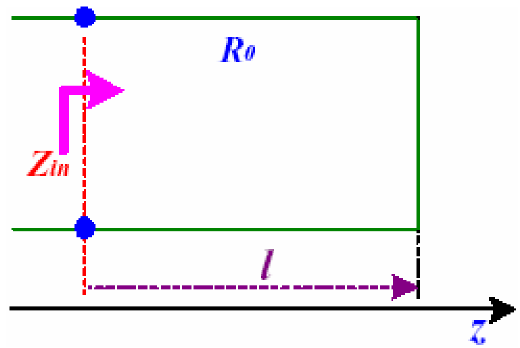
并联短路线l=?

利用Smith圆图：$\Rightarrow$ l=?

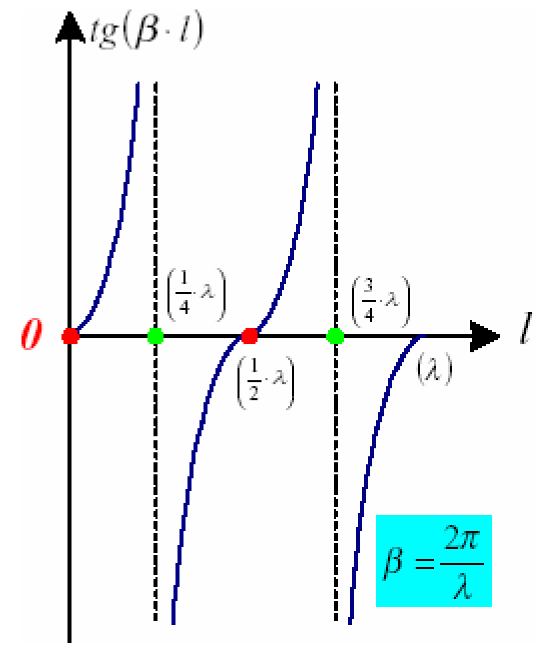
$Y'_L = \frac{1}{R'}$　　$\therefore Z_m = \sqrt{Z_0 \cdot R'}$

短路线特性－复习

- 终端短路情况— — 纯电抗



$$Z_{in}(l) = R_0 \frac{Z_L + jR_0 tg(\beta l)}{R_0 + jZ_L tg(\beta l)}$$



$Z_L = 0 \qquad Z_{in}(l) = jR_0 tg(\beta l) = jZs$

（a） $0 < l < \lambda/4$ 时呈感性

（b） $\lambda/4 < l < \lambda/2$ 时呈容性

（c）感性、容性周期性变化

周期是 $\lambda/2$

并联短路线实现匹配

思路:

(1)前文的联想：$y_l \rightarrow y_{1in}=1+jb$

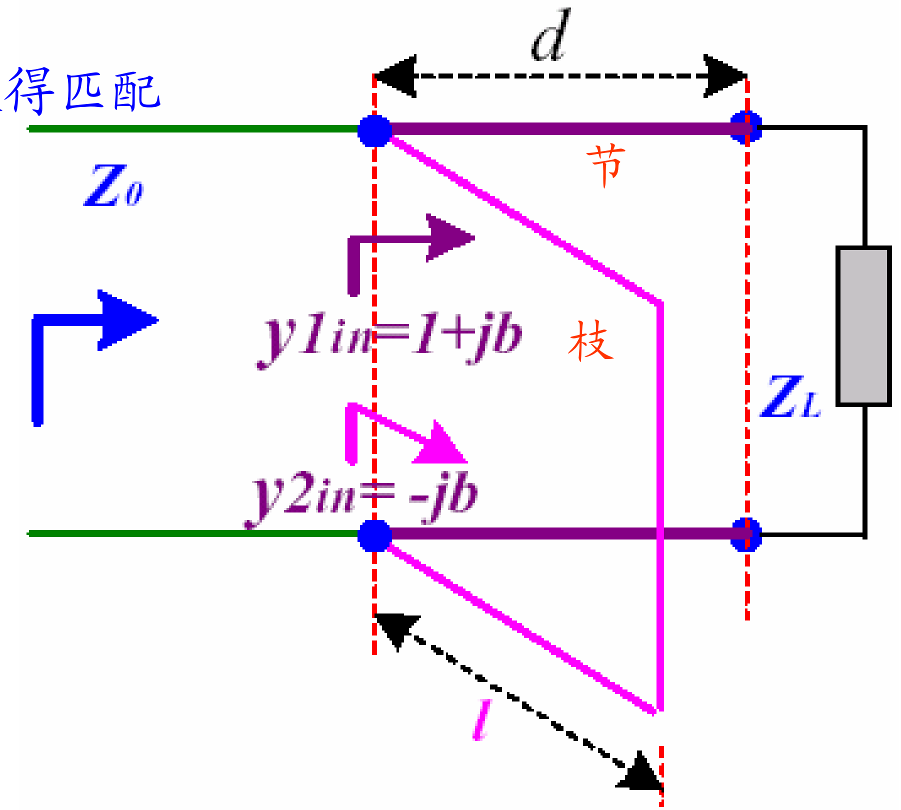
(2)匹配：$y_{2in}=-jb$

(3)$y_{in}=1$，于是获得匹配

问题:

(1)*d*=? $\rightarrow y_{1in}$

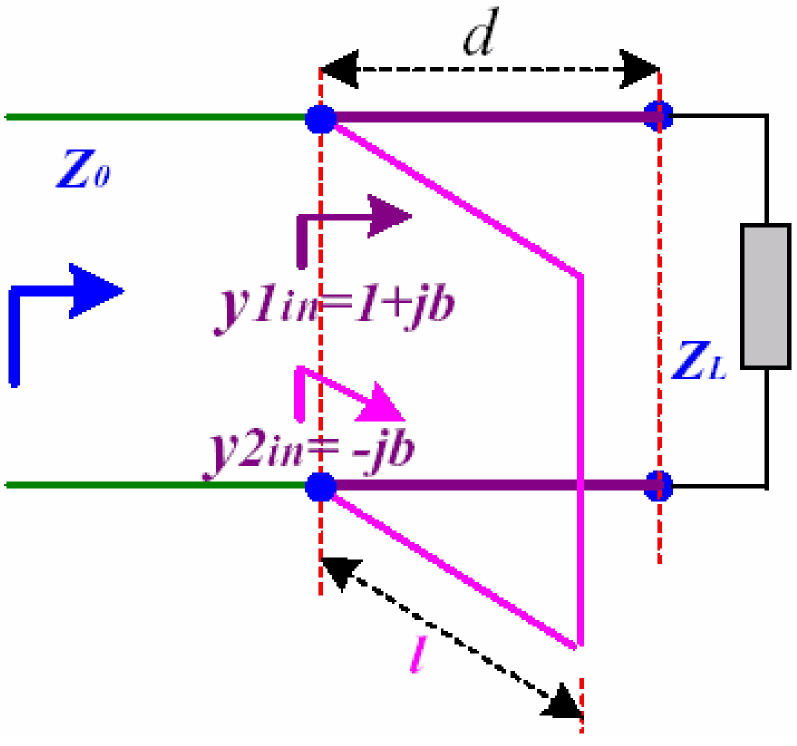
(2)*l*=? $\rightarrow y_{2in}$

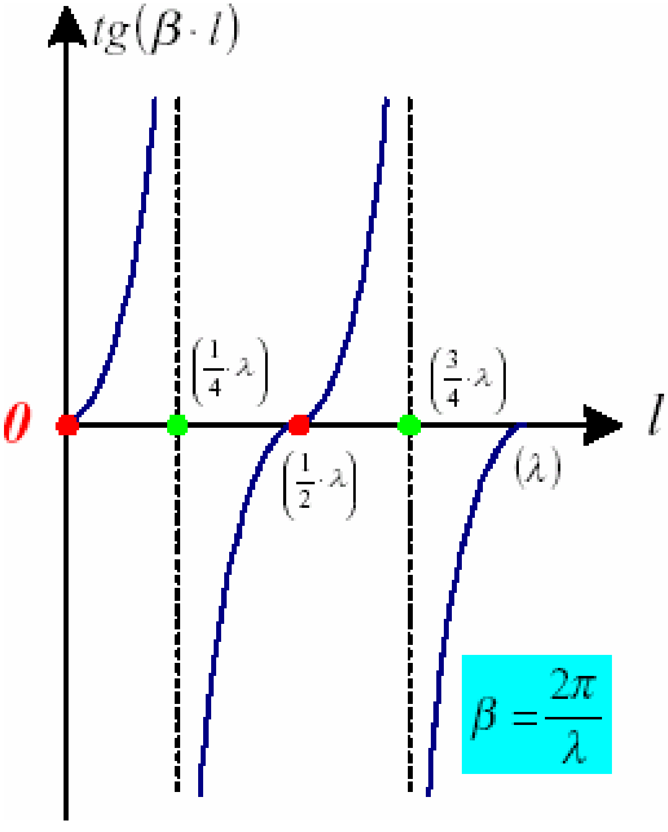


并联短路线实现匹配

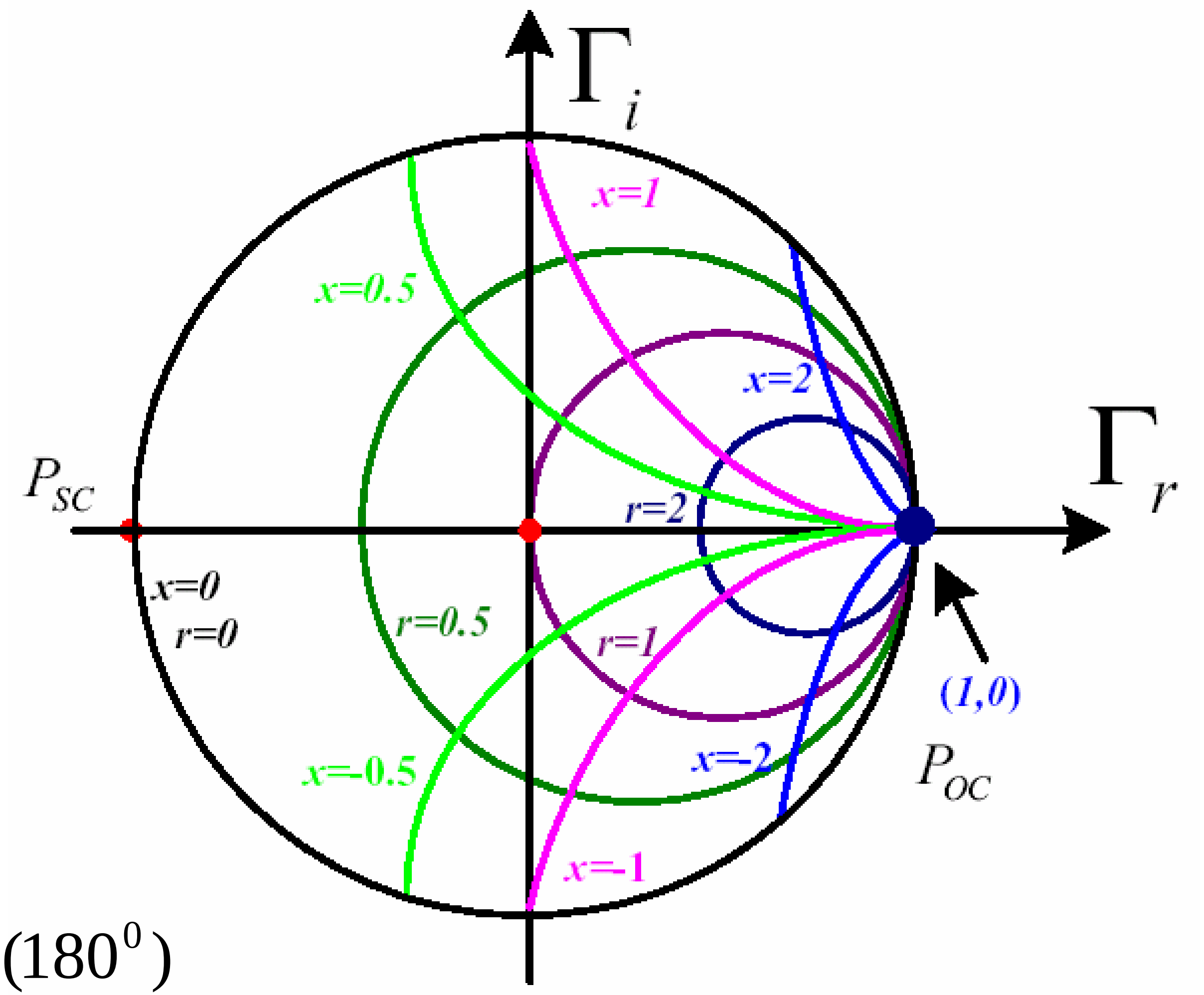
- 用并联短路线实现匹配

$$Z_{in}(l)=jZ_0tg(\beta l)=jZs$$



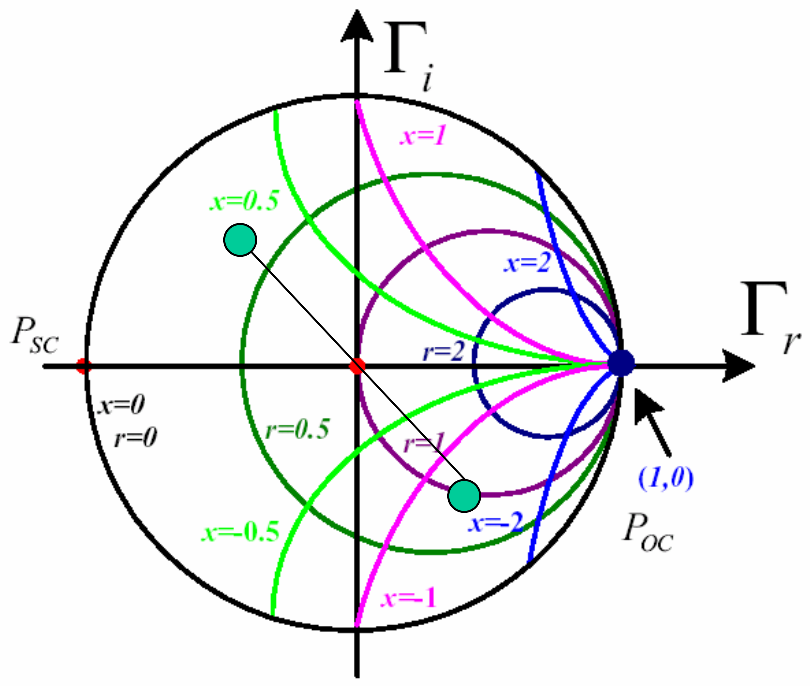


复习史密斯圆图(Smith Chart)



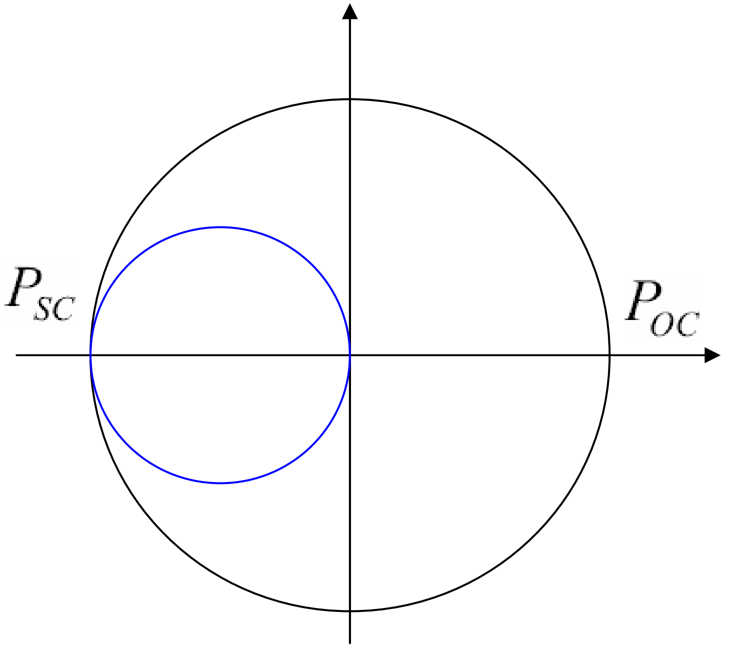
$Z \Leftrightarrow Y(180^0)$

复习史密斯圆图(Smith Chart)



阻抗圆图

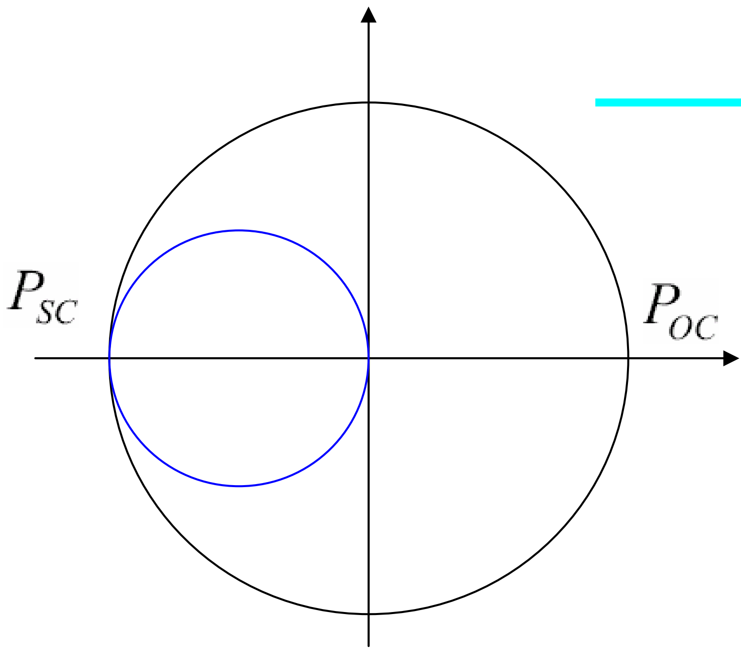
$Z \Leftrightarrow Y(180^0)$

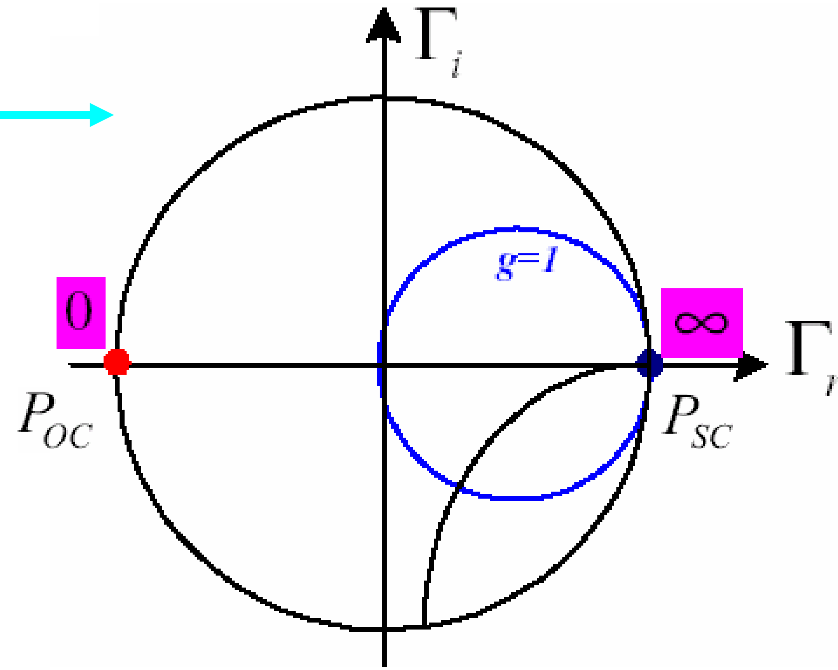


导纳圆图

复习史密斯圆图(Smith Chart)

导纳圆图： 再以原点为中心转180度，变为：

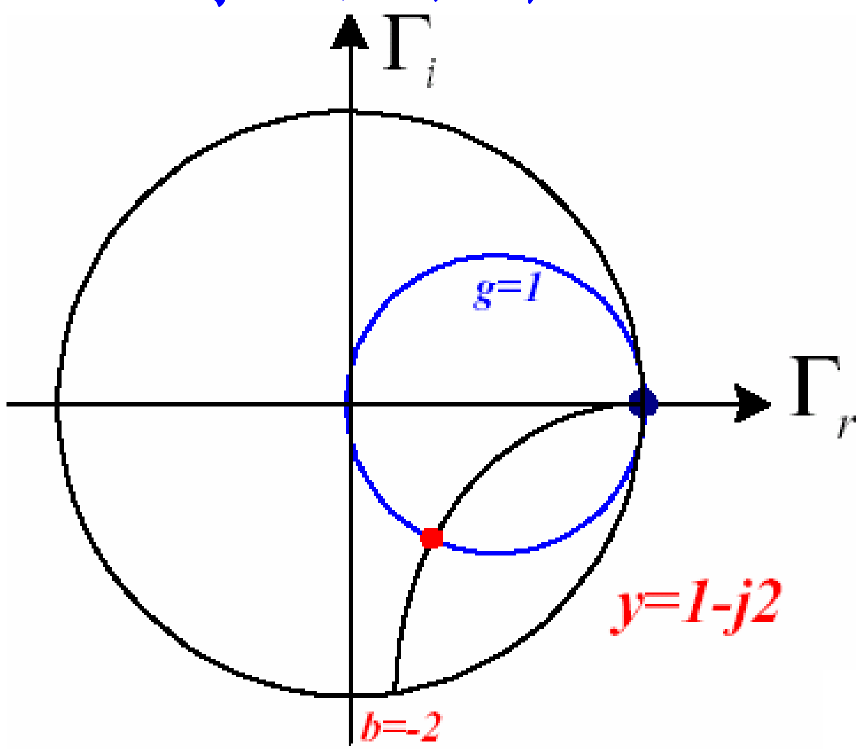


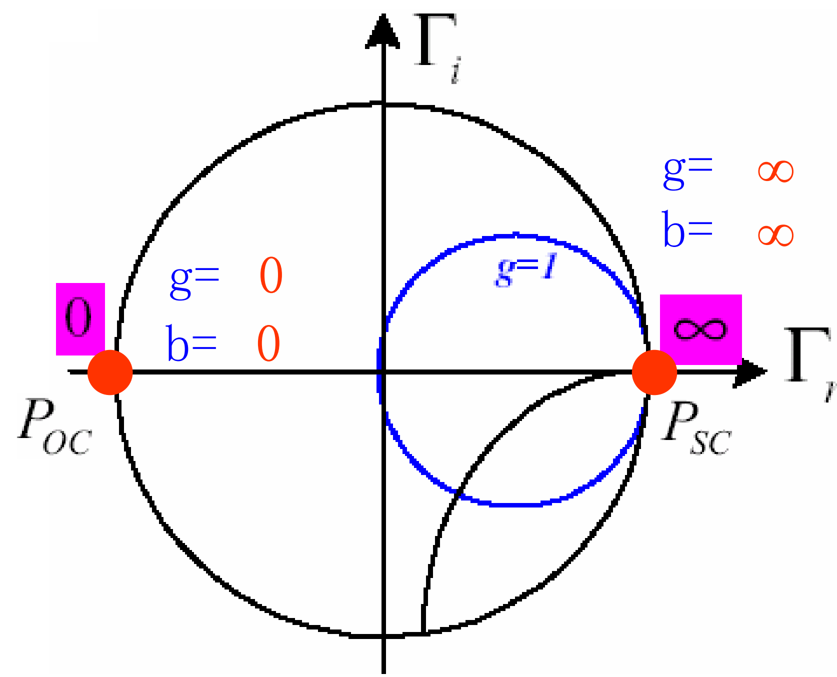


(1) 短路点
(2) 开路点

复习史密斯圆图(Smith Chart)

导纳圆图





复习史密斯圆图(Smith Chart)

导纳 $Y_L = \dfrac{1}{Z_L} = \dfrac{1}{Z_0}\dfrac{1-\Gamma}{1+\Gamma} = Y_0\dfrac{1-\Gamma}{1+\Gamma} = Y_0 y_L$

其中：$y_L = \dfrac{1-\Gamma}{1+\Gamma} = \underbrace{g}_{\text{电导}} + j\underbrace{b}_{\text{电纳}}$ 为归一化导纳

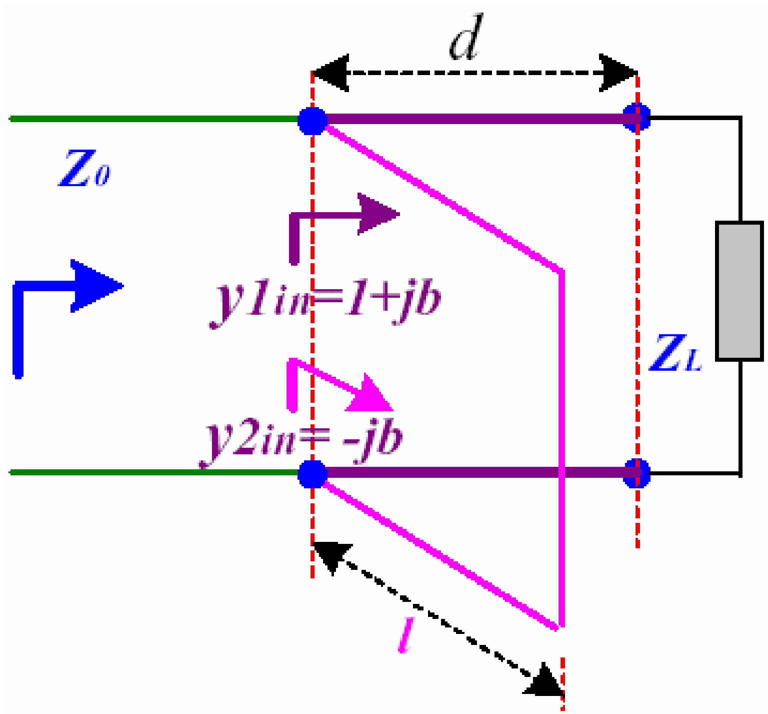
反射系数：$\Gamma(L) = |\Gamma(L)| e^{j\theta_L} = \Gamma_r + j\Gamma_i$

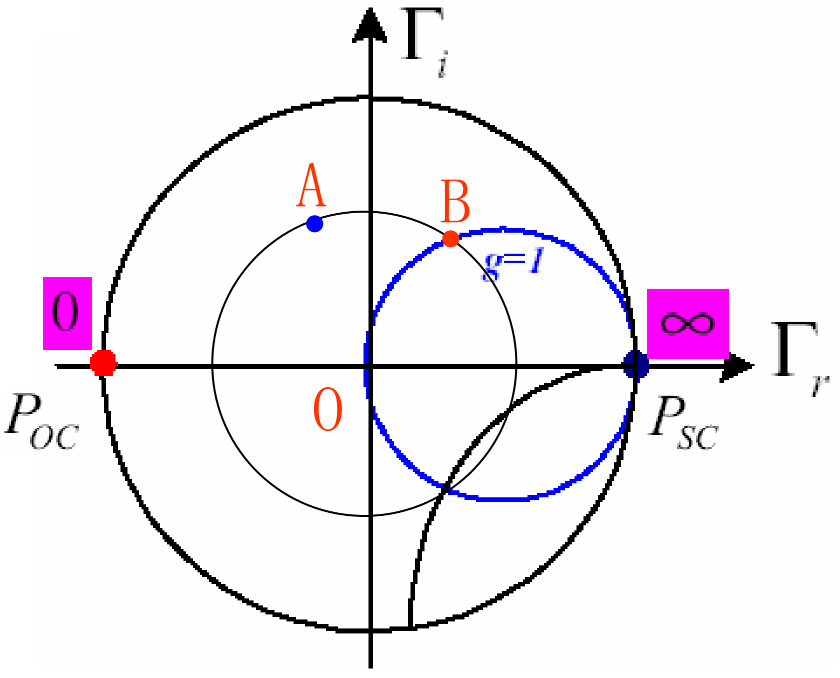
导纳圆图

利用导纳圆图：　串联节：

负载归一化导纳A点顺时针 转到g=1圆上(交点B: 1 + jb) ➡ d 的功能

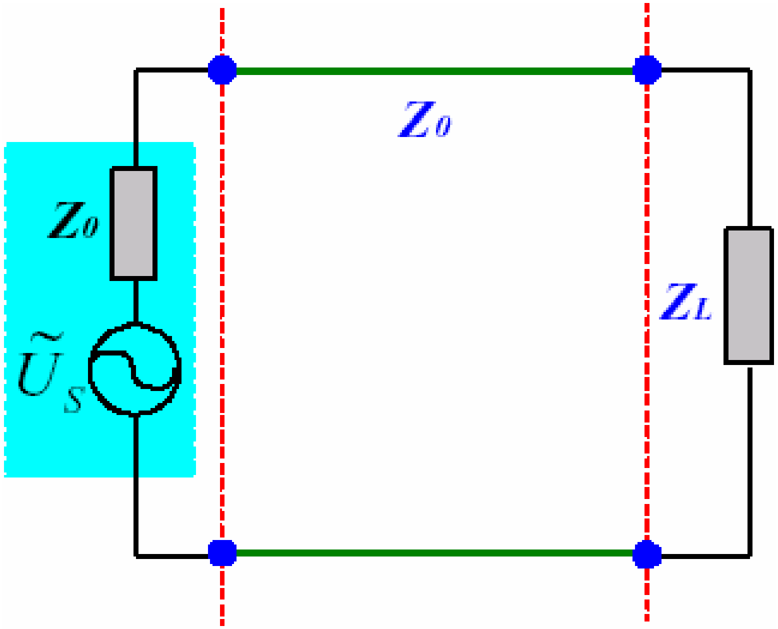
并联短路线 – jb ➡ l 的功能 ➡ 在g=1的圆上转到0点 ➡ 反射系数= 0





例5.1：

- 空气介质中100ohm传输线，接负载75+j40ohm，匹配源f=1GHz，求：
  - 单枝节阻抗匹配



P110: 5. 2

$Z_0 = 100ohm$ $Z_L = 75 + j40ohm$

$$Z_{in}(l) = R_0 \cdot \frac{Z_L + jR_0 tg(\beta \cdot l)}{R_0 + jZ_L tg(\beta \cdot l)} \quad (\Omega)$$

$$Z_{in} = jR_0 tg(\beta \cdot l) = jZ_{SC}$$

解：方法一：公式计算（作业）

(1) $Z_{1in}=$

(2) $Y_{1in}=1/Z_{1in}=\underline{G_0}+jB$

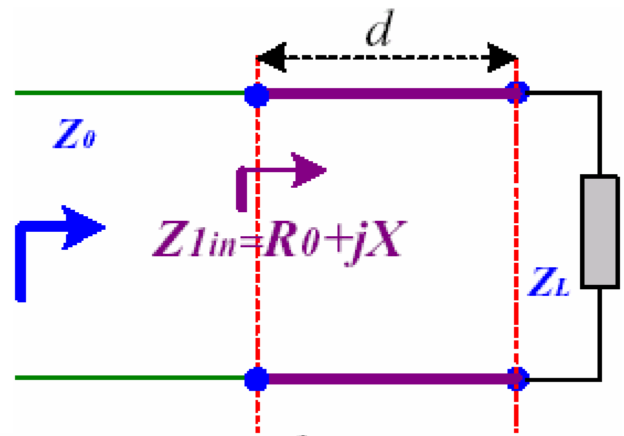
(3) 推出 $d=$

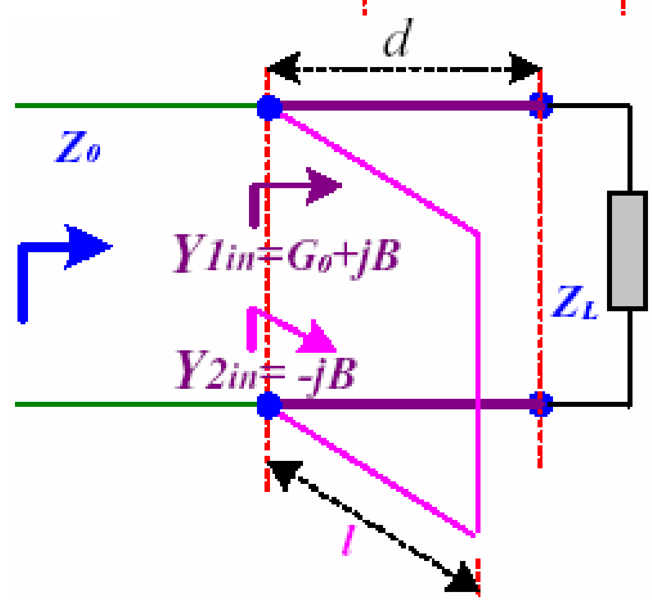
(4) $Y_{in}=Y_{1in}+\underline{Y_{2in}}=1/Z_0$

(5) 短路线： $Z_{2in}=$

(6) $Y_{2in}=1/Z_{2in}=-jB$

(7) 推出 $l=$





方法二： Smith 导纳圆图

$Z_0 = 100ohm \quad Z_L = 75 + j40ohm$

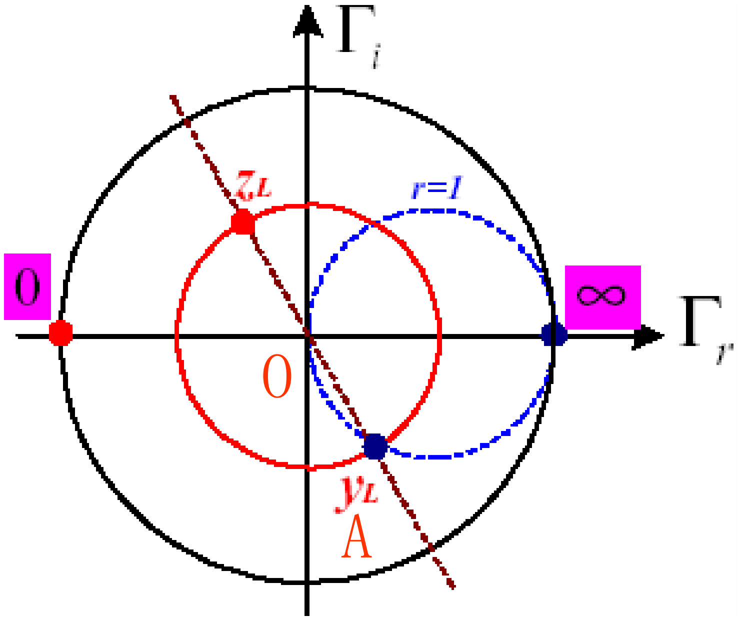
归一化阻抗： $z_L = \dfrac{75 + j40}{100} = 0.75 + j0.4$

波长： $\lambda = c / f = 30cm$

在阻抗圆图上找到 z_L

转180^0得到归一化导纳

$$y_L = 1.04 - j0.55$$



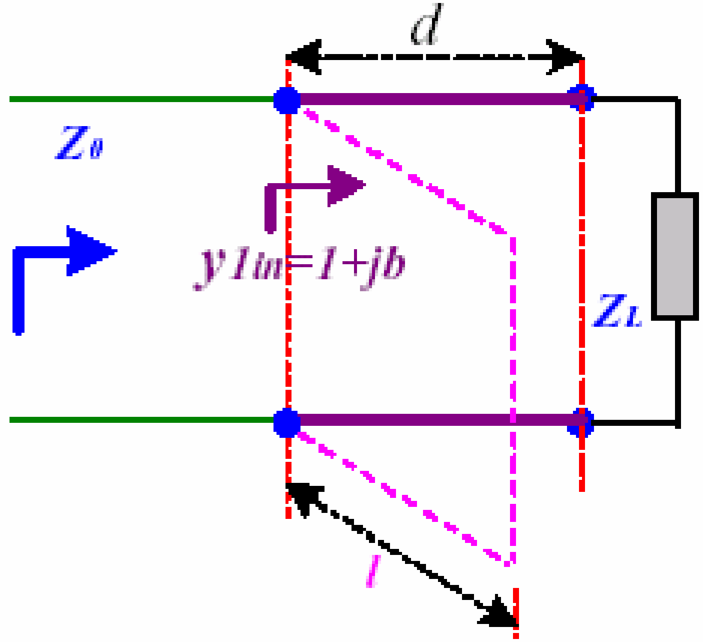
阻抗图

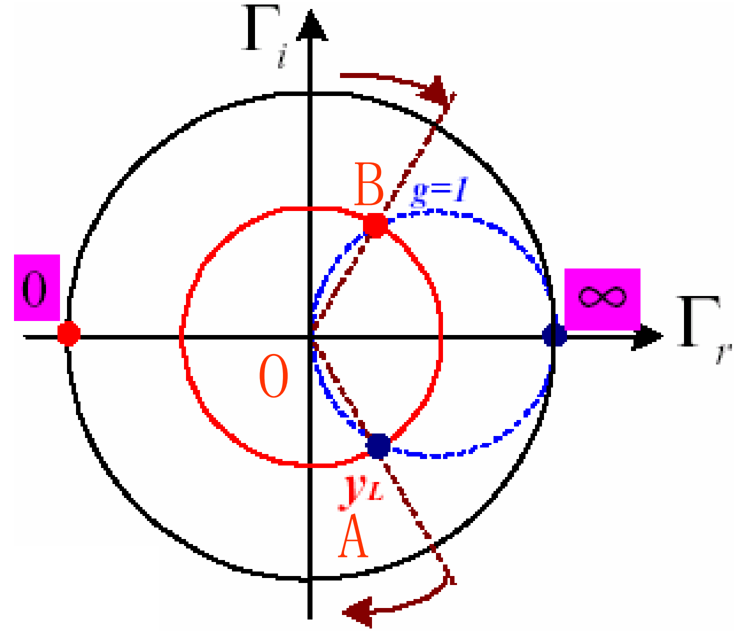
方法二：Smith导纳圆图

由y_L向源方向（顺时针）转 d/λ 到g=1的圆上，

交点读数为 $y_L = 1 + j0.55$　d的作用 是把负载的

所以 $d/\lambda = 0.3$　　归一化导纳A点转到g= 1的圆上B点





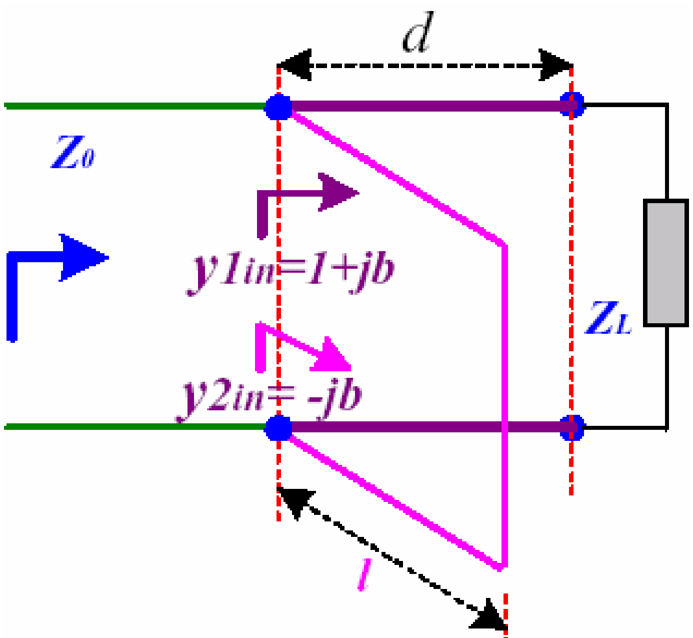
导纳图

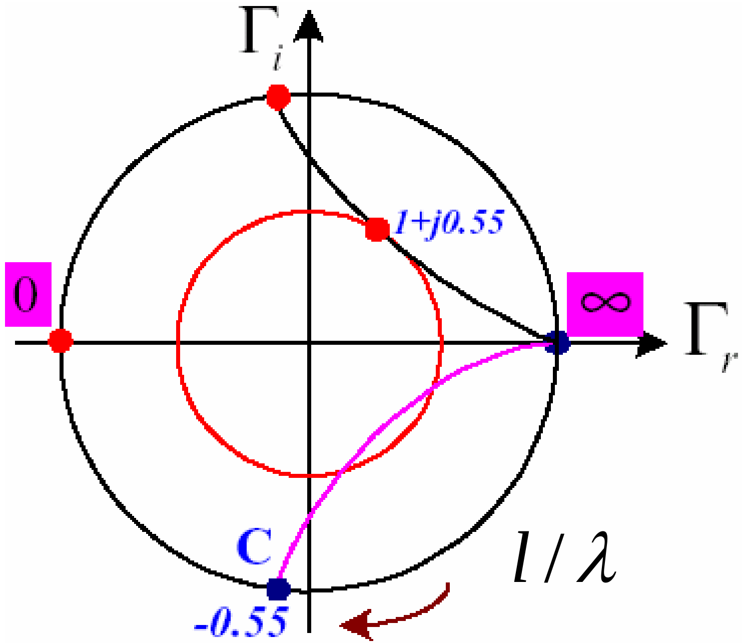
方法二：Smith导纳圆图

并联短路线归一化电纳为－j0.55 （对应导纳图C点）

由短路电纳无限大点向源方向移动l/λ达到C

所以 $l/\lambda = 0.17$



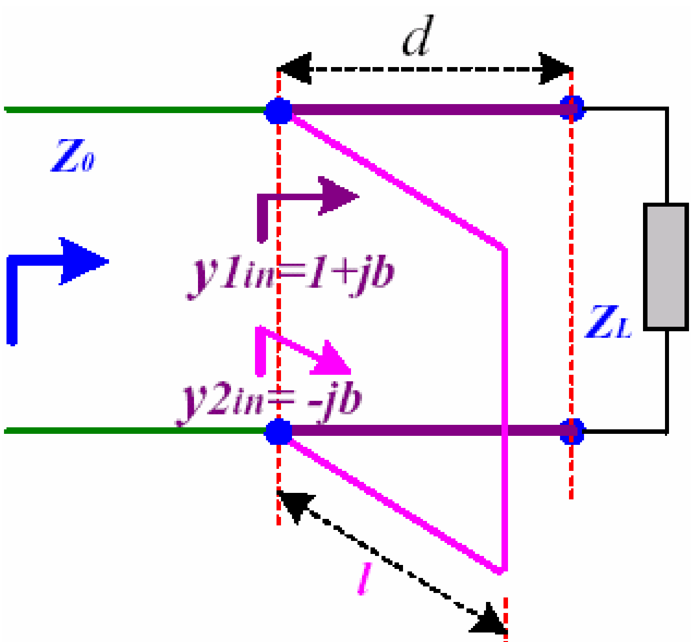


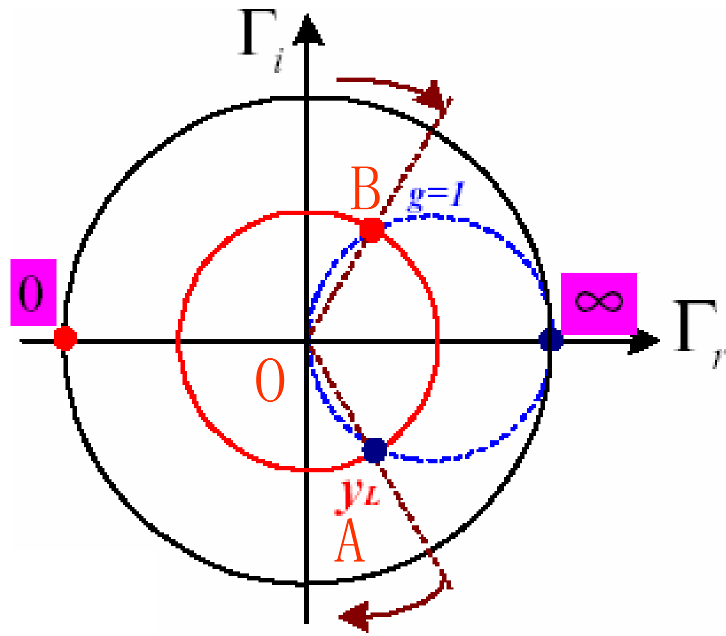
导纳图

方法二：Smith导纳圆图

并联短路线

*l*的作用是把g=1的圆上B点转到0点 → 反射系数=0实现匹配





导纳图

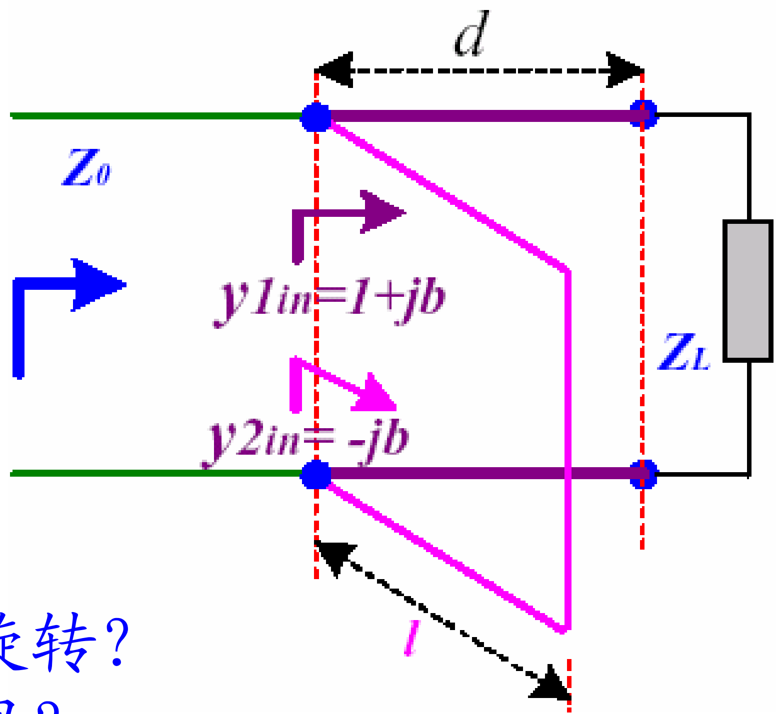
方法二：Smith导纳圆图

由 $d/\lambda = 0.3$ $l/\lambda = 0.17$ $\lambda = c/f = 30cm$

所以

$d = 0.3 \times 30 = 9cm$

$l = 0.17 \times 30 = 5.1cm$



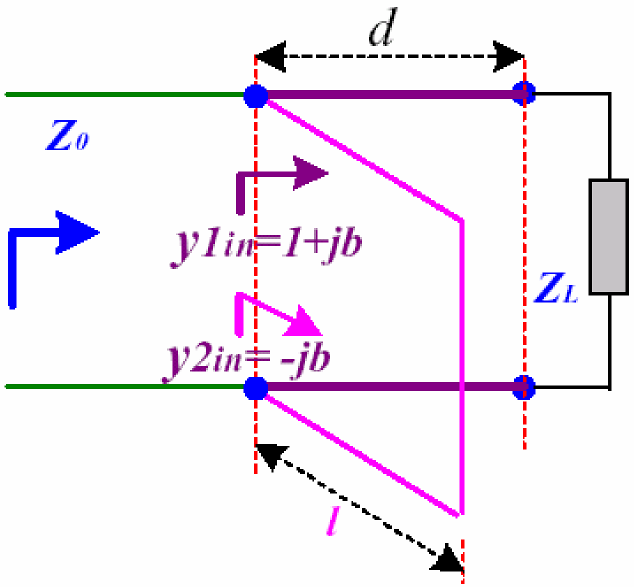
思考

(1) 为什么是顺时针旋转?

(2) 旋转的起点是哪里?

例5.2：

- 空气介质中50ohm无损耗传输线，$V_{MAX}=2.5V$ $V_{MIN}=1V$ 接未知负载,连续电压最小值点距离5cm，从负载看第一个电压最小值距负载为1.25cm，设计：
  - 阻抗匹配单枝节短路线



解: $V_{MIN}=1V$ $V_{MAX}=2.5V$

连续电压最小值点距离5cm， → $\lambda/2=5cm$ $\lambda=10cm$

驻波比 $SWR=V_{MAX}/V_{MIN}=2.5$

第一个电压最小值距负载归一化距离为

$$d_{\min}/\lambda=1.25/10=0.125$$

回忆 $\Gamma(l)=\Gamma(L)e^{-j2\beta l}=|\Gamma(L)|e^{j(\theta_L-2\beta l)}=|\Gamma(L)|e^{j\theta_\Gamma}=\{|\Gamma(L)|,\theta_\Gamma\}$

l 的 周期 $\frac{2\pi}{2\beta}=\frac{2\pi}{2(2\pi/\lambda)}=\frac{\lambda}{2}$ ⟶ 对应圆图刻度0.5

驻波比SWR

$$SWR=\frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|}=\frac{1+|\Gamma_{r0}+j0|}{1-|\Gamma_{r0}+j0|}=\frac{1+\Gamma_{r0}}{1-\Gamma_{r0}}$$

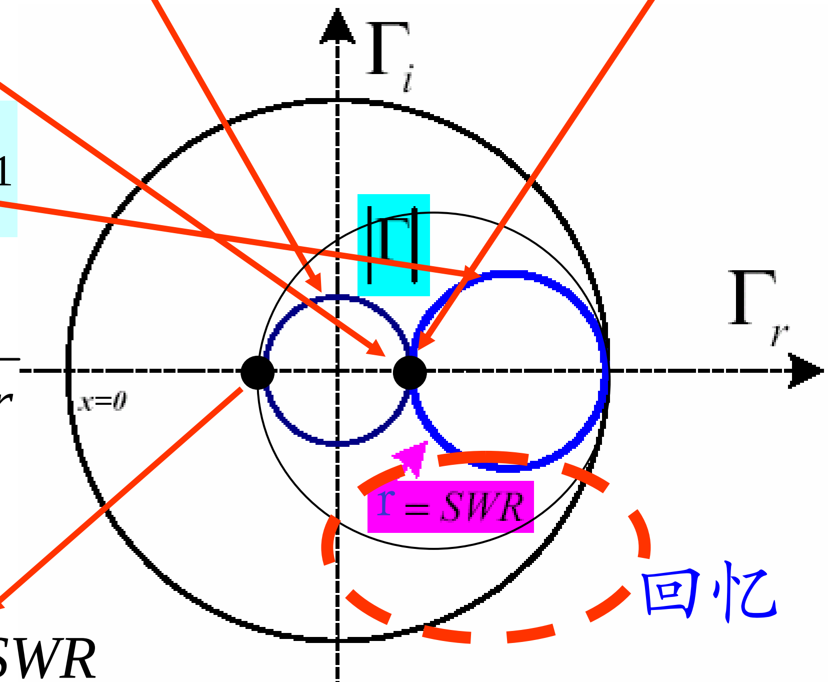
考虑右横轴上点: $(\Gamma_{r0},0)$

r圆与横轴的左交点:

利用圆方程 $\left(\Gamma_r-\frac{r}{1+r}\right)^2+\Gamma_i^2=\left(\frac{1}{1+r}\right)^2$ $|\Gamma|\le 1$

$$\left(\Gamma_{r0}-\frac{r}{1+r}\right)^2+0=\left(\frac{1}{1+r}\right)^2 \qquad \Gamma_{r0}-\frac{r}{1+r}=-\frac{1}{1+r}$$

$$\Gamma_{r0}=\frac{r-1}{r+1} \qquad r=\frac{1+\Gamma_{r0}}{1-\Gamma_{r0}}=SWR$$



证明 $r=1/SWR$

解: $V_{MIN} = 1V$ $V_{MAX} = 2.5V$

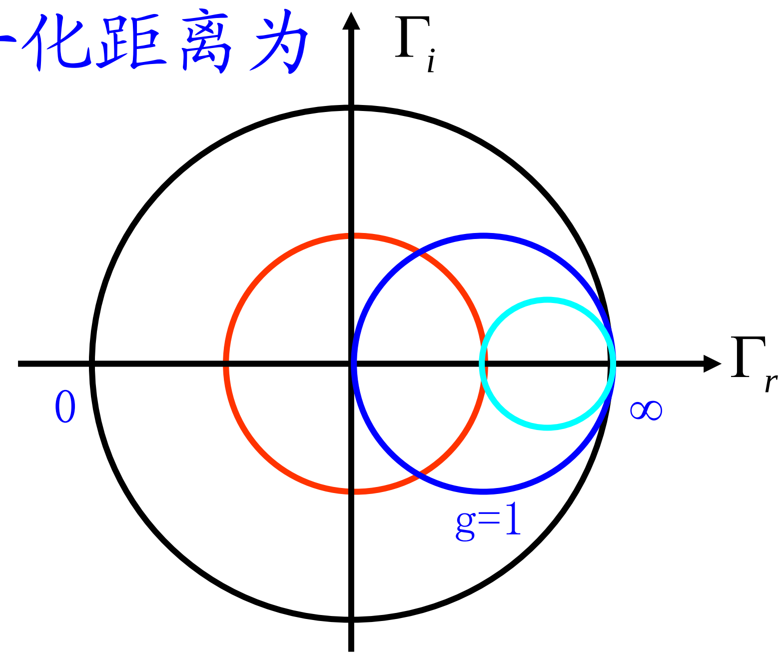
连续电压最小值点距离5cm, → $\lambda/2 = 5cm$ $\lambda = 10cm$

驻波比 $SWR = V_{MAX}/V_{MIN} = 2.5$

第一个电压最小值距负载归一化距离为

$$d_{\min}/\lambda = 1.25/10 = 0.125$$

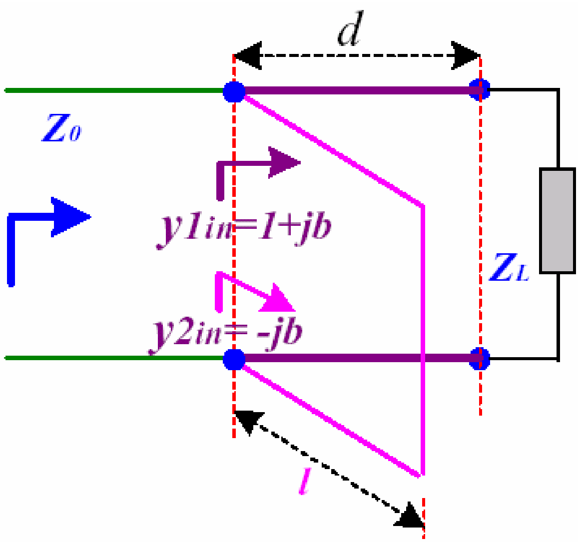
在smith圆图中
画过SWR=2.5点
的等反射系数圆



解：

$$SWR = V_{MAX} / V_{MIN} = 2.5$$

$$d_{\min} / \lambda = 1.25/10 = 0.125$$



在实轴上找到第一个电压最小值点A，

对应归一化阻抗为 1/S=1/2.5=0.4

从A点向负载移动 $d_{\min} / \lambda$ 到负载B点，

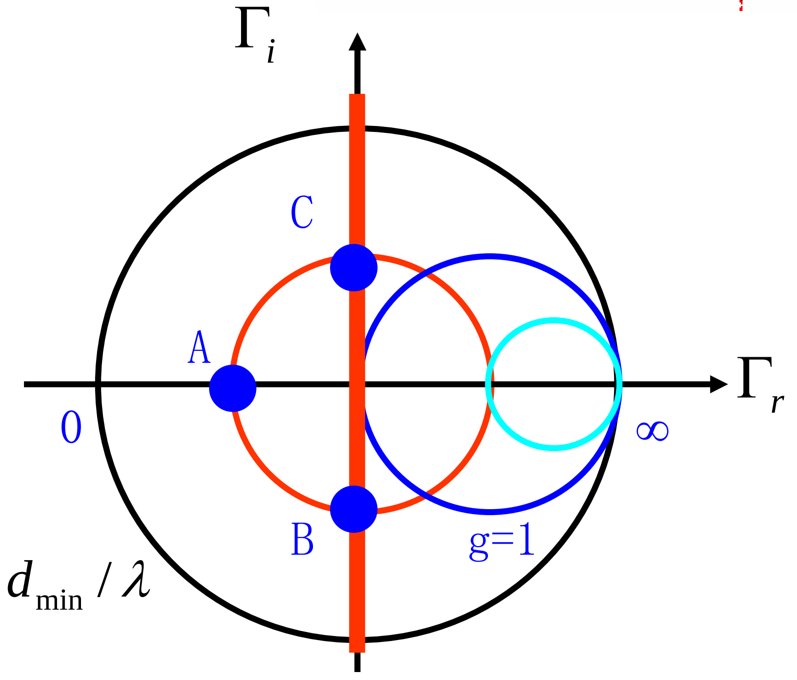
得到归一化负载阻抗

$$z_L = 0.7 - j0.75$$

对称点C点

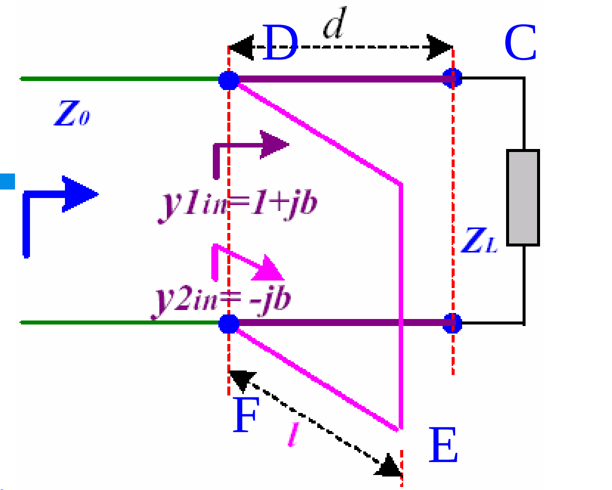
得到归一化负载导纳

$$y_L = 0.7 + j0.73$$



解：从C点向源方向移动d/λ，

与g=1圆交点为D点，



得到归一化导纳 $y = 1 + j0.95$

从负载到枝（由C到D），由图中读出$d/\lambda = 0.035$

要匹配，并联短路线归一化

电纳为－j0.95（对应点F）

由短路电纳无限大点E向

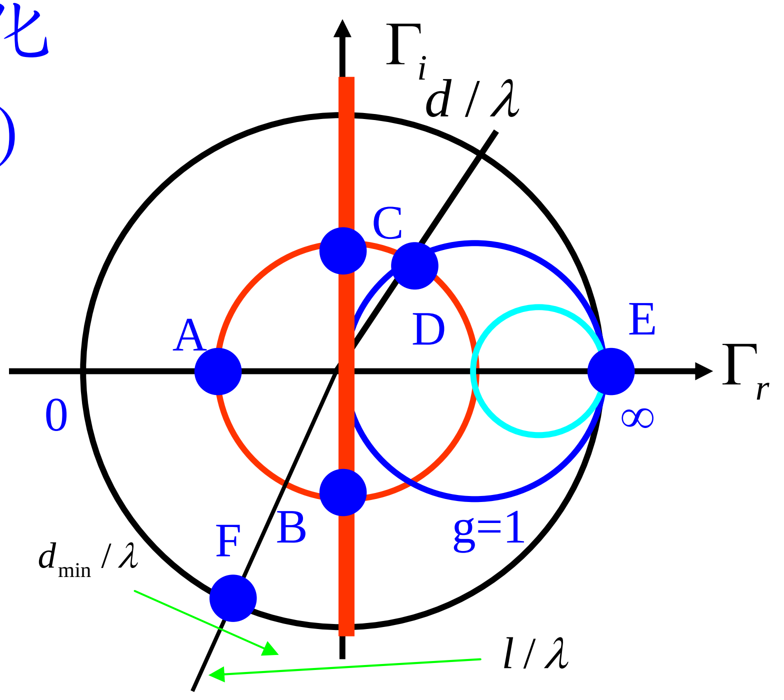
源方向移动l/λ 达到F

$$l/\lambda = 0.13$$

所以

$$l = 0.13\lambda = 1.3cm$$

$$d = 0.035\lambda = 0.35cm$$



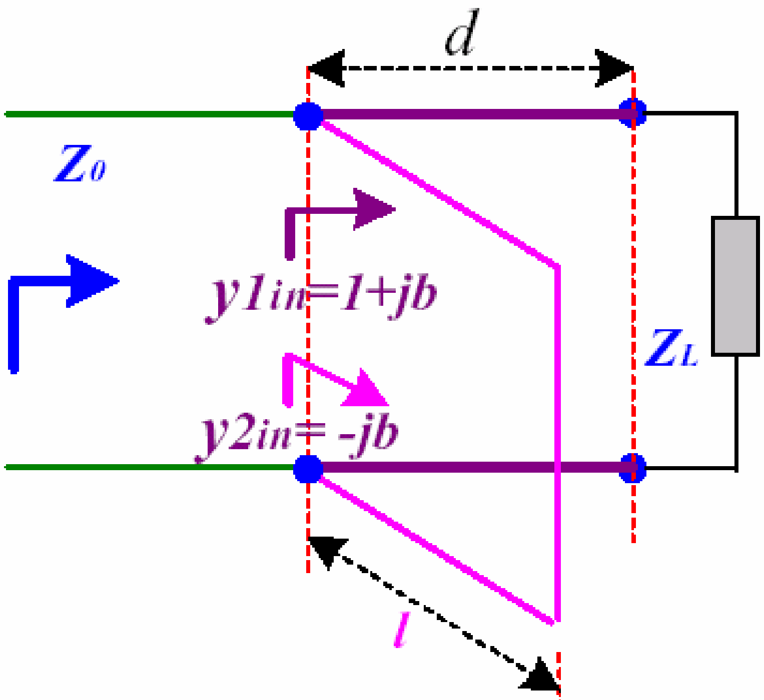
"单枝节"匹配总结

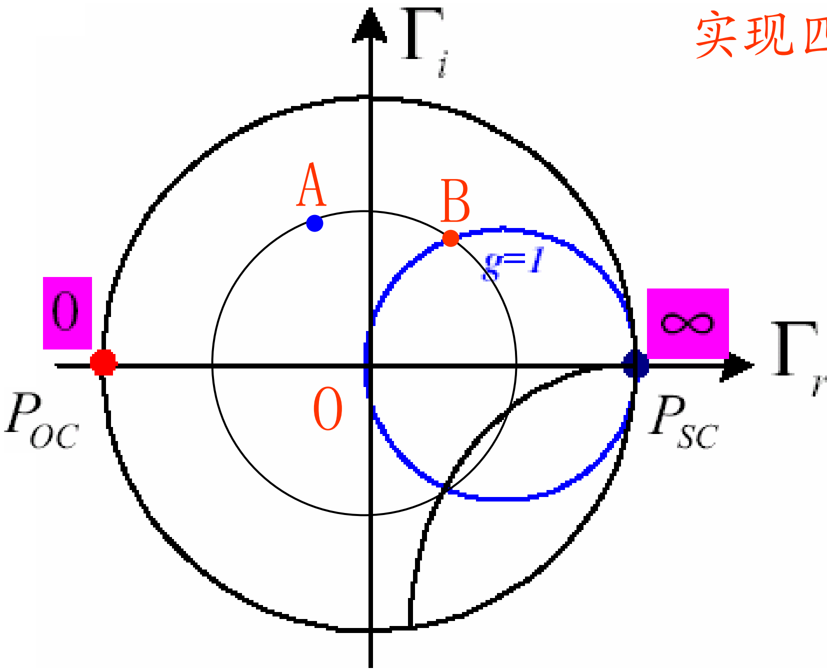
利用导纳圆图：　串联节：

负载归一化导纳A点顺时针 转到g=1圆上(交点B: 1 + jb) → d 的功能

并联短路线 - jb → l 的功能 → 在g=1的圆上转到0点 → 反射系数= 0

实现匹配



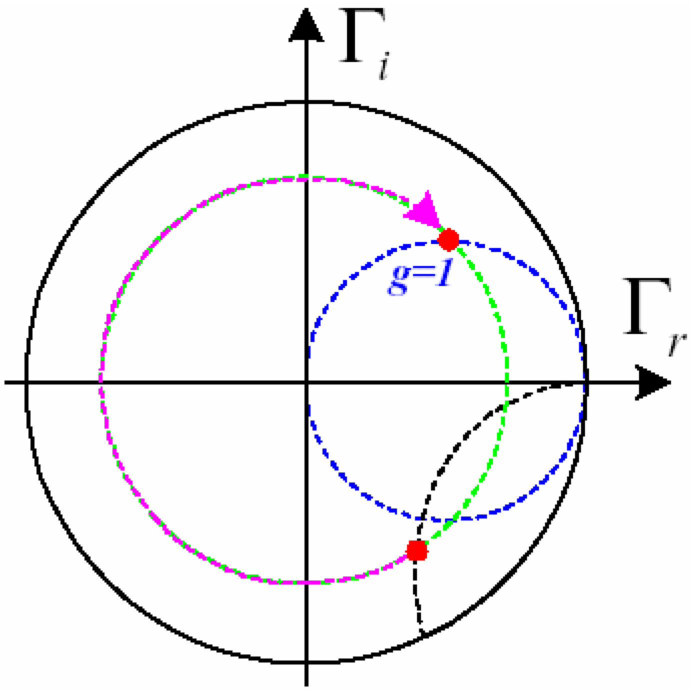


问题："单枝节"线并联匹配的局限

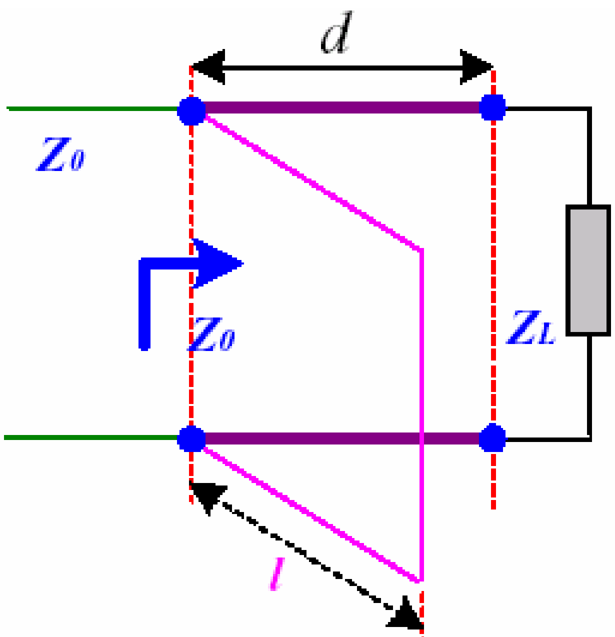
"单枝节"匹配的问题(特点)：

(1) 入手点： 串联(节)解决实部匹配，并联(支)解决虚部匹配

(2) 并联的短路线必须并联在特殊位置



$d = d_{\min} + n\lambda$ d与波长有关

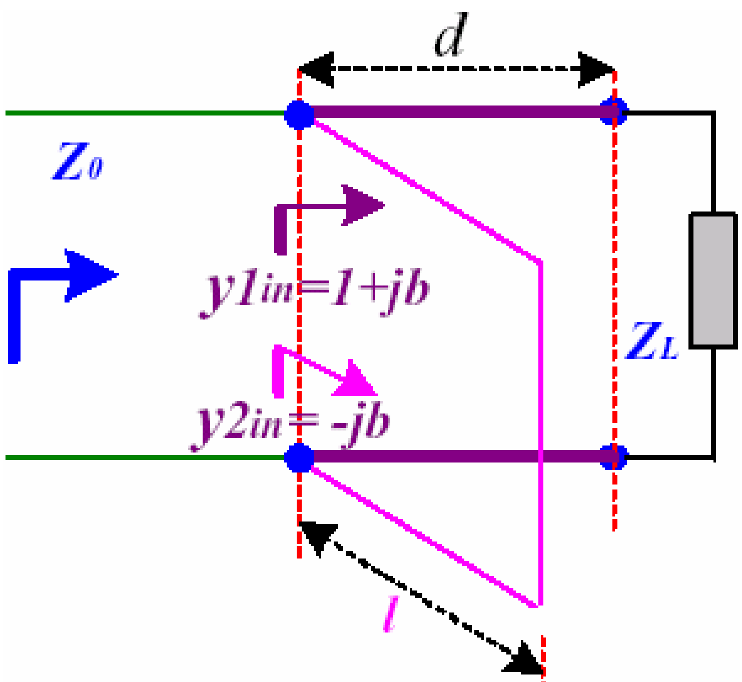


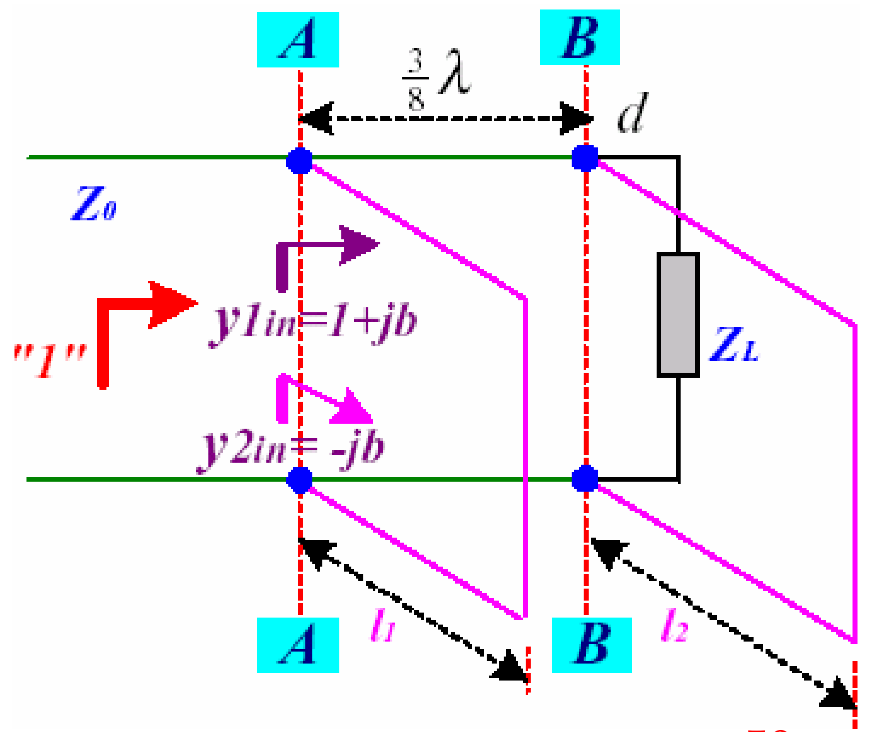
双枝节匹配

"双枝节"匹配的问题（特点）：

(1) 特点：d的大小可以随意确定

(2) 存在匹配"盲区"



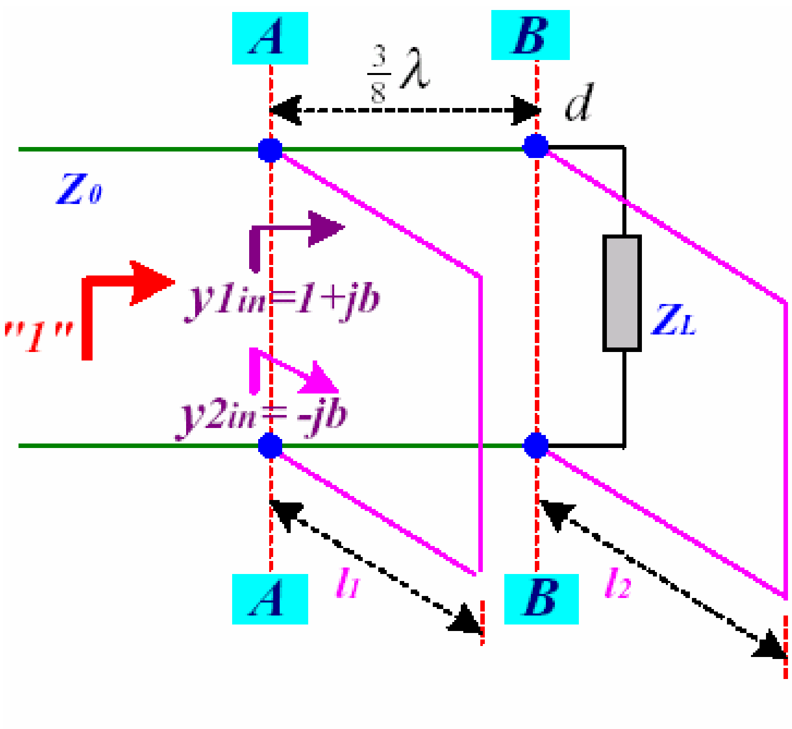


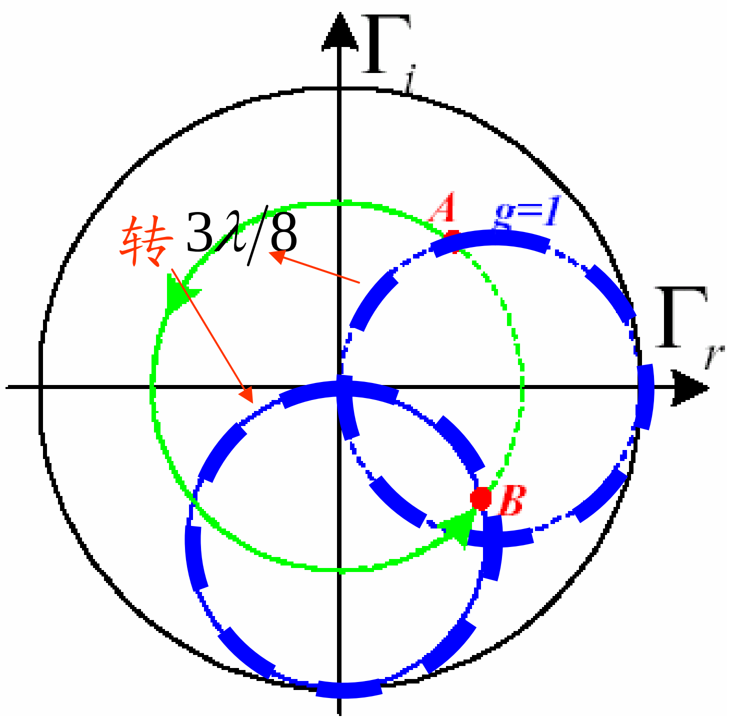
基本原理

(1)A-A处：输入导纳 “1”

(2)A-A处，除去并联“支”， 输入导纳必在 “*1+jb*”圆上

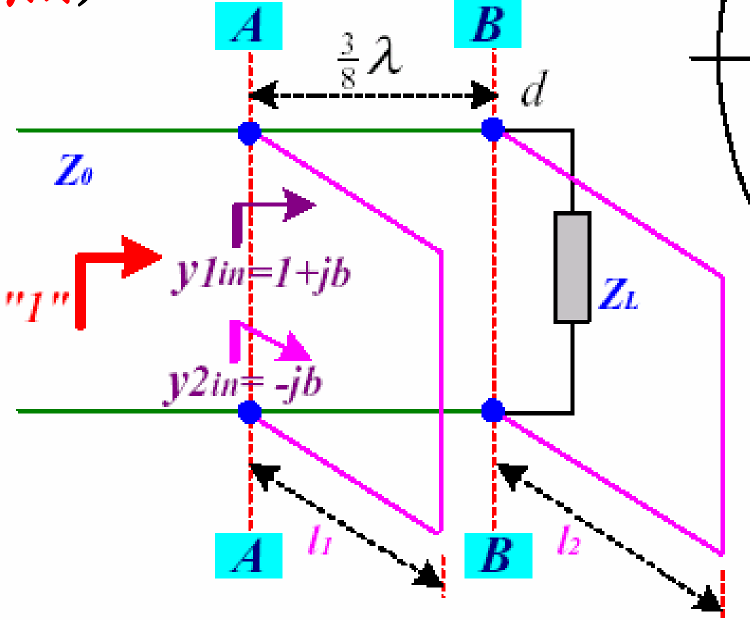
(3) 逆时针转动 3λ/8“节”， 到达B-B处，必须在一特殊圆上

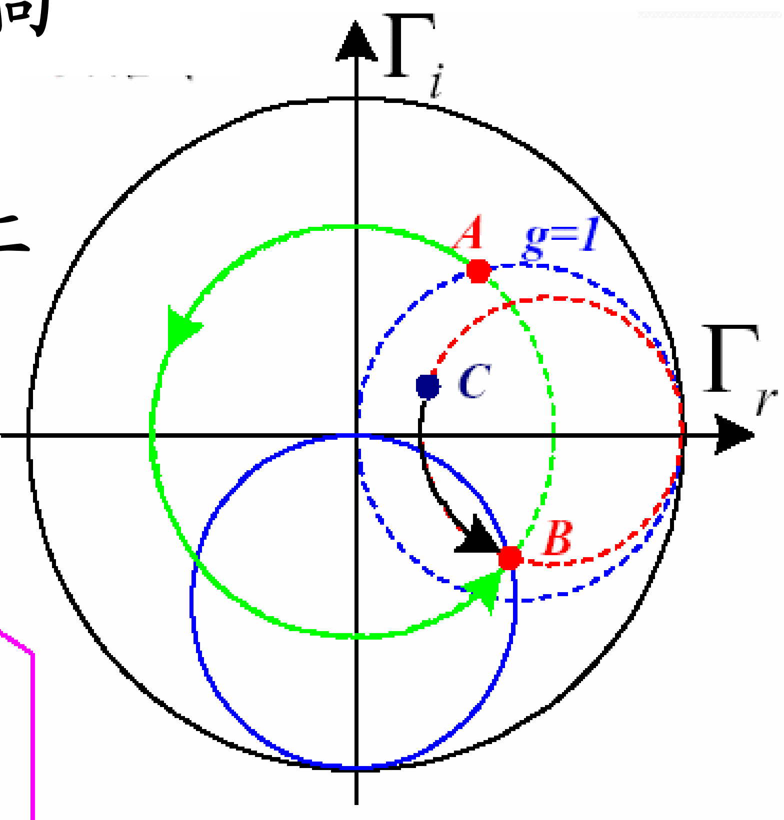




基本原理

(4) B-B并联“支”，从B点向**负载看的输入导纳必须**落在“等电导（实数）圆”上（如：C点）





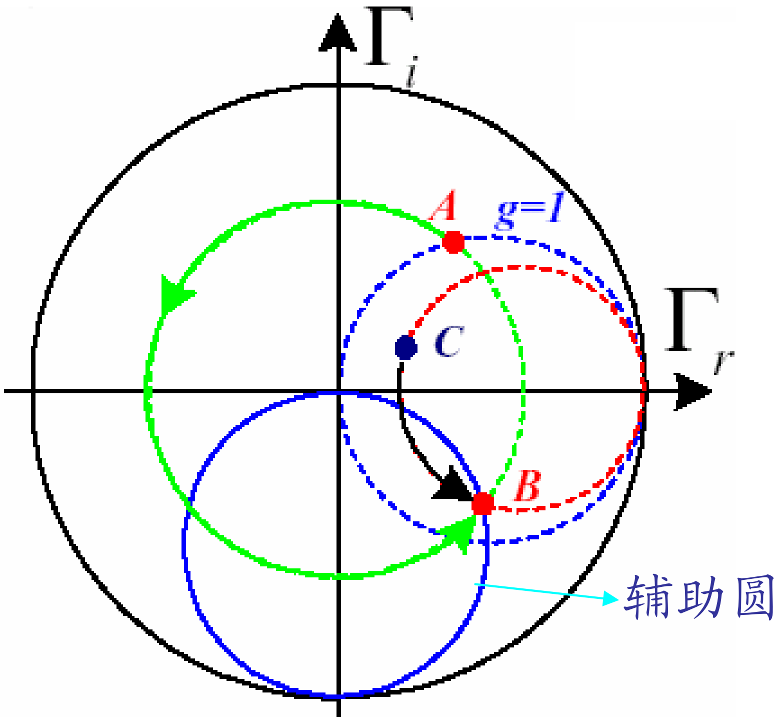
解题思路

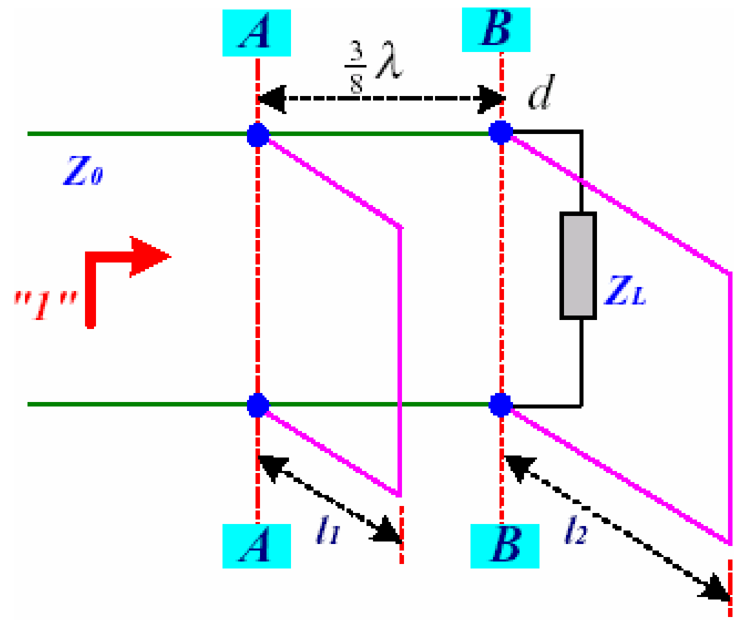
(1)归一化负载阻抗⇒ 复导纳 ⇒从B点向负载看的输入导纳 －C点

(2)并联“支” ⇒ B点(顺等电导圆移动到辅助圆)

(3)B向源移动$3\lambda/8$“节” ⇒ A点 (顺等反射系数圆移动到g=1圆)

(4) $A=1+jb$，并联“支”，沿等导纳圆g=1移动到0点， 得到匹配

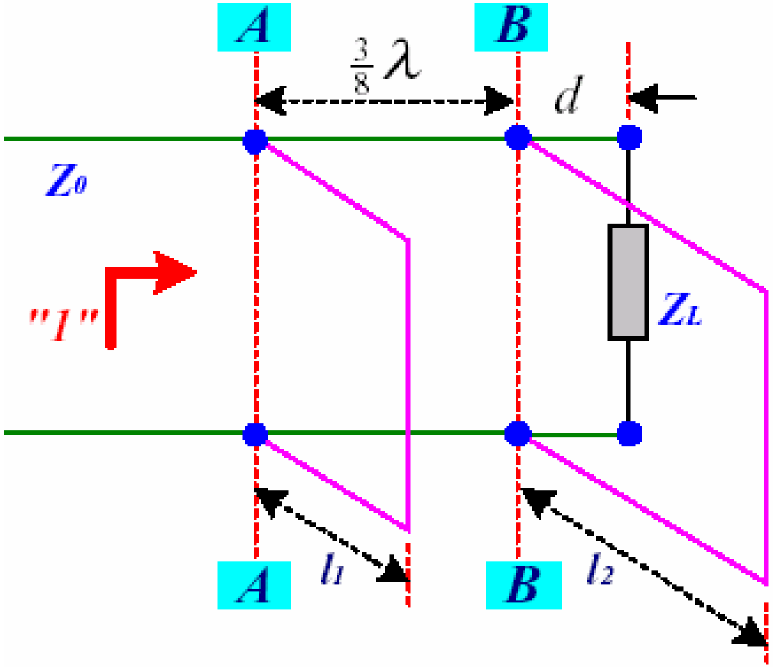




例题

- 75ohm同轴线（填充介质为空气），接负载109.5-j120ohm,设计双枝节匹配系统，所用短路同轴线特性阻抗为75ohm
- 入手:
  - (1)画出原理示意图
  - (2)d=?
  - (3)l_1=?
  - (4)l_2=?

要求 $d \neq 0$



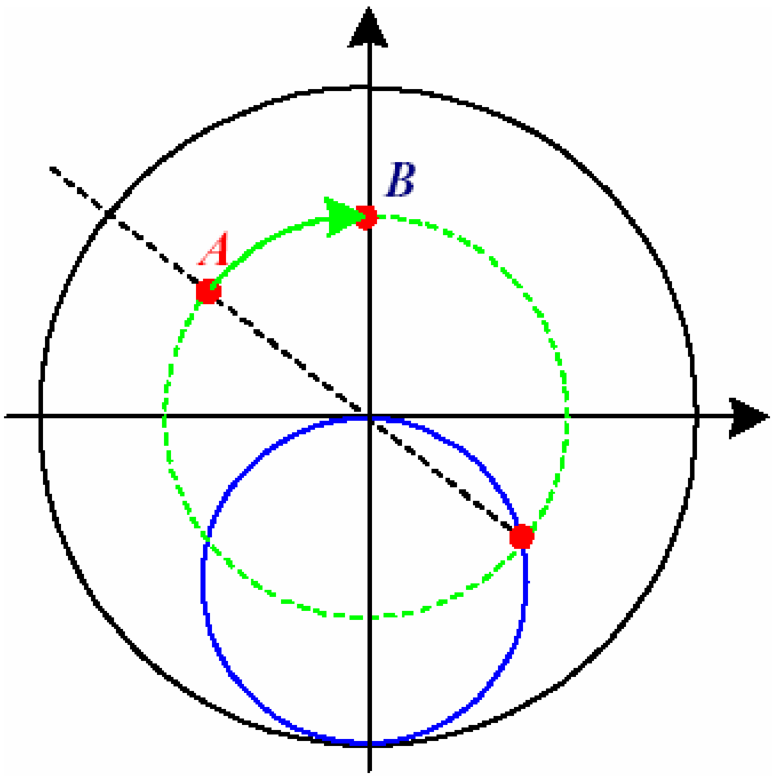
解

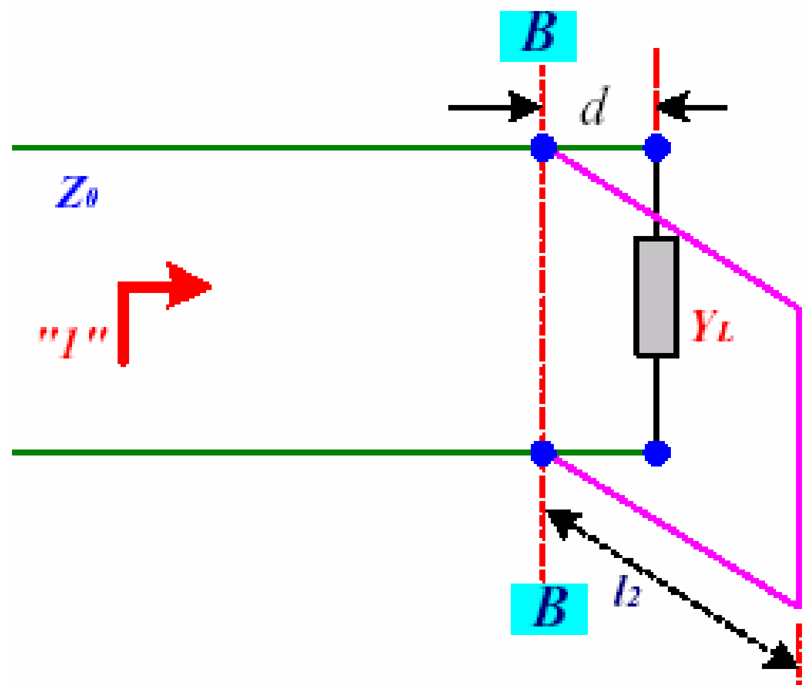
75ohm同轴线接负载109.5-j120ohm

（1）$Z_L \Rightarrow z_L \Rightarrow y_l = 0.31 + j0.35$　　A点

（2）顺时针转任意距离，如 $d/\lambda = 0.067$ ，

得到B点 $y_B = 0.5 + j0.85$





解

$Z_L = 0$　　$Z_{in}(l) = jR_0 tg(\beta l) = jZ_S$

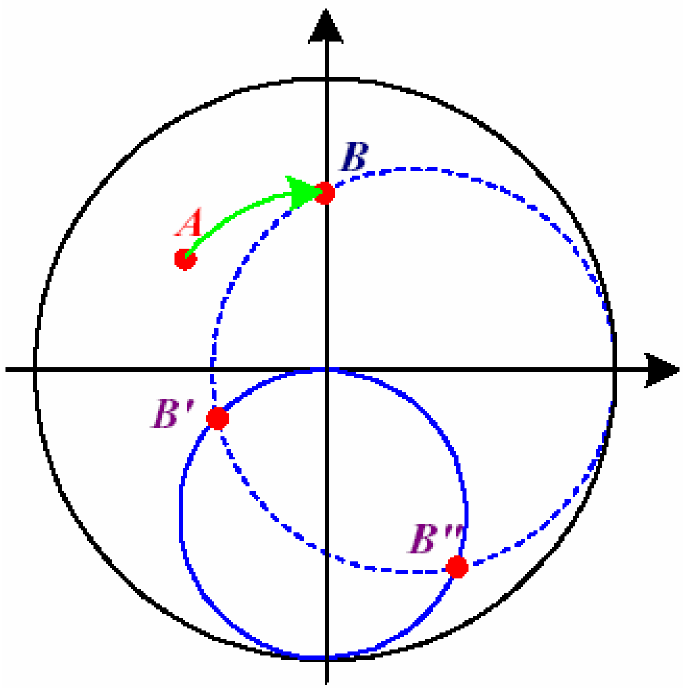
$y_B = 0.5 + j0.85$

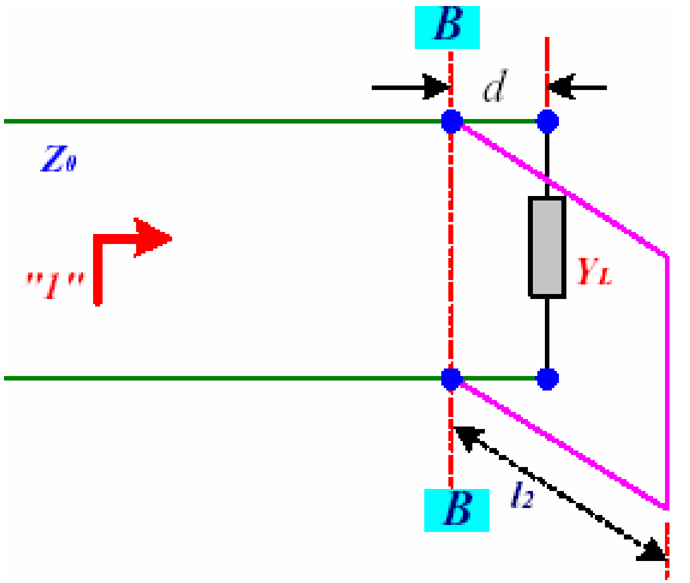
（3）并联“支”不影响电导，沿等电导圆转到B'点

$$y_{B'} = 0.5 - j0.14$$

（4）并联的(短路线)电纳为 $-j0.14 - j0.85 = -j0.99$，

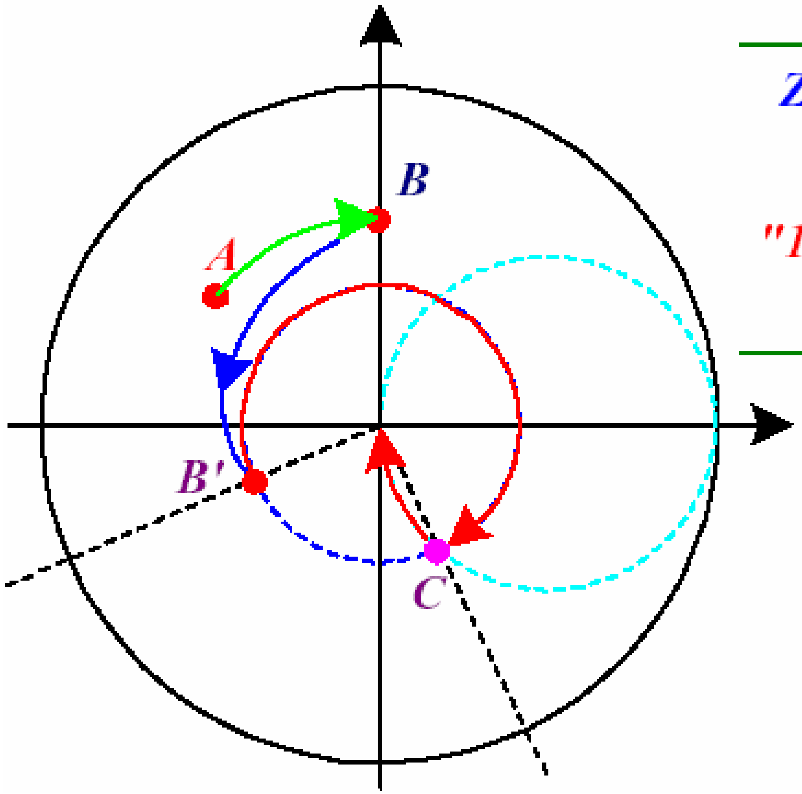
所以：$$l_2 / \lambda = 0.125$$

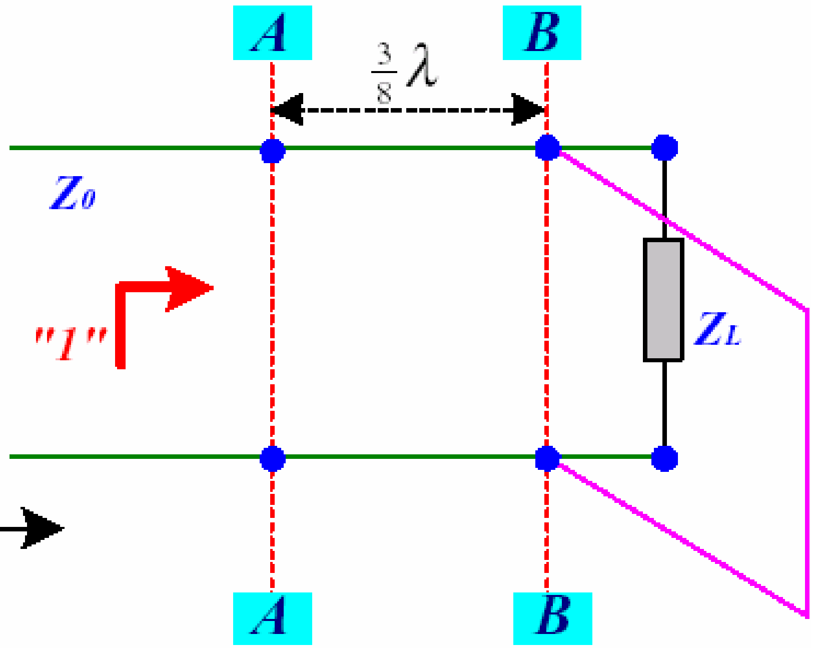




解

(5) 串连“节”($3\lambda/8$) 所以: $y_C = 1 - j0.75$





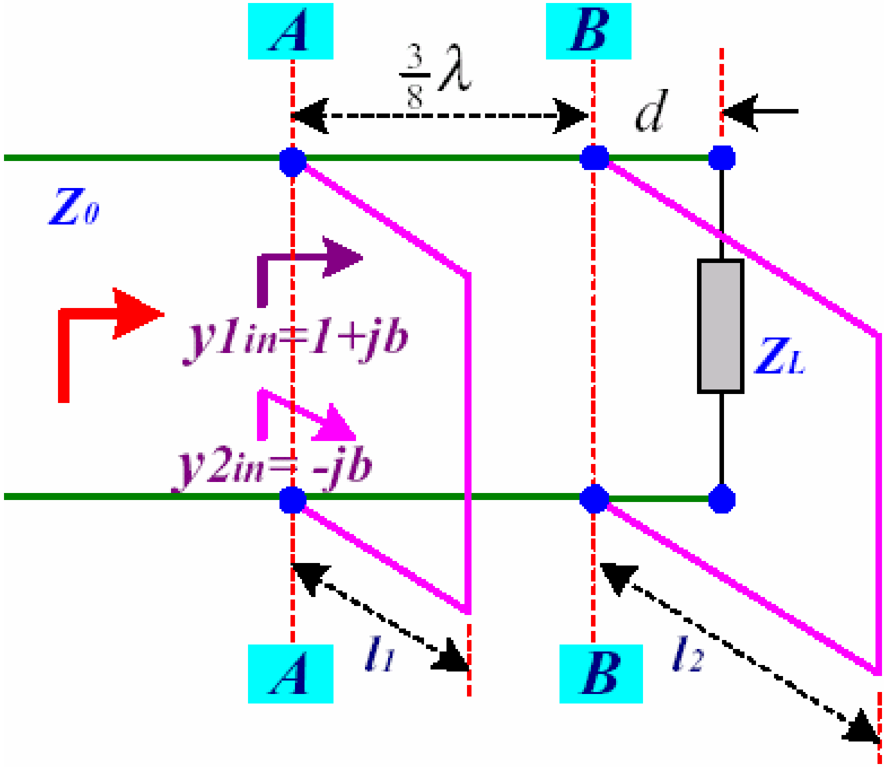
解

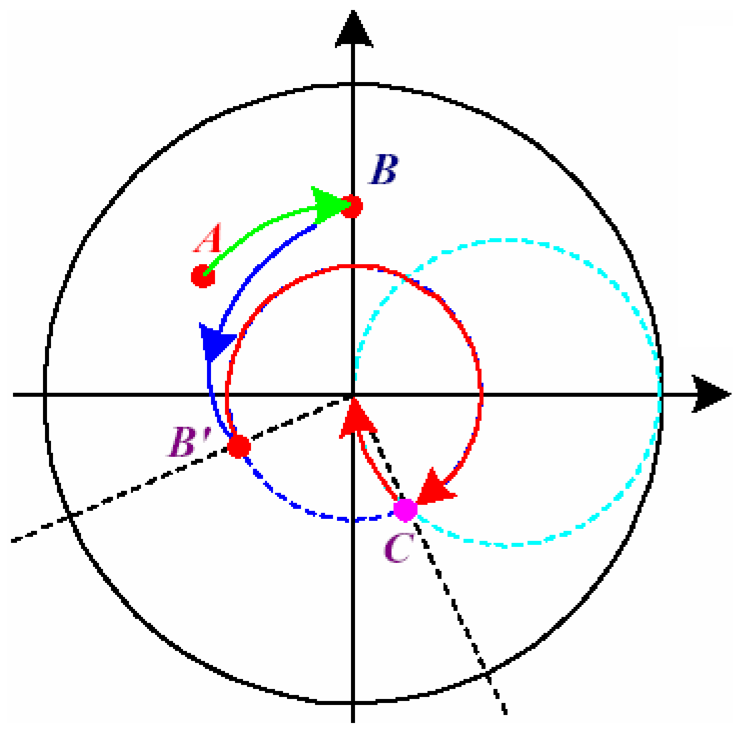
$Z_L = 0$ $\quad Z_{in}(l) = jR_0 tg(\beta l) = jZ_S$

(6)并联“支l_1”

由y_C=1-j0.75，得到支l_1电纳：b=0.75 ⇒“l_1=?”

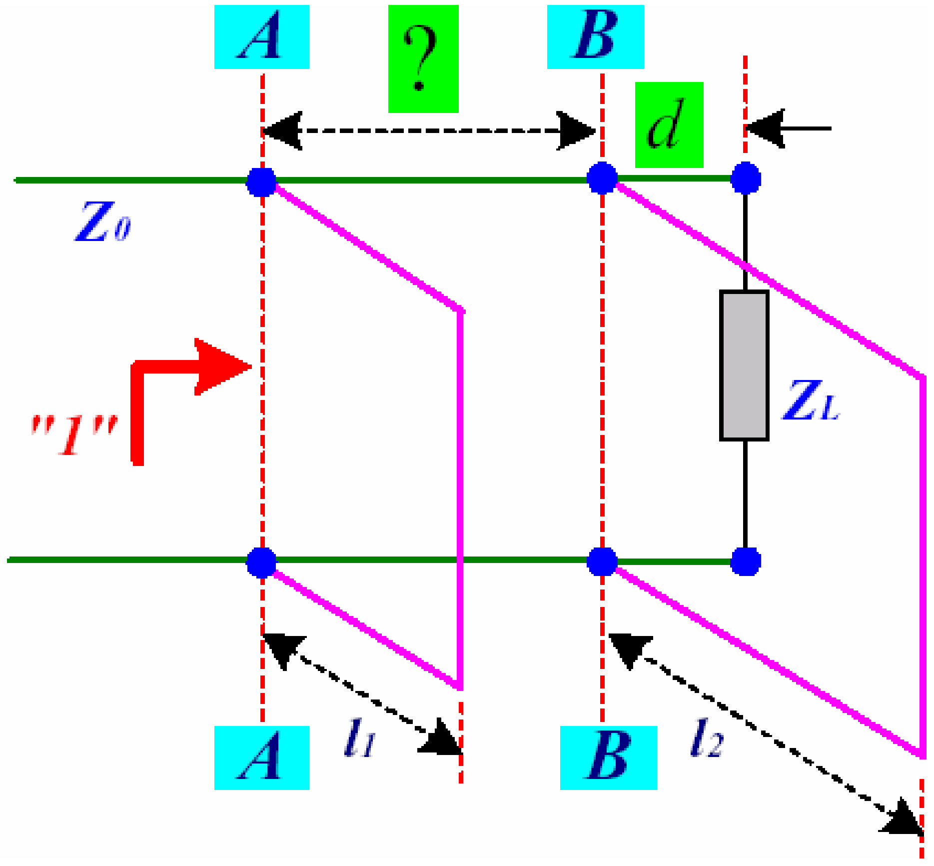
（注意：起点、顺时针转动）$l_1/\lambda = 0.352$





思考题1：还有无别的长度？

$\lambda/8$ 、$\lambda/4$ 、$\lambda/2$ $\cdots$



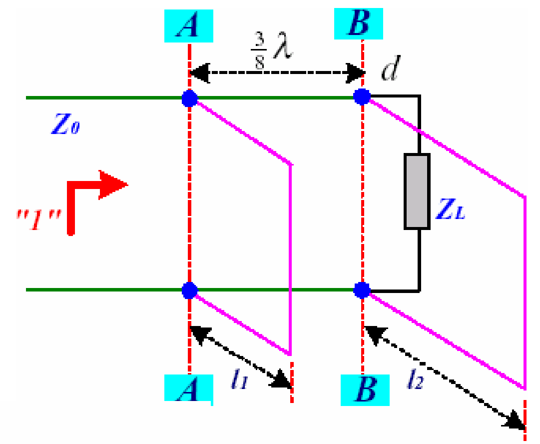
思考题2：双枝节匹配的盲区

(1)归一化负载阻抗⇒ 复导纳 ⇒从B点向负载看的输入导纳 －C点

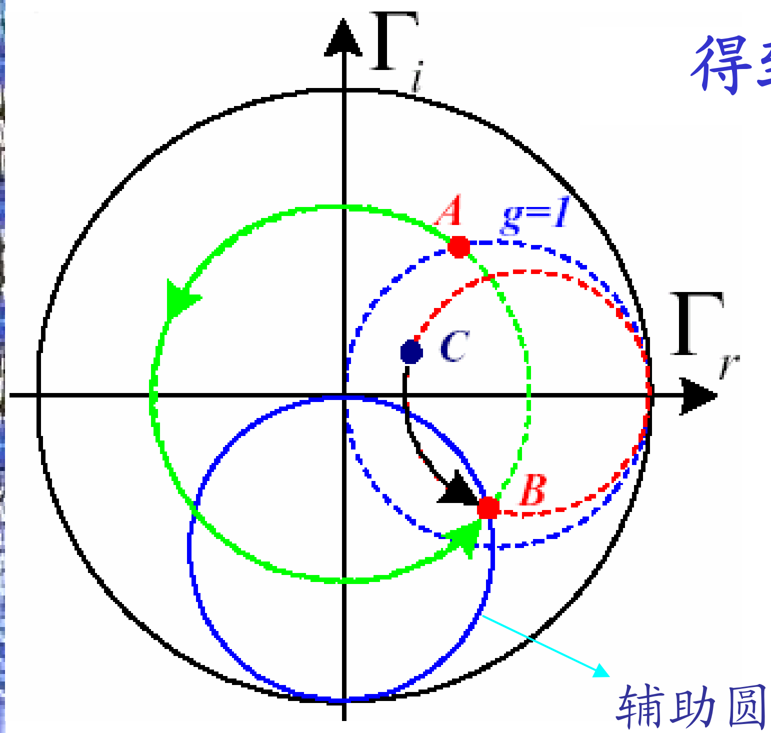
(2)并联“支” ⇒ B点

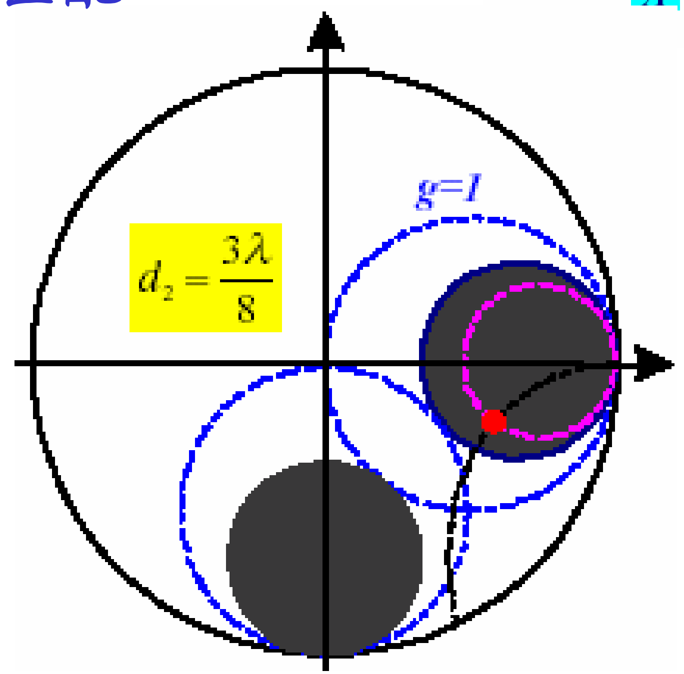
(3)B向源移动$3\lambda/8$“节” ⇒ A点

(4) $A=1+jb$，并联“支”，



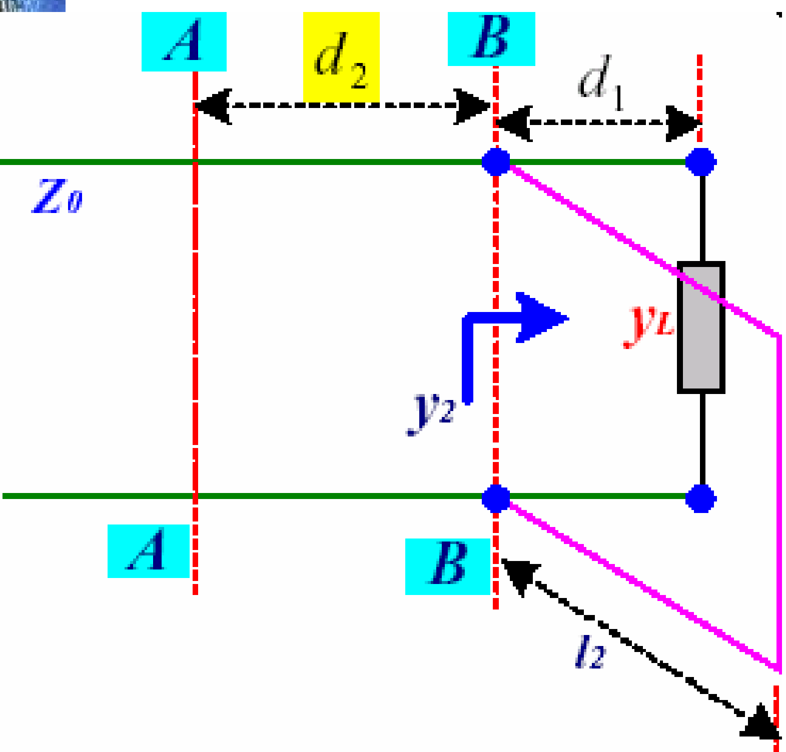
得到匹配

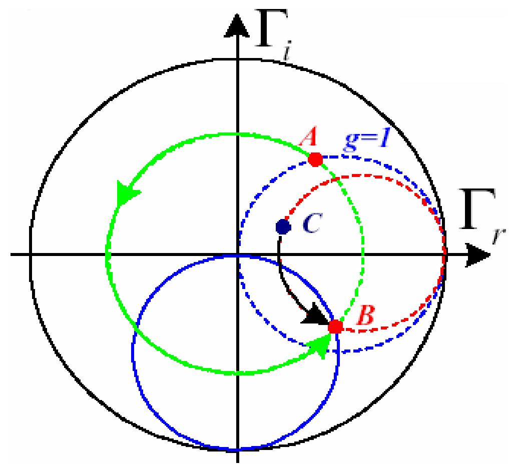


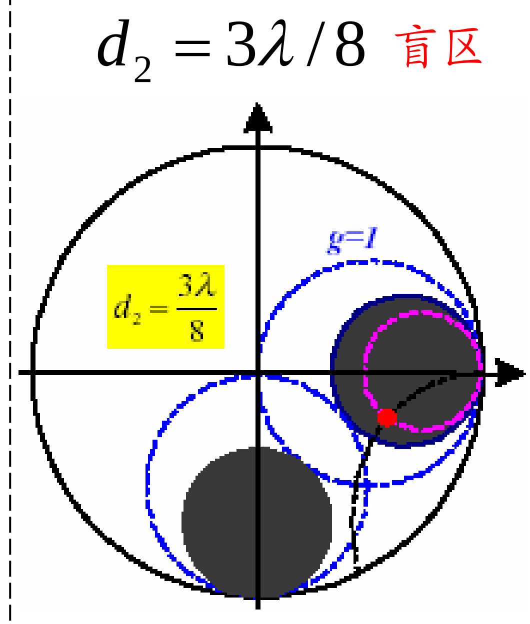


思考题2：双枝节匹配的盲区

如果 $d_2 = \lambda/4$ 盲区在哪里？







考虑避免盲区方法：

1、设置好d_1,使得从负载导纳转到的C点不在盲区内

2、让黑影减小到0：辅助圆与g=1圆重合

$\lambda/2$

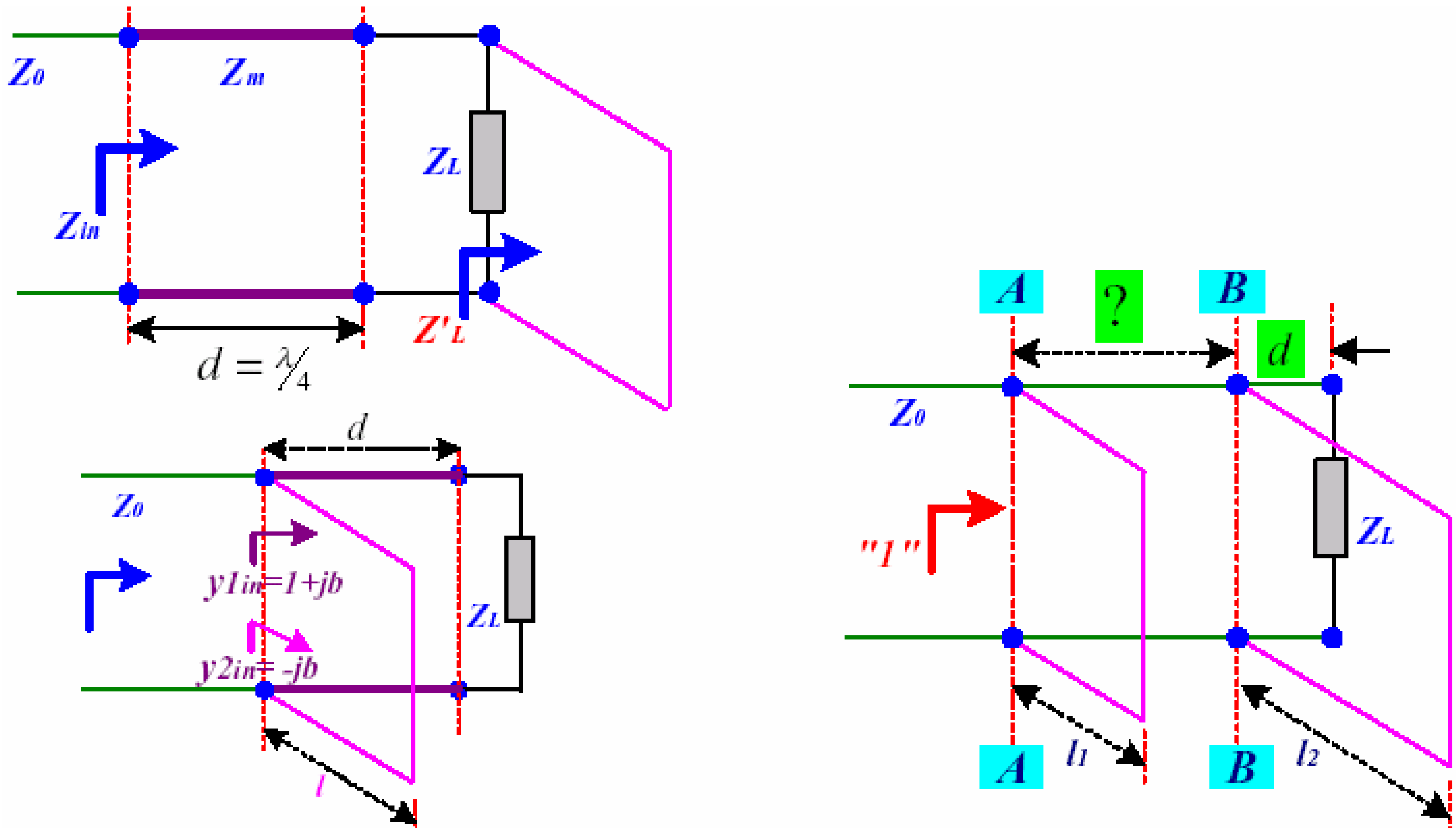
3、多枝节匹配：3枝节匹配无盲区

多枝节匹配：无限想象空间，但太多后太复杂，同时无太大意义

思考题3：匹配的“窄带”问题

“窄”在哪里？

匹配长度与信号波长(频率)的密切关系



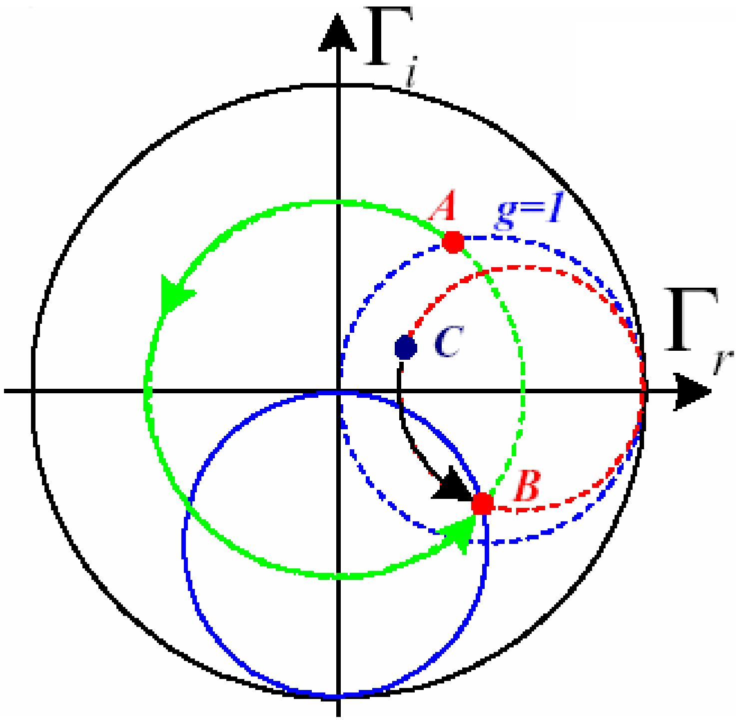
双枝节匹配总结

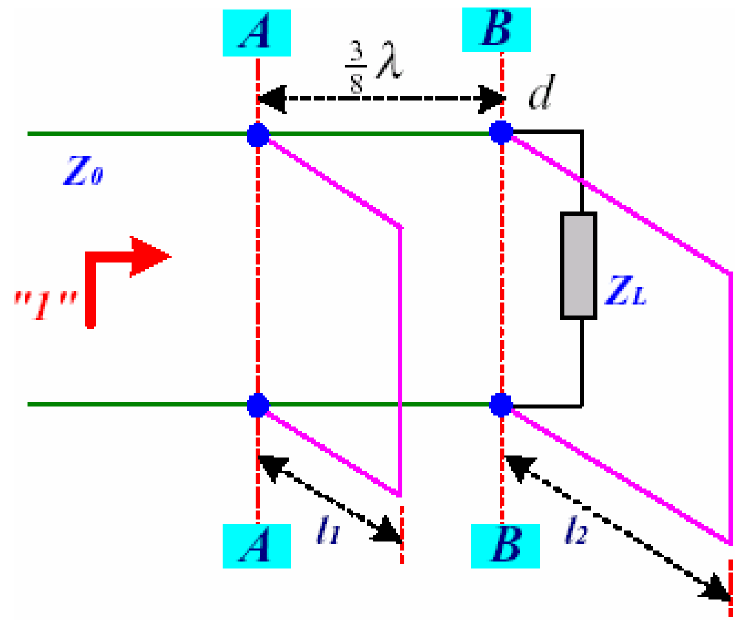
(1)归一化负载阻抗⇒ 复导纳 ⇒从B点向负载看的输入导纳

(2)并联“支” ⇒ B点(顺等电导圆移动到辅助圆)

(3)B向源移动3λ/8“节” ⇒ A点 (顺等反射系数圆移动到g=1圆)

(4) *A=1+jb*，并联“支”，沿等导纳圆g=1移动到0点，





练习题

- 1、50ohm无损传输线，接负载30-j40ohm,在距离负载为d处并联50ohm的stub短路线求负载匹配的d和枝节长度
- 2、无损传输线接负载，SWR=3，从负载看第一个电压最小值和第一个电压最大值距负载分别为50cm和250cm，设计:
  - SWR=1单枝节短路线
- 3、50ohm无损传输线，接负载110-j70 ohm,设计单枝节匹配
- 4、50ohm无损传输线，接电阻75ohm,利用smith圆图设计单枝节、双枝节匹配