

# 《微波技术基础》

## Fundamentals of Microwave Technology

Yang Jing<sup>1</sup>

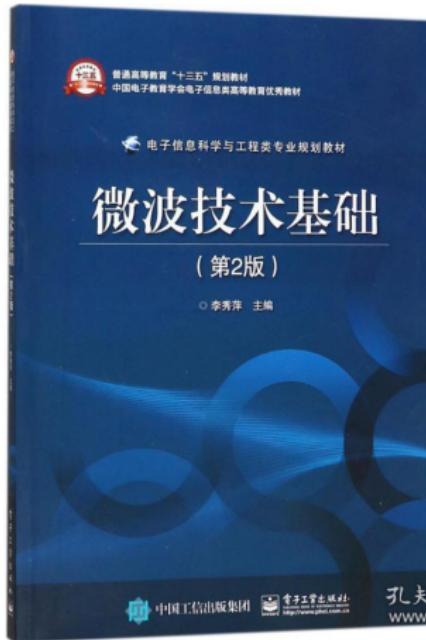
<sup>1</sup>School of Electronic Information and Electrical Engineering  
Hefei Normal University

2022 年 8 月 30 日



# 教材

《微波技术基础 (第2版)》，李秀萍编，电子工业出版社，2017.7.



# 参考书目

-  R.E.Colin 著, 吕继尧译 (1981).  
《微波工程基础》 [M].  
人民邮电出版社.
-  吴明英, 毛秀华 (1995).  
《微波技术》 [M].  
西安电子科技大学出版社.
-  廖承恩 (1994).  
《微波技术基础》 [M].  
西安电子科技大学出版社.
-  梁昌洪.  
国家级精品课程-《微波工程基础》 网络视频.  
西安电子科技大学.
-  赵春晖, 杨莘元 (2003).  
《现代微波技术基础》 [M] (第二版) .  
哈尔滨工程大学出版社.



# 考核模式

① 平时成绩 100 分，占总成绩 50%

① 学习态度：100 分，占 20%(考勤 100 分，占 100%)

② 课堂参与：100 分，占 30%(课堂表现，课堂回答问题积极性，100 分，占 100%)

③ 平时作业：100 分，占 50%(书面作业 100 分，占 100%)

② 期末考核 100 分，占总成绩 50%(期末笔试 100 分，占 100%)



# 目录

## ① 第 4 章 Smith 圆图与阻抗匹配



Smith 圆图是 1939 年由 Phillip Smith 在贝尔电话实验室工作时开发的,Smith 圆图全面反映了反射系数与阻抗/导纳之间的相互换算关系,求解传输线问题是非常有用的。主要用在以下方面:

- 无耗传输线的分析
- 传输线的阻抗匹配



# ① 第4章 Smith 圆图与阻抗匹配

## ● Smith 圆图

- 阻抗匹配
- 支节匹配器
- $\lambda/4$  阻抗变换器
- 小反射理论
- 二项式（最大平坦特性）多节阻抗变换器
- 切比雪夫（等波纹特性）多节阻抗变换器
- 渐变传输线



# Smith 圆图的基本构成

上一章分析都是围绕如下公式及相互关系展开的：

$$Z_{in}(d) = \frac{V_L \cosh \gamma d + I_L Z_0 \sinh \gamma d}{I_L \cosh \gamma d + \frac{V_L \sinh \gamma d}{Z_0}} = Z_0 \frac{Z_L + Z_0 \tanh \gamma d}{Z_0 + Z_L \tanh \gamma d}$$

无耗传输线:  $= Z_0 \frac{Z_L + jZ_0 \tan \beta d}{Z_0 + jZ_L \tan \beta d}$

$$\begin{aligned}\Gamma_L &= \frac{A_2}{A_1} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \\ &= \left| \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \right| e^{j\phi_L} \\ &= |\Gamma_L| e^{j\phi_L}\end{aligned}$$

$$\rho = VSWR = \frac{|V|_{\max}}{|V|_{\min}} = \frac{1 + |\Gamma_L|}{1 - |\Gamma_L|}$$



# Smith 圆图的基本构成

## ① 圆图概念

- 圆图是求解均匀传输线有关阻抗计算和阻抗匹配问题的一类曲线坐标图；
- 图上有两组坐标曲线：归一化阻抗或者导纳的实部和虚部的等值线簇，与反射系数的模和辐角的等值线簇；
- 所有这些等值线簇都是圆或圆弧（直线是圆的特例），故称为阻抗圆图或者导纳圆图，简称圆图。

$$z(d) = \frac{Z(d)}{Z_0} = \frac{1 + \Gamma(d)}{1 - \Gamma(d)} \quad \text{or} \quad \Gamma(d) = \frac{z(d) - 1}{z(d) + 1}$$

$$z(d) = r(d) + jx(d) = |z|e^{j\theta}$$

$$\Gamma(d) = \Gamma_{\text{Re}}(d) + j\Gamma_{\text{Im}}(d) = |\Gamma(d)|e^{j\phi(d)}$$



# Smith 圆图的基本构成

## ② Smith 圆图

- Smith 圆图是通过双线性变换式，将  $z$  复平面上的  $r = \text{常数}$  和  $x = \text{常数}$  的二簇相互正交的直线分别转换成  $\Gamma$  复平面上的二簇相互正交的圆，并同  $\Gamma$  极坐标等值线簇  $|\Gamma| = \text{常数}$  和  $\phi = \text{常数}$  套印在一起而得到的圆图。
- 该图表是由 Phillip Smith 于 1939 年发明的，当时他在美国的 RCA 公司工作。Smith 也许不是图表的第一位发明者，一位名叫 Kurakawa 的日本工程师声称早于其一年发明了这种图表。

$$z(d) = \frac{Z(d)}{Z_0} = \frac{1 + \Gamma(d)}{1 - \Gamma(d)} \quad \text{or} \quad \Gamma(d) = \frac{z(d) - 1}{z(d) + 1}$$
$$z(d) = r(d) + jx(d) = |z|e^{j\theta}$$
$$\Gamma(d) = \Gamma_{\text{Re}}(d) = j\Gamma_{\text{Im}}(d) = |\Gamma(d)|e^{j\phi(d)}$$



# Smith 圆图的基本构成

- 阻抗圆图

阻抗圆图是由等反射系数圆和归一化等阻抗圆组成。

- ① 等反射系数圆

距离终端  $d$  处的反射系数为

$$\Gamma(d) = |\Gamma|e^{j\phi(d)} = |\Gamma_L|e^{j(\phi_L - 2\beta d)} = \Gamma_{\text{Re}} + j\Gamma_{\text{Im}}$$

表明，在复平面上等反射系数模  $|\Gamma|$  的轨迹是以坐标原点为圆心、 $|\Gamma_L|$  为半径的圆，这个圆称为等反射系数  $|\Gamma|$  圆。由于反射系数的模与驻波比是一一对应的，故又称为**等驻波比圆**。

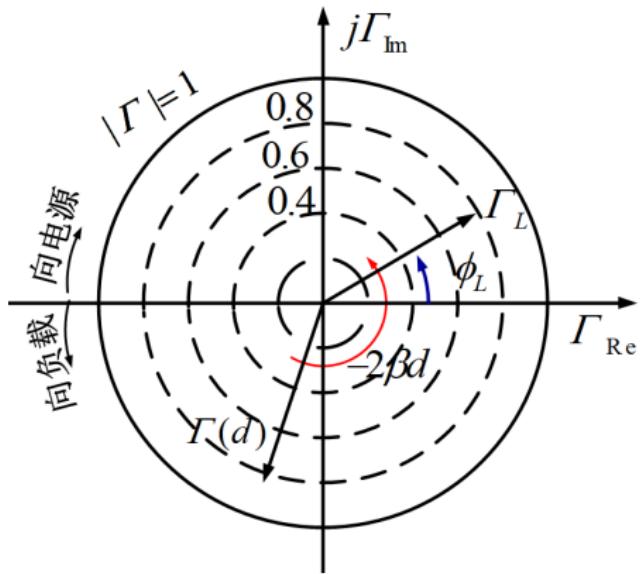


# Smith 圆图的基本构成

线上移动的距离与转动角度之间的关系为

$$\begin{aligned}\Gamma(d) &= |\Gamma|e^{j\phi} \\ &= |\Gamma_L|e^{j(\phi_L - 2\beta d)} \\ \Delta\phi &= 2\beta\Delta d \\ &= \frac{4\pi}{\lambda}\Delta d\end{aligned}$$

为了使用方便，有的圆图上标有两个方向的波长数数值，如图所示。向负载方向移动读里圈读数，向波源方向移动读外圈读数。

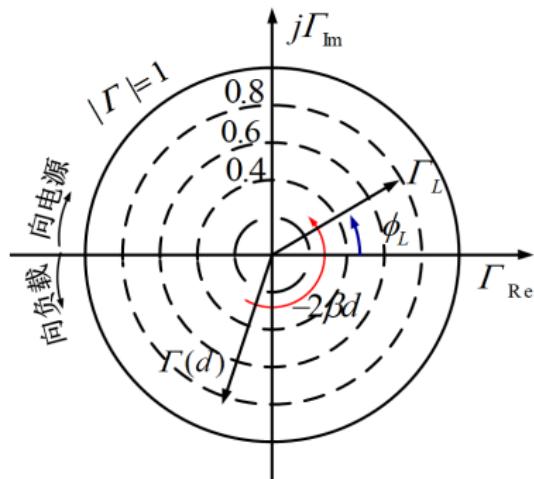


图：反射系数圆

# Smith 圆图的基本构成

相角相等的反射系数的轨迹是单位圆内的径向线

线上移动长度  $\lambda/2$  时，对应反射系数矢量转动一周。一般转动的角度用波长数（或电长度） $\Delta d/\lambda$  表示，目标度波长数的零点位置通常选在  $\phi = \pi$  处。



图：等反射系数圆的波长数标度

$\phi = 0$  的径向线为各种不同负载阻抗情况下电压波腹点反射系数的轨迹；  
 $\phi = \pi$  的径向线为各种不同负载阻抗情况下电压波节点反射系数的轨迹。

# Smith 圆图的基本构成

- 阻抗圆图

- ② 归一化阻抗圆

$$z_{in}(d) = \frac{Z_{in}(d)}{Z_0} = \frac{1 + \Gamma(d)}{1 - \Gamma(d)}$$

$$\begin{aligned} z_{in}(d) &= \frac{1 + (\Gamma_{\text{Re}} + j\Gamma_{\text{Im}})}{1 - (\Gamma_{\text{Re}} + j\Gamma_{\text{Im}})} \\ &= \frac{1 - (\Gamma_{\text{Re}}^2 + \Gamma_{\text{Im}}^2)}{(1 - \Gamma_{\text{Re}})^2 + \Gamma_{\text{Im}}^2} + j \frac{2\Gamma_{\text{Im}}}{(1 - \Gamma_{\text{Re}})^2 + \Gamma_{\text{Im}}^2} = r + jx \end{aligned}$$

$$\left(\Gamma_{\text{Re}} - \frac{r}{r+1}\right)^2 + \Gamma_{\text{Im}}^2 = \frac{1}{(r+1)^2} \quad \text{归一化电阻轨迹方程}$$

$$(\Gamma_{\text{Re}} - 1)^2 + \left(\Gamma_{\text{Im}} - \frac{1}{x}\right)^2 = \left(\frac{1}{x}\right)^2 \quad \text{归一化电抗轨迹方程}$$

特征参数，是形成统一 Smith 圆图的最关键点，它包含了阻抗归一和电长度归一。



# Smith 圆图的基本构成

$$(\Gamma_{\text{Re}} - 1)^2 + \left( \Gamma_{\text{Im}} - \frac{1}{x} \right)^2 = \left( \frac{1}{x} \right)^2$$

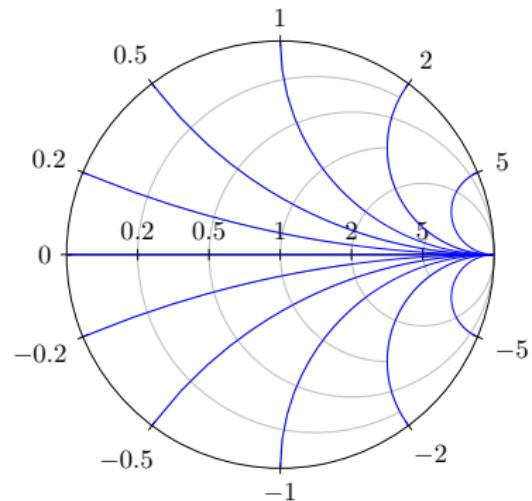
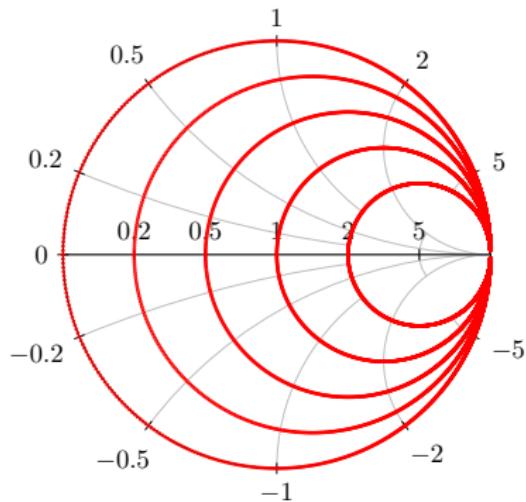


图: 归一化电抗圆



# Smith 圆图的基本构成



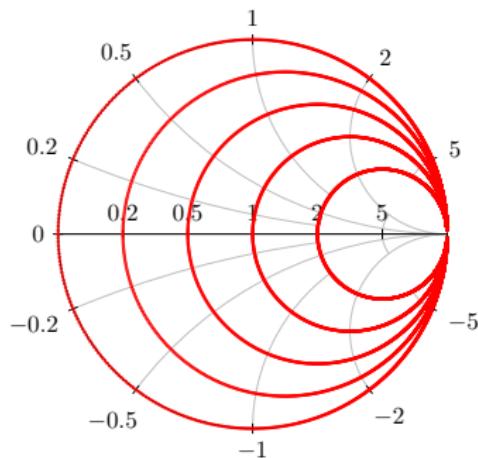
$$\left( \Gamma_{\text{Re}} - \frac{r}{r+1} \right)^2 + \Gamma_{\text{Im}}^2 = \frac{1}{(r+1)^2}$$

图: 归一化电阻圆



# Smith 圆图的基本构成

电阻圆始终和直线  $\Gamma_r = 1$  相切



r	圆心坐标		半径 $(\frac{1}{1+r})$
	$\Gamma_r = \frac{r}{1+r}$	$\Gamma_i = 0$	
0	0	0	1
1	1/2	0	1/2
2	2/3	0	1/3

图: 归一化电阻圆

$$\left( \Gamma_{\text{Re}} - \frac{r}{r+1} \right)^2 + \Gamma_{\text{Im}}^2 = \frac{1}{(r+1)^2}$$



# Smith 圆图的基本构成

## 电抗圆圆心坐标和半径

$$(\Gamma_{\text{Re}} - 1)^2 + \left( \Gamma_{\text{Im}} - \frac{1}{x} \right)^2 = \left( \frac{1}{x} \right)^2$$

x	圆心坐标		半径 ( $\frac{1}{x}$ )
	$\Gamma_r = 1$	$\Gamma_i = \frac{1}{x}$	
0	1	$\infty$	$\infty$
$\pm 0.5$	1	$\pm 2$	2
$\pm 1$	1	$\pm 1$	1

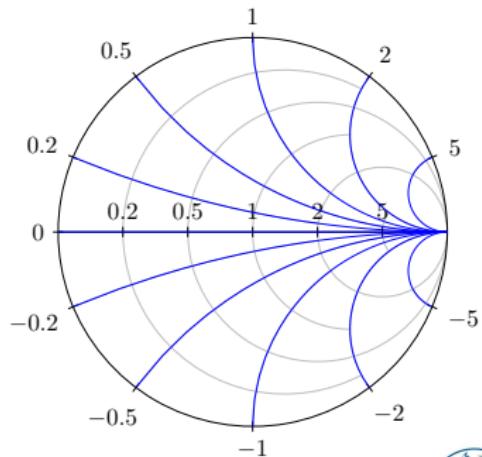
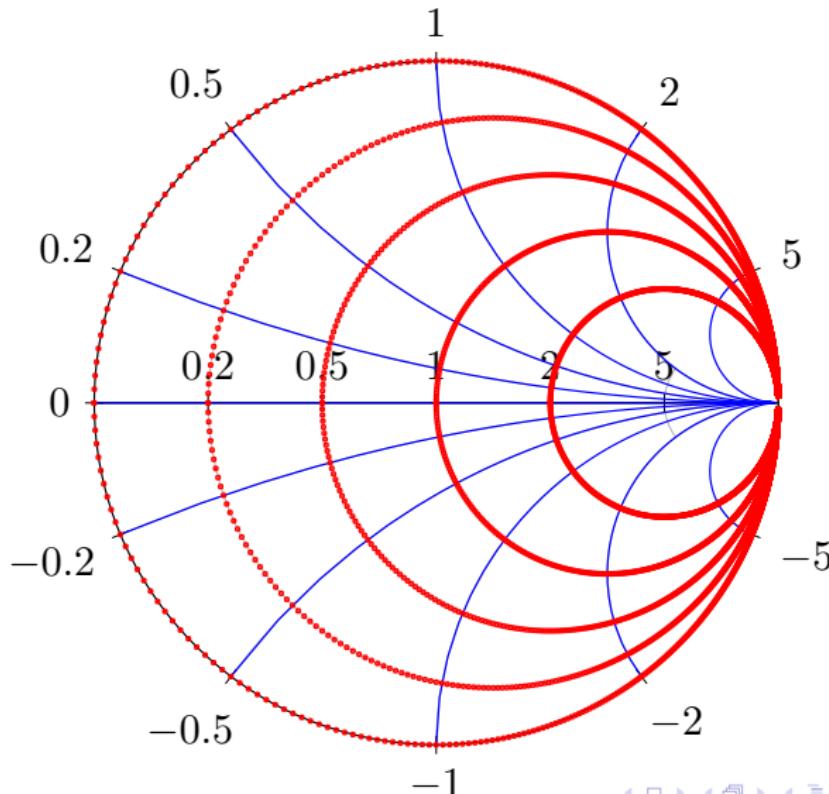


图: 归一化电抗圆



# Smith 圆图的基本构成

将等电阻圆和等电抗圆绘制在同一张图上，得到阻抗圆图。



# Smith 圆图的特点

阻抗圆图有如下几个特点

- 圆图上有三个特殊点：

**匹配点 (O 点)**

其坐标为  $(0,0)$

$$r = 1, x = 0$$

$$|\Gamma| = 0, \rho = 1$$

**短路点 (C 点)**

其坐标为  $(-1,0)$

$$r = 0, x = 0, |\Gamma| = 1$$

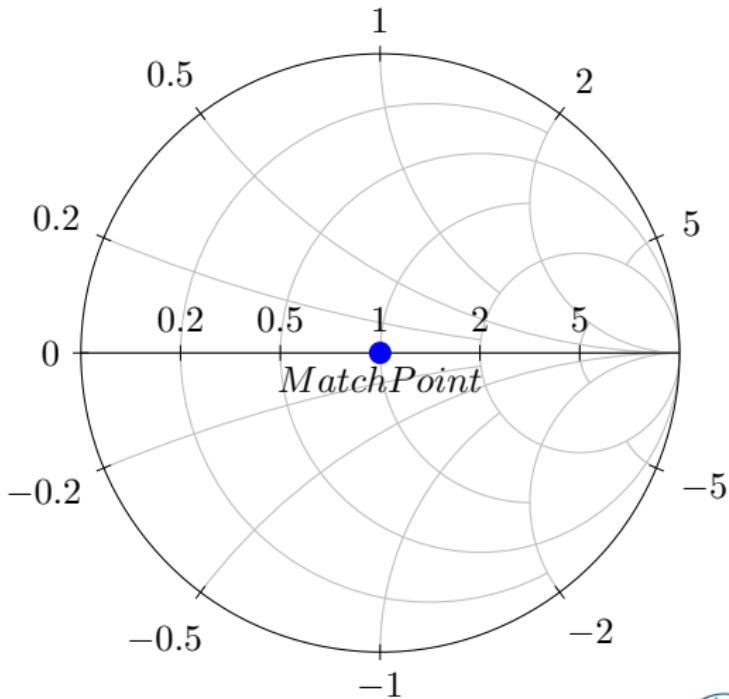
$$\rho = \infty, \phi = \pi$$

**开路点 (D 点)**

其坐标为  $(1,0)$

$$r = \infty, x = \infty, |\Gamma| = 1$$

$$\rho = \infty, \phi = 0$$



# Smith 圆图的特点

阻抗圆图有如下几个特点

- 圆图上有三个特殊点：

**匹配点 (O 点)**

其坐标为  $(0,0)$

$$r = 1, x = 0$$

$$|\Gamma| = 0, \rho = 1$$

**短路点 (C 点)**

其坐标为  $(-1,0)$

$$r = 0, x = 0, |\Gamma| = 1$$

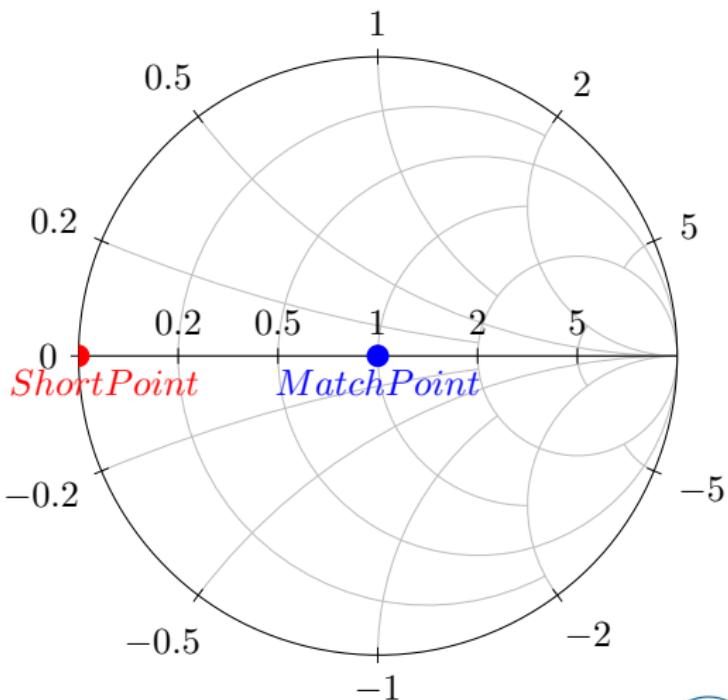
$$\rho = \infty, \phi = \pi$$

**开路点 (D 点)**

其坐标为  $(1,0)$

$$r = \infty, x = \infty, |\Gamma| = 1$$

$$\rho = \infty, \phi = 0$$



# Smith 圆图的特点

阻抗圆图有如下几个特点

- 圆图上有三个特殊点：

**匹配点 (O 点)**

其坐标为  $(0,0)$

$r = 1, x = 0$

$|\Gamma| = 0, \rho = 1$

**短路点 (C 点)**

其坐标为  $(-1,0)$

$r = 0, x = 0, |\Gamma| = 1$

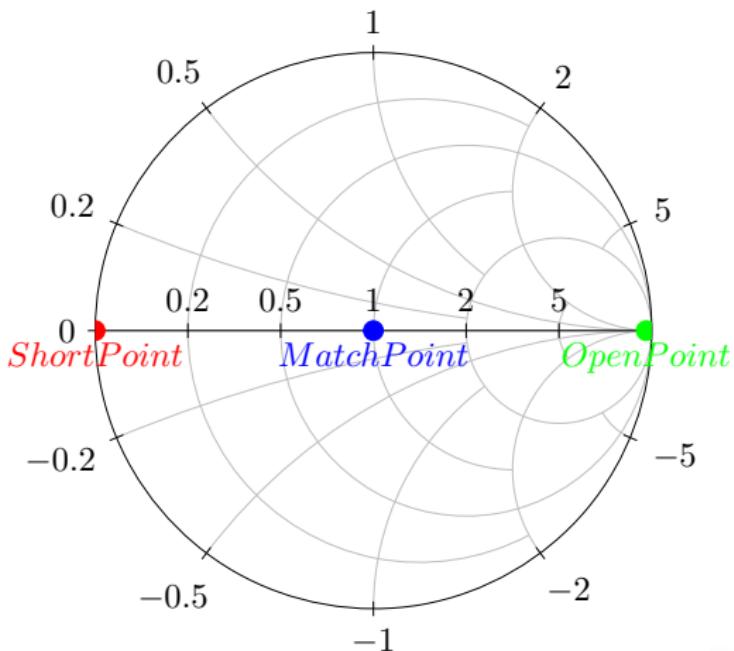
$\rho = \infty, \phi = \pi$

**开路点 (D 点)**

其坐标为  $(1,0)$

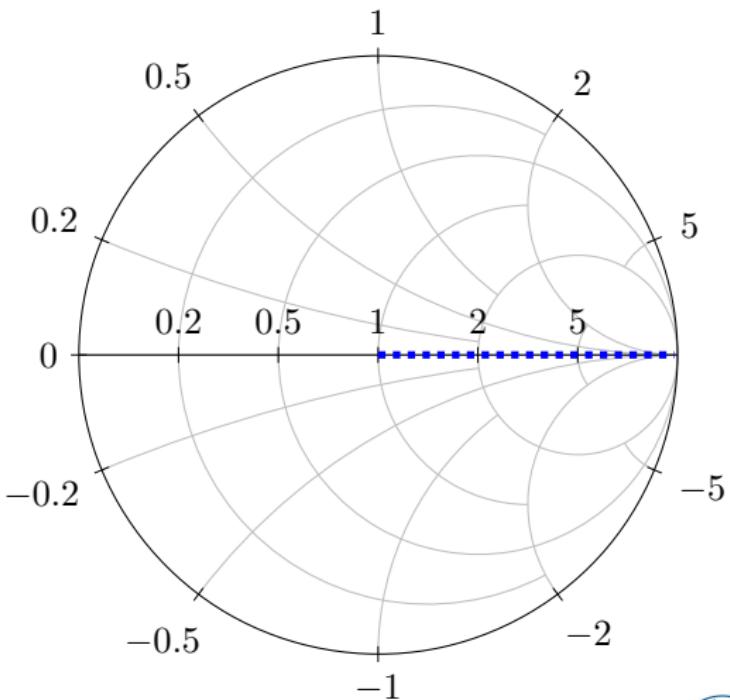
$r = \infty, x = \infty, |\Gamma| = 1$

$\rho = \infty, \phi = 0$



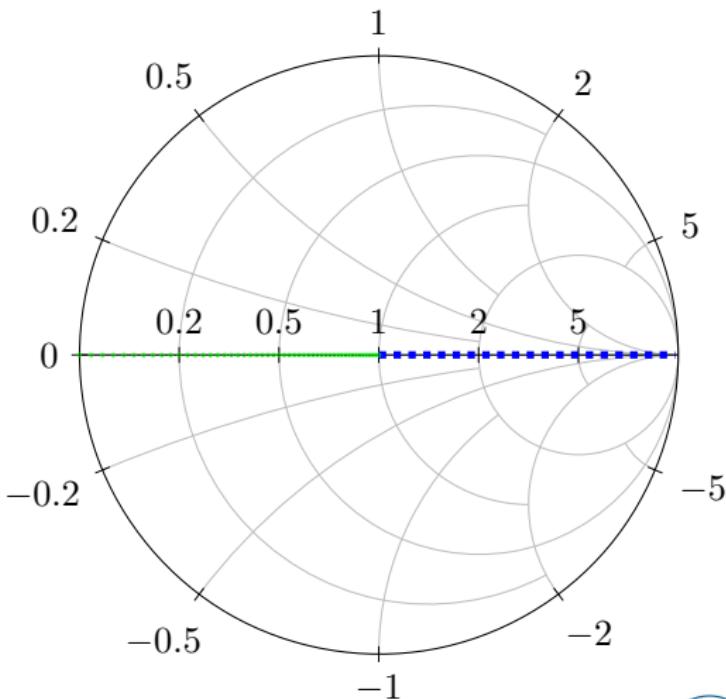
# Smith 圆图的特点

- 圆图上有三条特殊线：  
圆图上实轴为  $x = 0$  的轨迹，  
**正半实轴**为电压波腹点的轨迹，线上  $R$  值为驻波比读数。  
**负半实轴**为电压波节点的轨迹，线上的  $R$  值为行波系数  $K$  的读数。  
**最外面的单位圆**为  $R = 0$  的纯电抗轨迹，即为  $|\Gamma| = 1$  的全反射系数圆的轨迹。
- 圆上有两个特殊面圆图实轴以上的上半平面是**感性**阻抗的轨迹；实轴以下的下半平面是**容性**阻抗的轨迹。



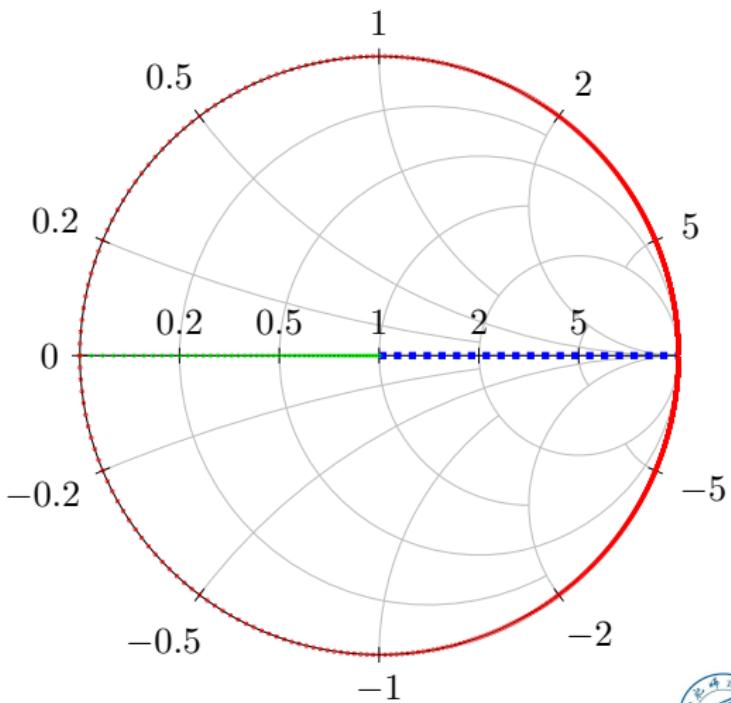
# Smith 圆图的特点

- 圆图上有三条特殊线：  
圆图上实轴为  $x = 0$  的轨迹，  
**正半实轴**为电压波腹点的轨迹，线上  $R$  值为驻波比读数。  
**负半实轴**为电压波节点的轨迹，线上的  $R$  值为行波系数  $K$  的读数。  
**最外面的单位圆**为  $R = 0$  的纯电抗轨迹，即为  $|\Gamma| = 1$  的全反射系数圆的轨迹。
- 圆上有两个特殊面圆图实轴以上的上半平面是**感性**阻抗的轨迹；实轴以下的下半平面是**容性**阻抗的轨迹。



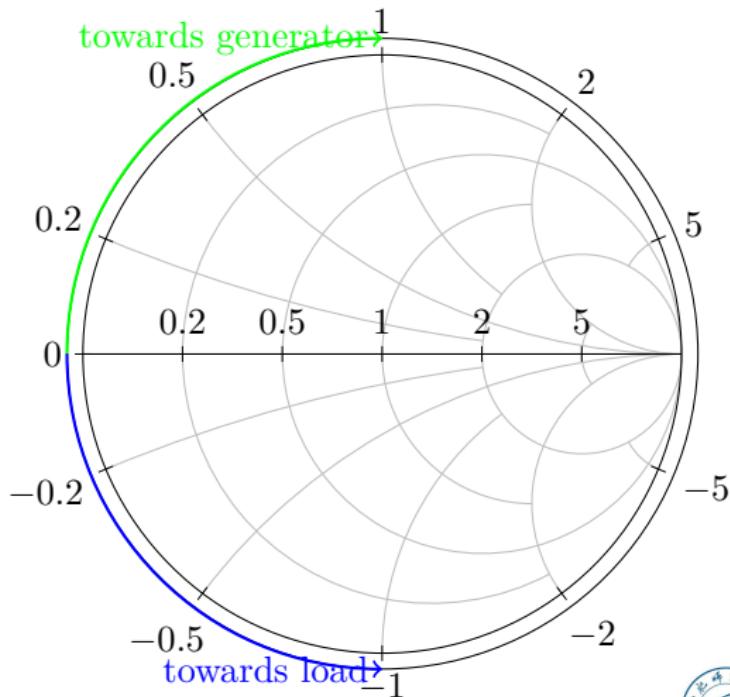
# Smith 圆图的特点

- 圆图上有三条特殊线：  
圆图上实轴为  $x = 0$  的轨迹，  
**正半实轴**为电压波腹点的轨迹，线上  $R$  值为驻波比读数。  
**负半实轴**为电压波节点的轨迹，线上的  $R$  值为行波系数  $K$  的读数。  
**最外面的单位圆**为  $R = 0$  的纯电抗轨迹，即为  $|\Gamma| = 1$  的全反射系数圆的轨迹。
- 圆上有两个特殊面圆图实轴以上的上半平面是**感性**阻抗的轨迹；实轴以下的下半平面是**容性**阻抗的轨迹。



# Smith 圆图的特点

- 圆图上有两个旋转方向，在传输线上向负载方向移动时，则在圆图上沿等反射系数圆逆时针方向旋转；反之，在传输线上向波源方向移动时，则在圆图上沿等反射系数圆顺时针方向旋转。
- 圆图上任意一点对应四个参数： $x, r, |\Gamma|$  和  $\phi$ ，知道前两个参数或后两个参数均可确定该点在圆图上的位置。
- 若传输线上某一位置对应于圆图上的 A 点，则 A 点的读数即为该位置的输入阻抗归一化值  $r = jx$ ；若关于 O 点的 A 点对称点为 B 点，则 B 点的读数即为该位置的输入导纳归一化值  $g + jb$ 。



# Smith 导纳圆图

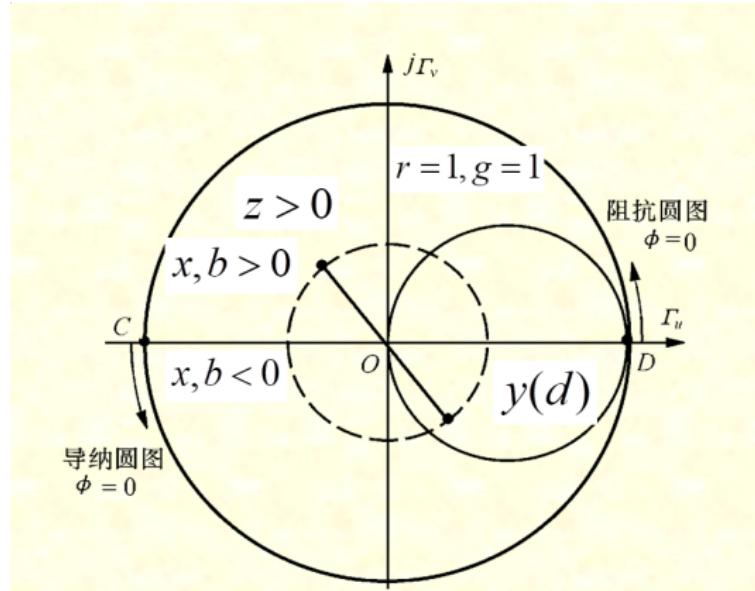
- 导纳圆图



# Smith 圆图的特点

## 使用圆图应注意以下特点

- 当圆图作为阻抗圆图时，相角为 0 的反射系数位于 OD 上，相角增大，反射系数矢量沿逆时针方向转动；当圆图作为导纳圆图时，相角为 0 的反射系数位于 OC 上，相角增大，反射系数矢量仍沿逆时针方向转动。
- 与阻抗圆图相反，作为导纳圆图使用时，D 点为短路点，C 点为开路点，线段 OD 为电压波节点归一化阻抗的轨迹，线段 OC 为电压波腹点归一化阻抗的轨迹。
- $z(d)$  与  $y(d)$  在同一反射系数圆上，相应位置差  $180^\circ$



阻抗圆图与导纳圆图的关系



# Smith 圆图的应用

## Smith 圆图的基本功能

1	已知阻抗 $Z$ , 求导纳 $Y$ (或逆问题)
2	已知阻抗 $Z$ , 求反射系数 $\Gamma$ 和 $\rho$ (或逆问题)
3	已知阻抗 $Z$ 和 $\phi$ 求输入阻抗 $Z_{in}$ (或逆问题)
4	已知驻波比和最小点 $d_{min}$ , 求 $Z_{in}$



# Smith 圆图的应用

例 1 特性阻抗  $Z_0 = 50\Omega$ , 负载阻抗  $Z_L = 100 + j50\Omega$ , 求距负载  $0.24\lambda$  处输入阻抗。

解: 归一化负载阻抗  $z_L = 2 + j1$

1) 向电源方向旋转  $0.213\lambda$

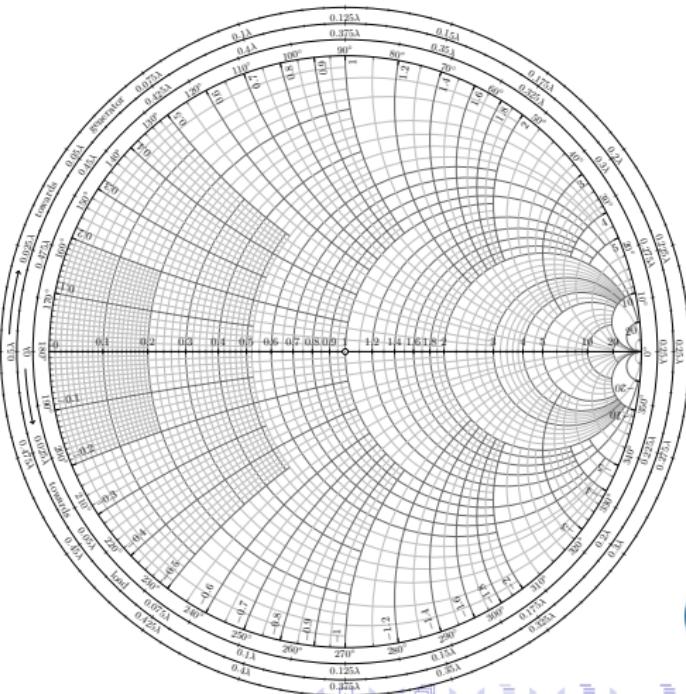
$$\phi = \arctan(1/2)$$

$$\frac{2\pi}{\lambda/2} = \frac{\pi - \phi}{l}$$

$$l = (\pi - 0.4636)\lambda/4\pi \\ = 0.213\lambda$$

2) 旋转  $0.24\lambda$  到  $z_{in}$

$$z_{in} = 0.42 - j0.25 \rightarrow \times 50 \\ \rightarrow 21 - j12.5\Omega$$



# Smith 圆图的应用

例 1 特性阻抗  $Z_0 = 50\Omega$ , 负载阻抗  $Z_L = 100 + j50\Omega$ , 求距负载  $0.24\lambda$  处输入阻抗。

解: 归一化负载阻抗  $z_L = 2 + j1$

1) 向电源方向旋转  $0.213\lambda$

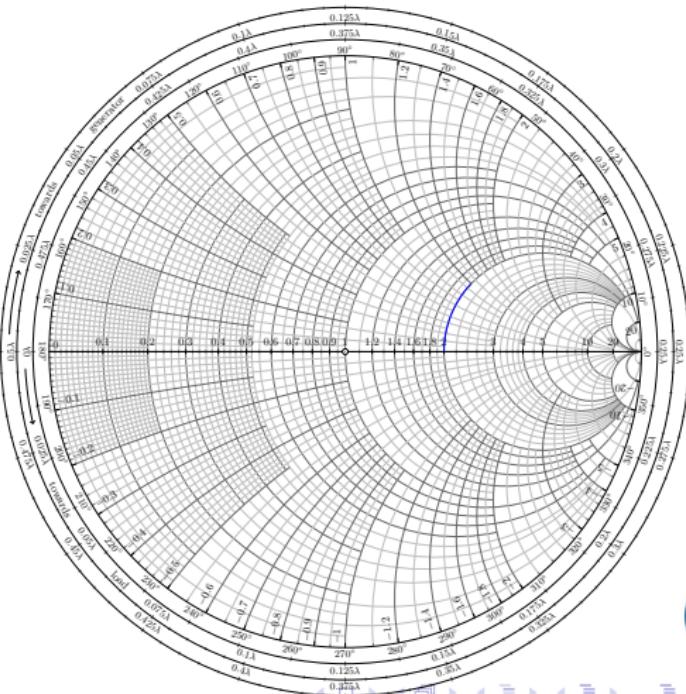
$$\phi = \arctan(1/2)$$

$$\frac{2\pi}{\lambda/2} = \frac{\pi - \phi}{l}$$

$$l = (\pi - 0.4636)\lambda/4\pi \\ = 0.213\lambda$$

2) 旋转  $0.24\lambda$  到  $z_{in}$

$$z_{in} = 0.42 - j0.25 \rightarrow \times 50 \\ \rightarrow 21 - j12.5\Omega$$



# Smith 圆图的应用

例 1 特性阻抗  $Z_0 = 50\Omega$ , 负载阻抗  $Z_L = 100 + j50\Omega$ , 求距负载  $0.24\lambda$  处输入阻抗。

解: 归一化负载阻抗  $z_L = 2 + j1$

1) 向电源方向旋转  $0.213\lambda$

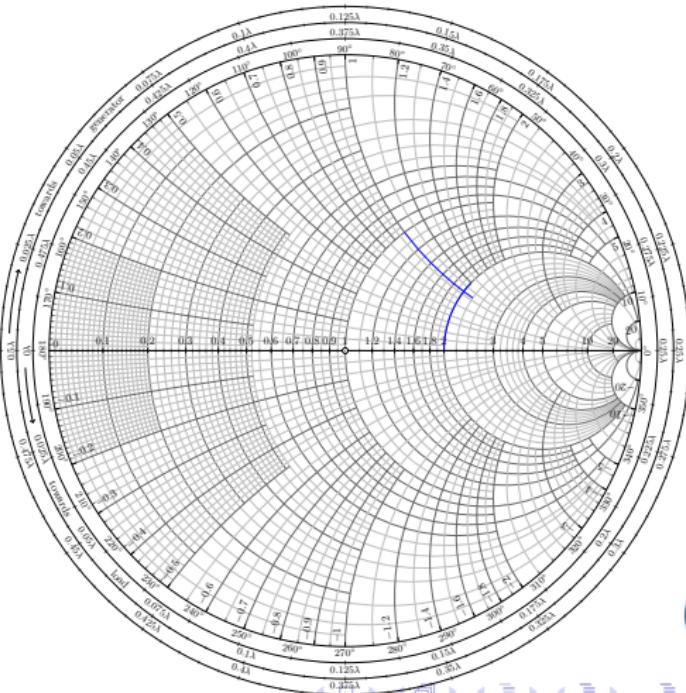
$$\phi = \arctan(1/2)$$

$$\frac{2\pi}{\lambda/2} = \frac{\pi - \phi}{l}$$

$$l = (\pi - 0.4636)\lambda / 4\pi \\ = 0.213\lambda$$

2) 旋转  $0.24\lambda$  到  $z_{in}$

$$z_{in} = 0.42 - j0.25 \rightarrow \times 50 \\ \rightarrow 21 - j12.5\Omega$$



# Smith 圆图的应用

例 1 特性阻抗  $Z_0 = 50\Omega$ , 负载阻抗  $Z_L = 100 + j50\Omega$ , 求距负载  $0.24\lambda$  处输入阻抗。

解: 归一化负载阻抗  $z_L = 2 + j1$

1) 向电源方向旋转  $0.213\lambda$

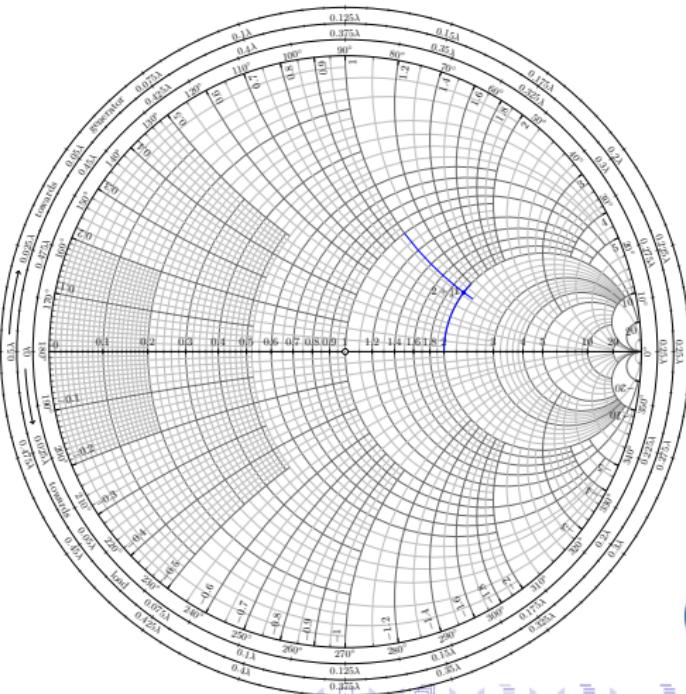
$$\phi = \arctan(1/2)$$

$$\frac{2\pi}{\lambda/2} = \frac{\pi - \phi}{l}$$

$$l = (\pi - 0.4636)\lambda/4\pi \\ = 0.213\lambda$$

2) 旋转  $0.24\lambda$  到  $z_{in}$

$$z_{in} = 0.42 - j0.25 \rightarrow \times 50 \\ \rightarrow 21 - j12.5\Omega$$



# Smith 圆图的应用

例 1 特性阻抗  $Z_0 = 50\Omega$ , 负载阻抗  $Z_L = 100 + j50\Omega$ , 求距负载  $0.24\lambda$  处输入阻抗。

解：归一化负载阻抗  $z_L = 2 + j1$

1) 向电源方向旋转  $0.213\lambda$

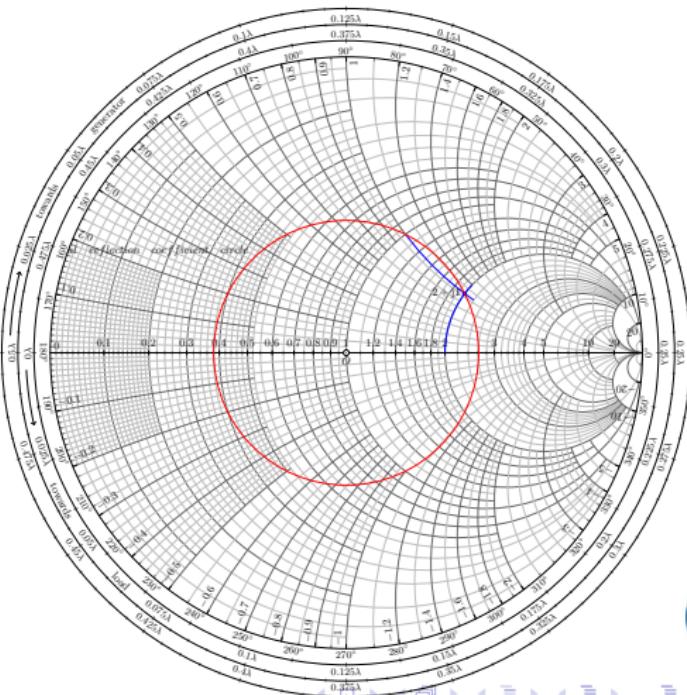
$$\phi = \arctan(1/2)$$

$$\frac{2\pi}{\lambda/2} = \frac{\pi - \phi}{l}$$

$$l = (\pi - 0.4636)\lambda / 4\pi \\ = 0.213\lambda$$

2) 旋转  $0.24\lambda$  到  $z_{in}$

$$z_{in} = 0.42 - j0.25 \rightarrow \times 50 \\ \rightarrow 21 - j12.5\Omega$$



# Smith 圆图的应用

例 1 特性阻抗  $Z_0 = 50\Omega$ , 负载阻抗  $Z_L = 100 + j50\Omega$ , 求距负载  $0.24\lambda$  处输入阻抗。

解：归一化负载阻抗  $z_L = 2 + j1$

1) 向电源方向旋转  $0.213\lambda$

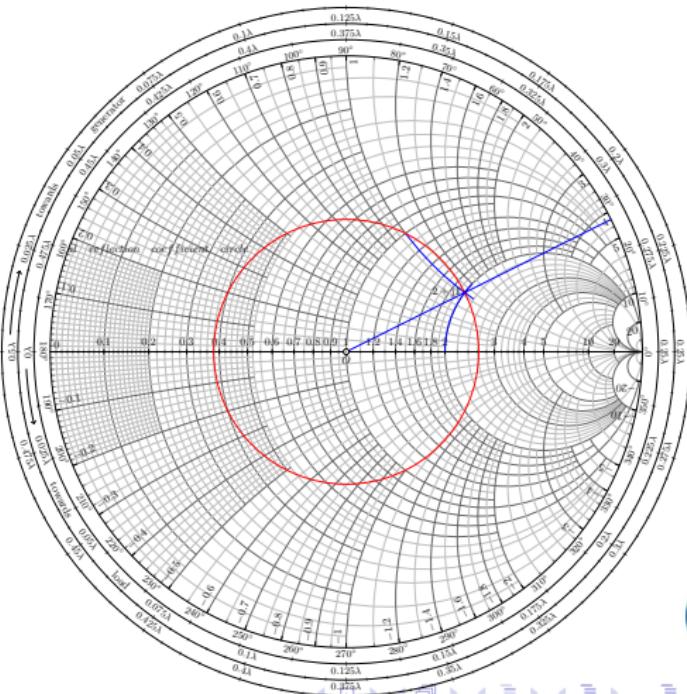
$$\phi = \arctan(1/2)$$

$$\frac{2\pi}{\lambda/2} = \frac{\pi - \phi}{l}$$

$$l = (\pi - 0.4636)\lambda / 4\pi \\ = 0.213\lambda$$

2) 旋转  $0.24\lambda$  到  $z_{in}$

$$z_{in} = 0.42 - j0.25 \rightarrow \times 50 \\ \rightarrow 21 - j12.5\Omega$$



# Smith 圆图的应用

例 1 特性阻抗  $Z_0 = 50\Omega$ , 负载阻抗  $Z_L = 100 + j50\Omega$ , 求距负载  $0.24\lambda$  处输入阻抗。

解: 归一化负载阻抗  $z_L = 2 + j1$

1) 向电源方向旋转  $0.213\lambda$

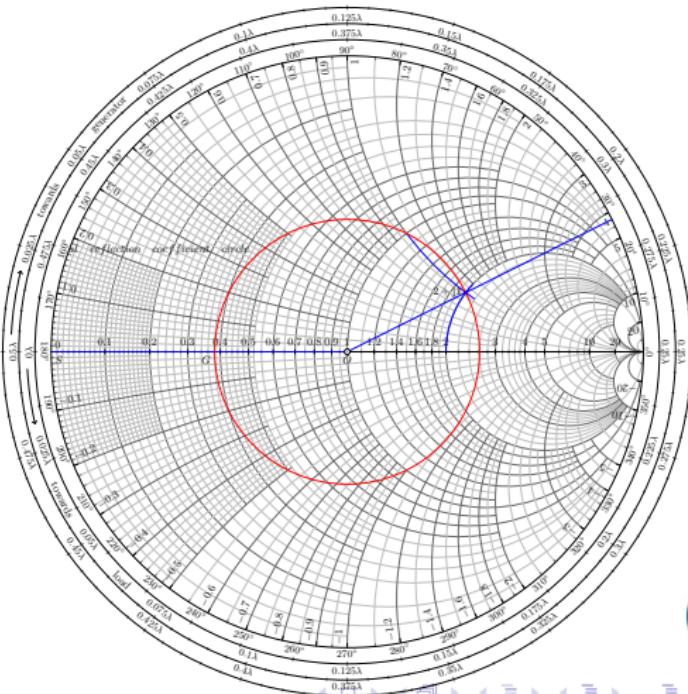
$$\phi = \arctan(1/2)$$

$$\frac{2\pi}{\lambda/2} = \frac{\pi - \phi}{l}$$

$$l = (\pi - 0.4636)\lambda / 4\pi \\ = 0.213\lambda$$

2) 旋转  $0.24\lambda$  到  $z_{in}$

$$z_{in} = 0.42 - j0.25 \rightarrow \times 50 \\ \rightarrow 21 - j12.5\Omega$$



# Smith 圆图的应用

例 1 特性阻抗  $Z_0 = 50\Omega$ , 负载阻抗  $Z_L = 100 + j50\Omega$ , 求距负载  $0.24\lambda$  处输入阻抗。

解: 归一化负载阻抗  $z_L = 2 + j1$

1) 向电源方向旋转  $0.213\lambda$

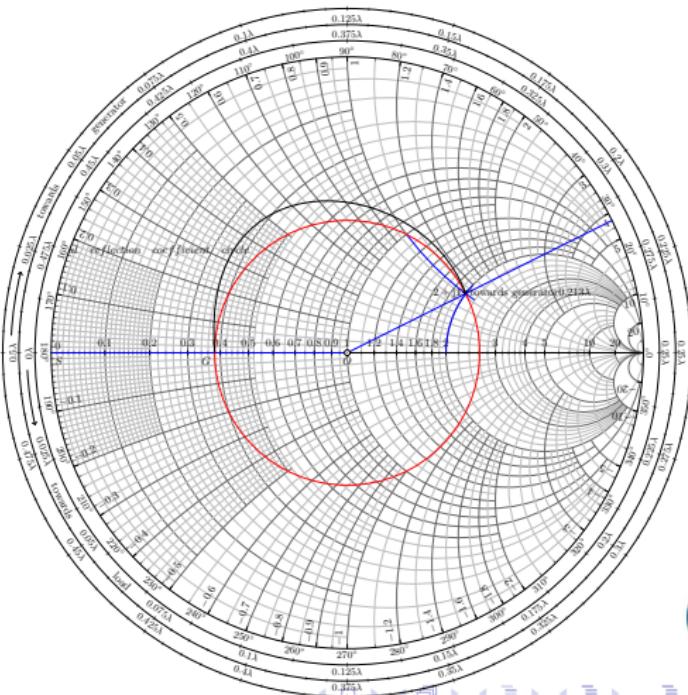
$$\phi = \arctan(1/2)$$

$$\frac{2\pi}{\lambda/2} = \frac{\pi - \phi}{l}$$

$$l = (\pi - 0.4636)\lambda / 4\pi \\ = 0.213\lambda$$

2) 旋转  $0.24\lambda$  到  $z_{in}$

$$z_{in} = 0.42 - j0.25 \rightarrow \times 50 \\ \rightarrow 21 - j12.5\Omega$$



# Smith 圆图的应用

例 1 特性阻抗  $Z_0 = 50\Omega$ , 负载阻抗  $Z_L = 100 + j50\Omega$ , 求距负载  $0.24\lambda$  处输入阻抗。

解: 归一化负载阻抗  $z_L = 2 + j1$

1) 向电源方向旋转  $0.213\lambda$

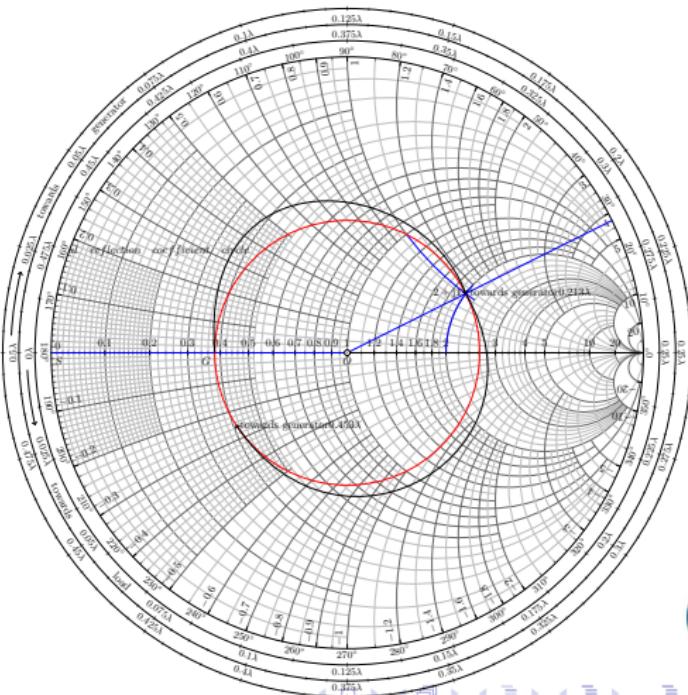
$$\phi = \arctan(1/2)$$

$$\frac{2\pi}{\lambda/2} = \frac{\pi - \phi}{l}$$

$$l = (\pi - 0.4636)\lambda / 4\pi \\ = 0.213\lambda$$

2) 旋转  $0.24\lambda$  到  $z_{in}$

$$z_{in} = 0.42 - j0.25 \rightarrow \times 50 \\ \rightarrow 21 - j12.5\Omega$$



# Smith 圆图的应用

例 1 特性阻抗  $Z_0 = 50\Omega$ , 负载阻抗  $Z_L = 100 + j50\Omega$ , 求距负载  $0.24\lambda$  处输入阻抗。

解: 归一化负载阻抗  $z_L = 2 + j1$

1) 向电源方向旋转  $0.213\lambda$

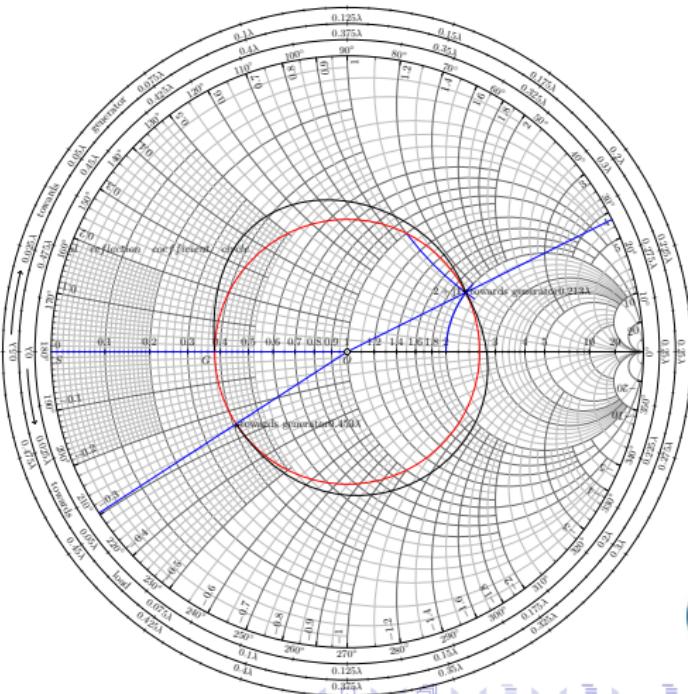
$$\phi = \arctan(1/2)$$

$$\frac{2\pi}{\lambda/2} = \frac{\pi - \phi}{l}$$

$$l = (\pi - 0.4636)\lambda / 4\pi \\ = 0.213\lambda$$

2) 旋转  $0.24\lambda$  到  $z_{in}$

$$z_{in} = 0.42 - j0.25 \rightarrow \times 50 \\ \rightarrow 21 - j12.5\Omega$$



# Smith 圆图的应用

例 1 特性阻抗  $Z_0 = 50\Omega$ , 负载阻抗  $Z_L = 100 + j50\Omega$ , 求距负载  $0.24\lambda$  处输入阻抗。

解: 归一化负载阻抗  $z_L = 2 + j1$

1) 向电源方向旋转  $0.213\lambda$

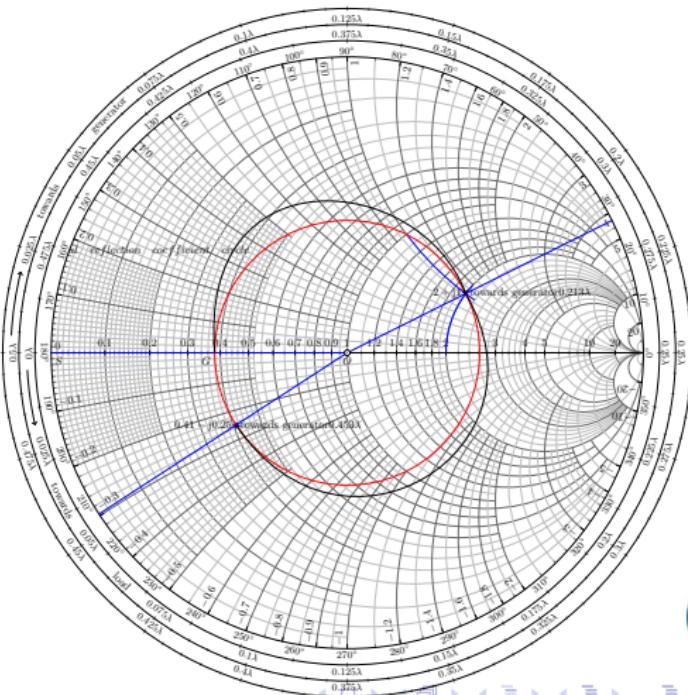
$$\phi = \arctan(1/2)$$

$$\frac{2\pi}{\lambda/2} = \frac{\pi - \phi}{l}$$

$$l = (\pi - 0.4636)\lambda / 4\pi \\ = 0.213\lambda$$

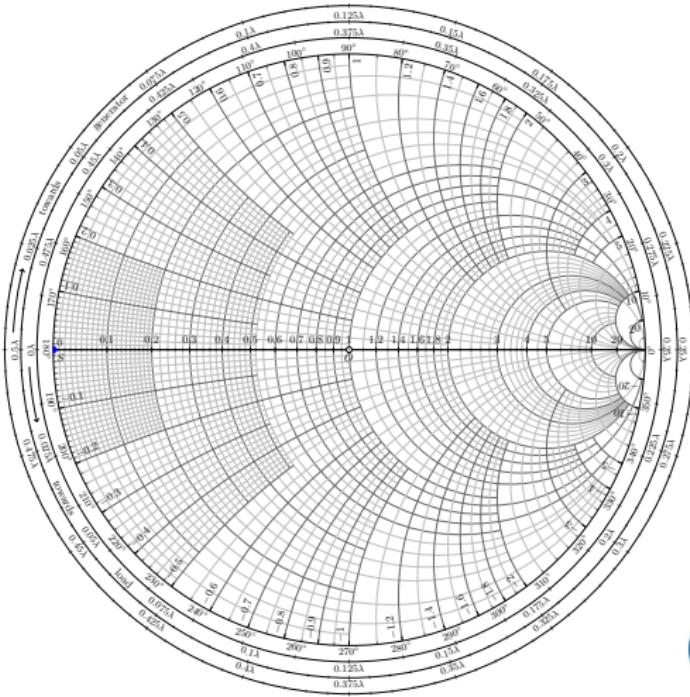
2) 旋转  $0.24\lambda$  到  $z_{in}$

$$z_{in} = 0.42 - j0.25 \rightarrow \times 50 \\ \rightarrow 21 - j12.5\Omega$$



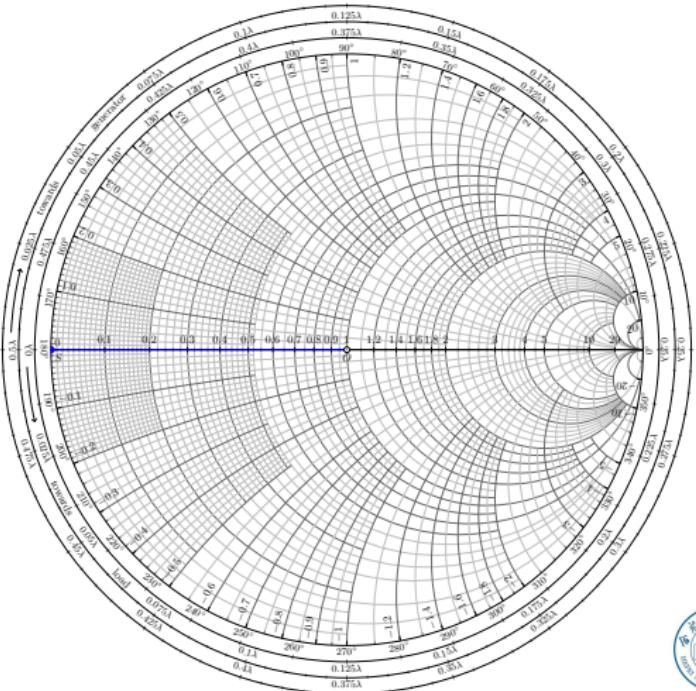
# Smith 圆图的应用

例 2 已知无耗传输线的特征阻抗为  $50\Omega$ , 长度为  $0.1\lambda$ , 终端短路, 求输入阻抗。



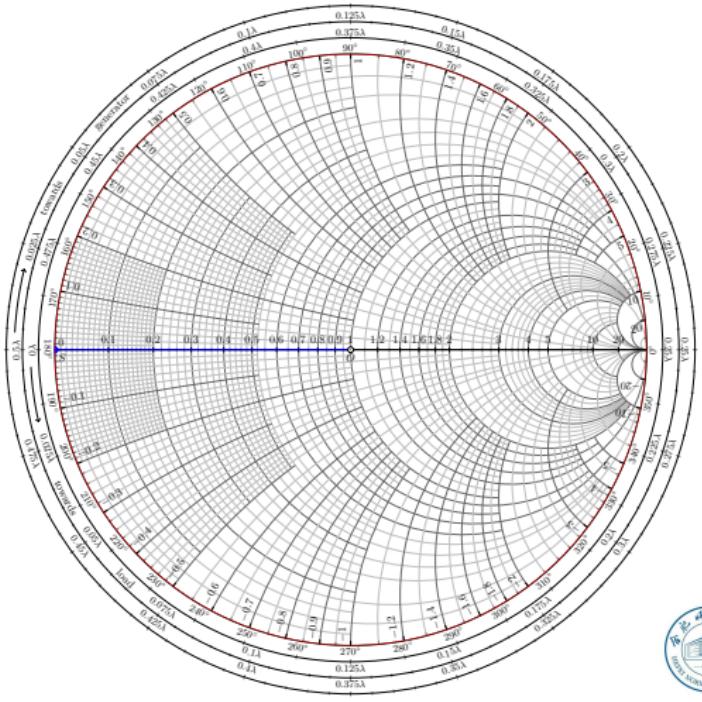
# Smith 圆图的应用

例 2 已知无耗传输线的特征阻抗为  $50\Omega$ , 长度为  $0.1\lambda$ , 终端短路, 求输入阻抗。



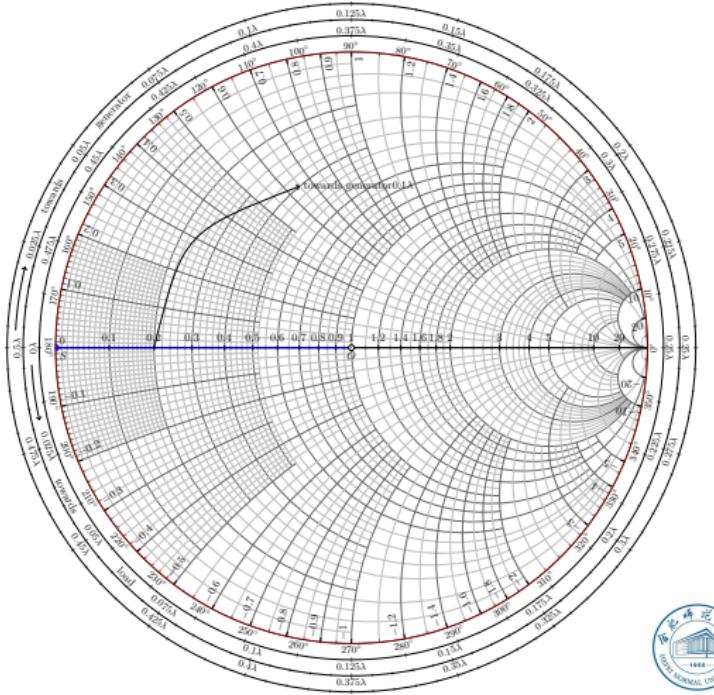
# Smith 圆图的应用

例 2 已知无耗传输线的特征阻抗为  $50\Omega$ , 长度为  $0.1\lambda$ , 终端短路, 求输入阻抗。



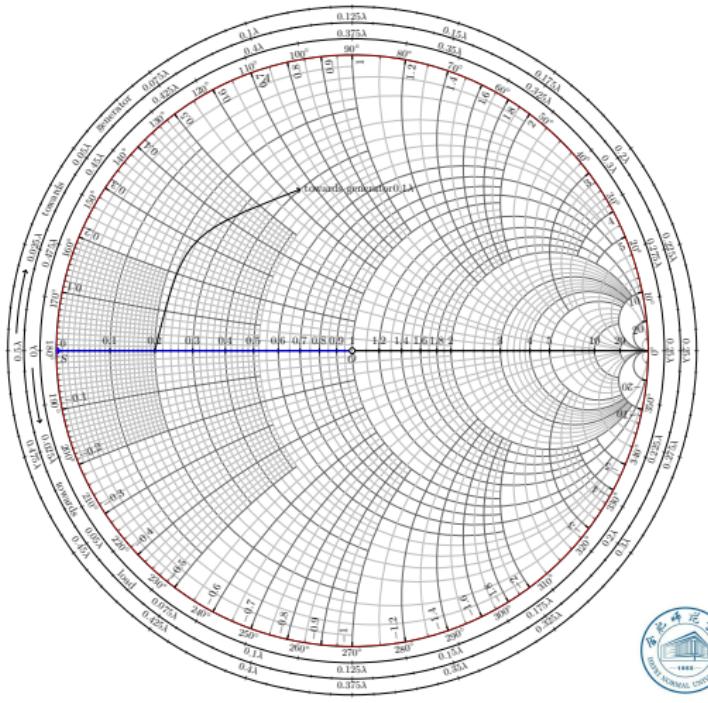
# Smith 圆图的应用

例 2 已知无耗传输线的特征阻抗为  $50\Omega$ , 长度为  $0.1\lambda$ , 终端短路, 求输入阻抗。



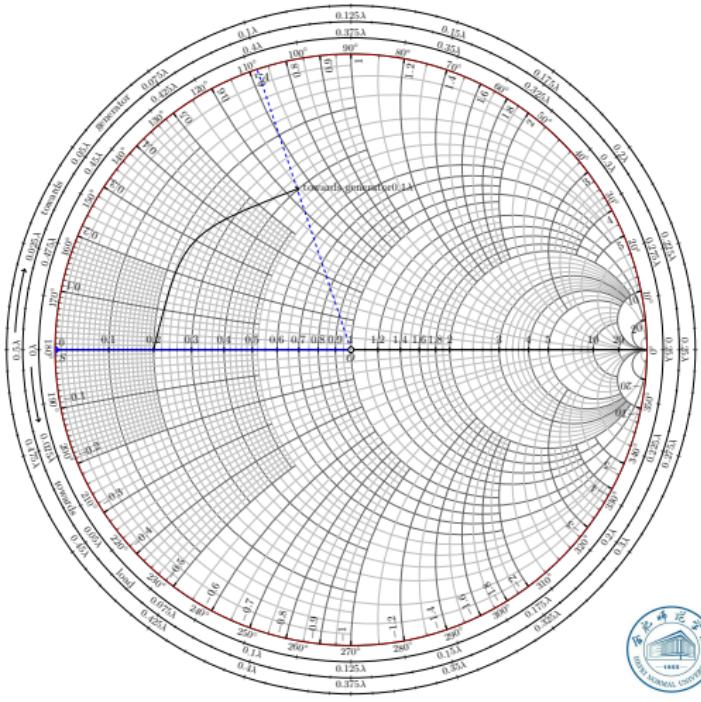
# Smith 圆图的应用

例 2 已知无耗传输线的特征阻抗为  $50\Omega$ , 长度为  $0.1\lambda$ , 终端短路, 求输入阻抗。



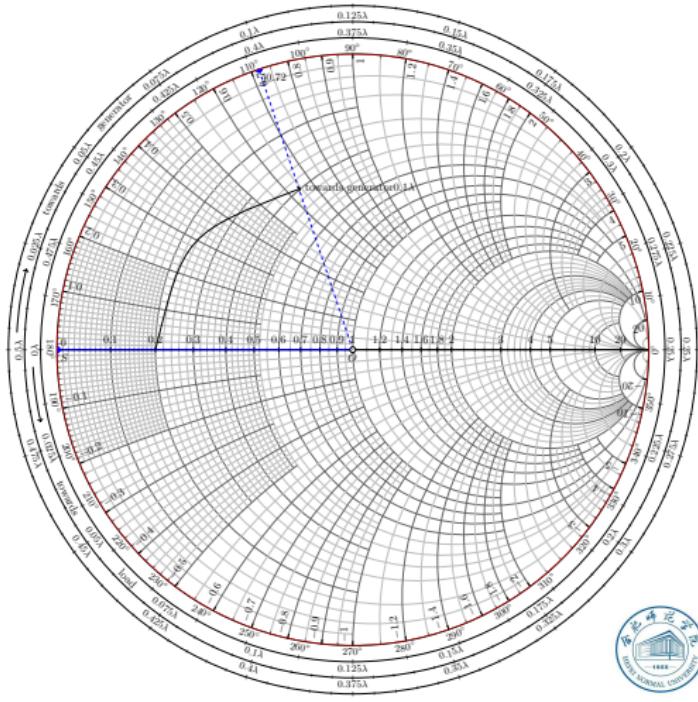
# Smith 圆图的应用

例 2 已知无耗传输线的特征阻抗为  $50\Omega$ , 长度为  $0.1\lambda$ , 终端短路, 求输入阻抗。



# Smith 圆图的应用

例 2 已知无耗传输线的特征阻抗为  $50\Omega$ , 长度为  $0.1\lambda$ , 终端短路, 求输入阻抗。



# ① 第4章 Smith 圆图与阻抗匹配

- Smith 圆图
- 阻抗匹配
- 支节匹配器
- $\lambda/4$  阻抗变换器
- 小反射理论
- 二项式（最大平坦特性）多节阻抗变换器
- 切比雪夫（等波纹特性）多节阻抗变换器
- 渐变传输线



# 阻抗匹配



# ① 第4章 Smith 圆图与阻抗匹配

- Smith 圆图
- 阻抗匹配
- **支节匹配器**
- $\lambda/4$  阻抗变换器
- 小反射理论
- 二项式（最大平坦特性）多节阻抗变换器
- 切比雪夫（等波纹特性）多节阻抗变换器
- 渐变传输线



# 支节匹配器



## ① 第4章 Smith 圆图与阻抗匹配

- Smith 圆图
- 阻抗匹配
- 支节匹配器
- **λ/4 阻抗变换器**
- 小反射理论
- 二项式（最大平坦特性）多节阻抗变换器
- 切比雪夫（等波纹特性）多节阻抗变换器
- 漸变传输线



# $\lambda/4$ 阻抗变换器



# ① 第4章 Smith 圆图与阻抗匹配

- Smith 圆图
- 阻抗匹配
- 支节匹配器
- $\lambda/4$  阻抗变换器
- **小反射理论**
- 二项式（最大平坦特性）多节阻抗变换器
- 切比雪夫（等波纹特性）多节阻抗变换器
- 渐变传输线



# 小反射理论



## ① 第4章 Smith 圆图与阻抗匹配

- Smith 圆图
- 阻抗匹配
- 支节匹配器
- $\lambda/4$  阻抗变换器
- 小反射理论
- 二项式（最大平坦特性）多节阻抗变换器
- 切比雪夫（等波纹特性）多节阻抗变换器
- 渐变传输线



# 二项式（最大平坦特性）多节阻抗变换器



## ① 第4章 Smith 圆图与阻抗匹配

- Smith 圆图
- 阻抗匹配
- 支节匹配器
- $\lambda/4$  阻抗变换器
- 小反射理论
- 二项式（最大平坦特性）多节阻抗变换器
- 切比雪夫（等波纹特性）多节阻抗变换器
- 渐变传输线



# 切比雪夫（等波纹特性）多节阻抗变换器



# ① 第4章 Smith 圆图与阻抗匹配

- Smith 圆图
- 阻抗匹配
- 支节匹配器
- $\lambda/4$  阻抗变换器
- 小反射理论
- 二项式（最大平坦特性）多节阻抗变换器
- 切比雪夫（等波纹特性）多节阻抗变换器
- 漸变传输线



# 渐变传输线

