

第 1 章 微波传播线理论

§1.1 传播线的基本概念

§1.2 长线理论

§1.3 传播线的特征参量和状态参量

§1.4 无耗传播线的工作状态

§1.5 圆图

§1.6 阻抗匹配

第 1 章 微波传播线理论

§1.5 阻抗圆图

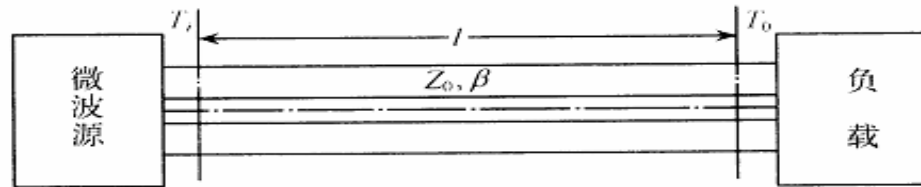
1. 5. 1 阻抗圆图

1. 5. 2 导纳圆图

1. 5. 3 圆图的应用举例

1. 5. 1 阻抗圆图 (史密斯圆图, Smith Chart)

归一化阻抗: 阻抗与其所接传播线特征阻抗之比。

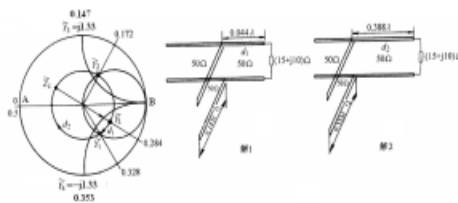


$x(z)$: 归一化电阻

$Z_{in} = \frac{Z_{01}}{R_L} = Z_0$: 归一化电抗

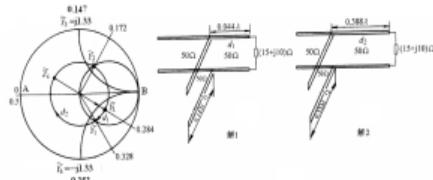
$$\Gamma = \frac{Z - Z_0}{Z + Z_0} = \frac{R - 1 + jX}{R + 1 + jX}$$

归一化阻抗与反射系数之间的关系



$$G_1 = Y_0$$

$$B_1 + Y_0 \tan(\beta l) = 0$$




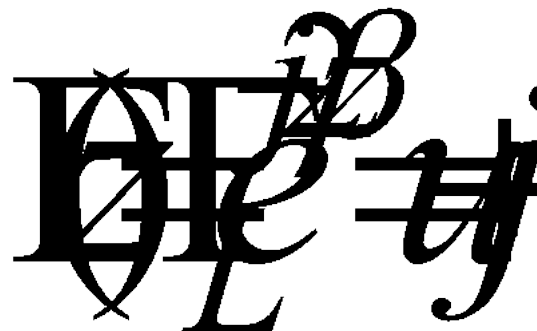
利用上式能够制成反应归一化阻抗与反射系数关系的图。

(1) 建立坐标系:反射系数的实部 u 为横坐标, 虚部 v 为纵坐标。

(2) 把 r, x 与反射系数 (u, v) 的关系曲线画在该坐标系上。

1、建立反射系数复平面

反射系数复平面: 横坐标为反射系数的实部 u , 纵坐标为反射系数的虚部 v , 简称  平面。



(1) 等反射系数相位的曲线是从坐标原点发出的径向线，该径向线与横轴的夹角就是反射系数的相角。

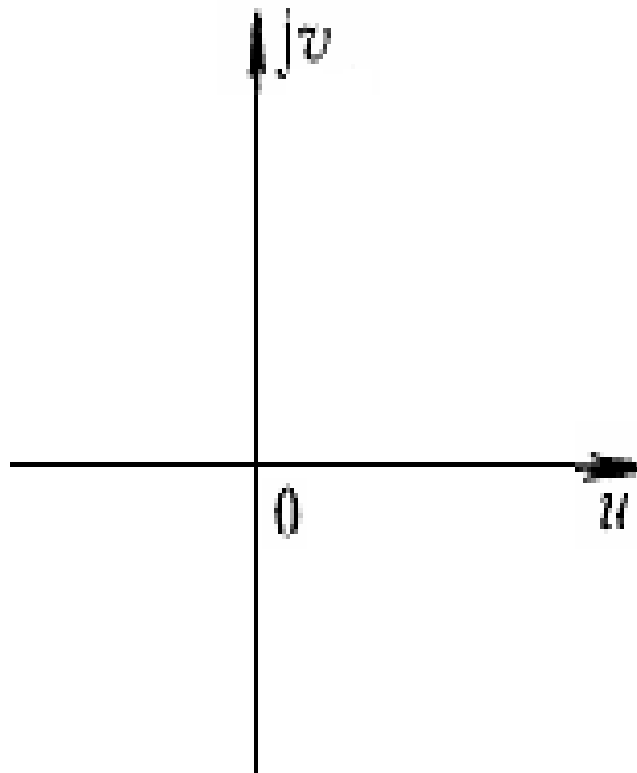
(2) 等反射系数模的曲线是圆。

$$\begin{aligned}\Gamma + jx &= \frac{1 + (u + jv)}{1 - (u + jv)} \\ &= \frac{1 - (u^2 + v^2)}{(1 - u)^2 + v^2} + j \frac{2v}{(1 - u)^2 + v^2}\end{aligned}$$

全部点均落在单位圆内。

$$\Gamma = |\Gamma|$$

(3) 当沿着均匀无耗传播线移动时，反射系数的模保持不变，相应到平面上就沿着平面上的某一圆旋转。



Γ

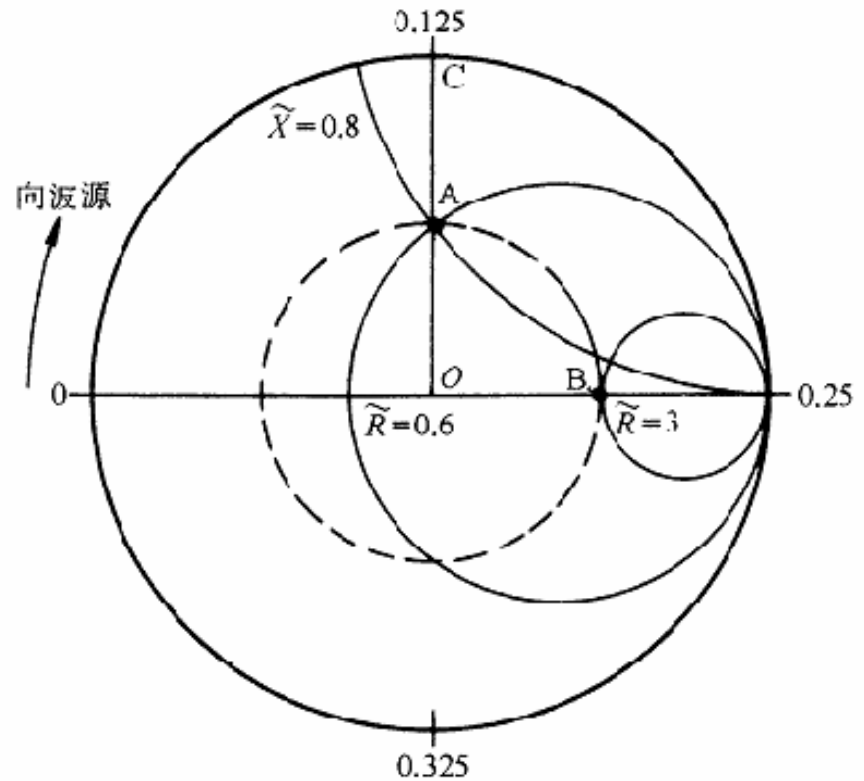
(a)若向信号源方向移动 (z 增大), 反射系数相位滞后, 相应在上图中沿某圆顺时针方向旋转;

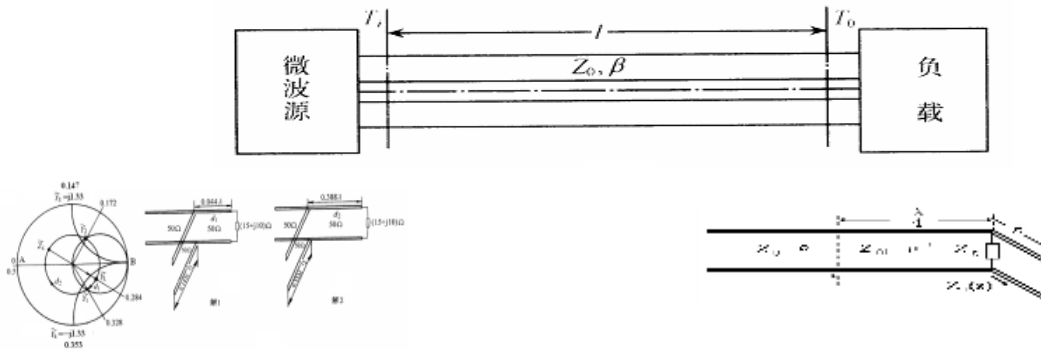
(b)若向负载方向移动 (z 减小), 反射系数的相位超前, 相应在下图中沿某圆逆时针方向旋转;

(c)在圆图上还标有旋转时相应的波长数。

(d)当 z 变化二分之一波长时, 反射系数的相位变化360度, 表明在传播线上每移动二分之一波长, 相当于沿等圆旋转一圈。

称为传播线的二分之一波长反复性。





2. 复平面上的归一化阻抗圆

$$Z_{\max} = \rho Z_0$$

$$r=0, x=0$$

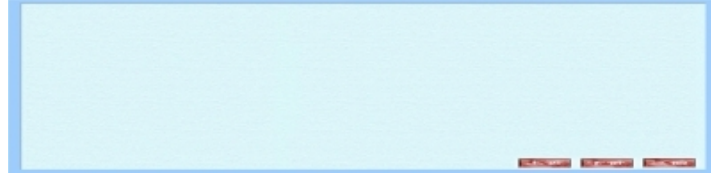
$$|\Gamma|=1, \rho=\infty, \varphi=\pi$$

$$\lambda/4$$

$\lambda/4$

$$r=0, x=0$$

$$|\Gamma|=1, \rho=-\infty, \varphi=\pi$$



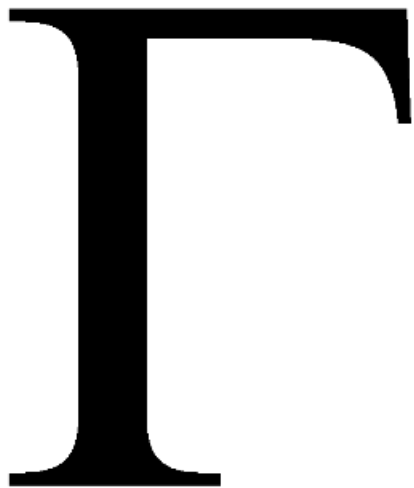
$$r=0, x=0 \quad \left(\frac{r}{r+1}, 0 \right)$$

(1) r 为常数的曲线是圆,其圆心在 $\frac{1}{r+1}$, 半径为 $\frac{1}{2} \left(\frac{1}{r} + 1 \right)$, 称为**等电阻圆**;

(2) x 为常数的曲线也是圆,其圆心在(), 半径为 $\frac{1}{2} \left| \frac{1}{x} + 1 \right|$, 称为**等电抗圆**。



- (1) r 为常数的曲线是圆,其圆心在 $\frac{1}{r+1}$, 半径为 $1, \frac{1}{x}$;
- (2) x 为常数的曲线也是圆,其圆心在 $(\frac{1}{x})$, 半径为 $\frac{1}{x}$ 。



a)等电阻圆

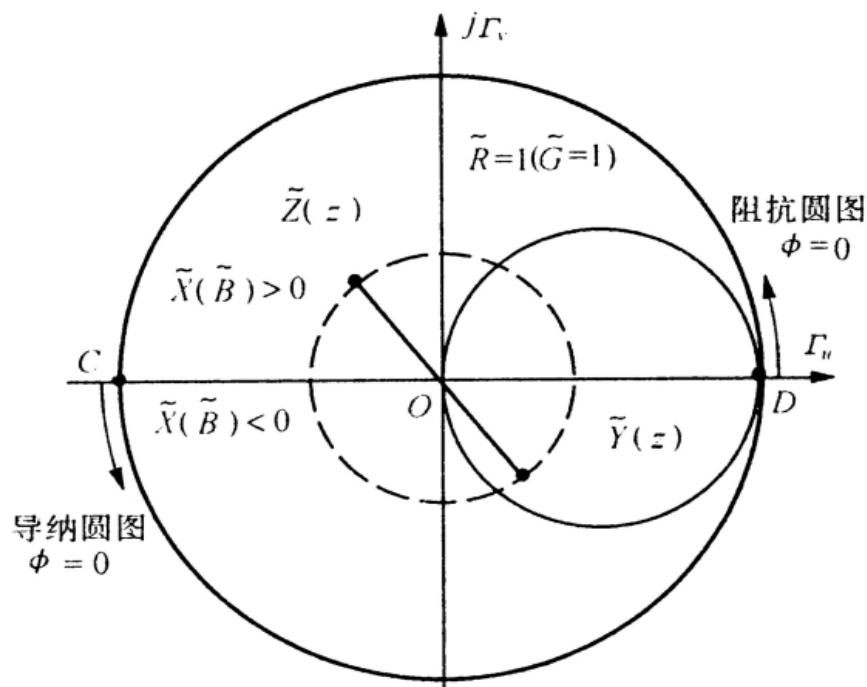
b)等电抗圆

平面单位圆内的等电阻圆是完整的圆, 等电抗圆只是等 x 圆的一部分曲线。

3. 阻抗圆图

构成：将等归一化电阻圆和等归一化电抗圆叠加到平面上，就构成了阻抗圆图。

阻抗圆图上的任一点都是四种曲线的交点，在圆图上每一点都能够同步读出相应于传播线上某点的反射系数（模、相角）和归一化阻抗（归一化电阻、归一化电抗）。



$$\rho' = \sqrt{\frac{R_L}{Z_0}} \quad (R_L > Z_0)$$

$$\rho'' = \sqrt{\frac{Z_0}{R_L}} \quad (R_L < Z_0)$$

特点:

1) 圆图上有三个特殊点:

短路点: 坐标 $(-1, 0)$,

此处

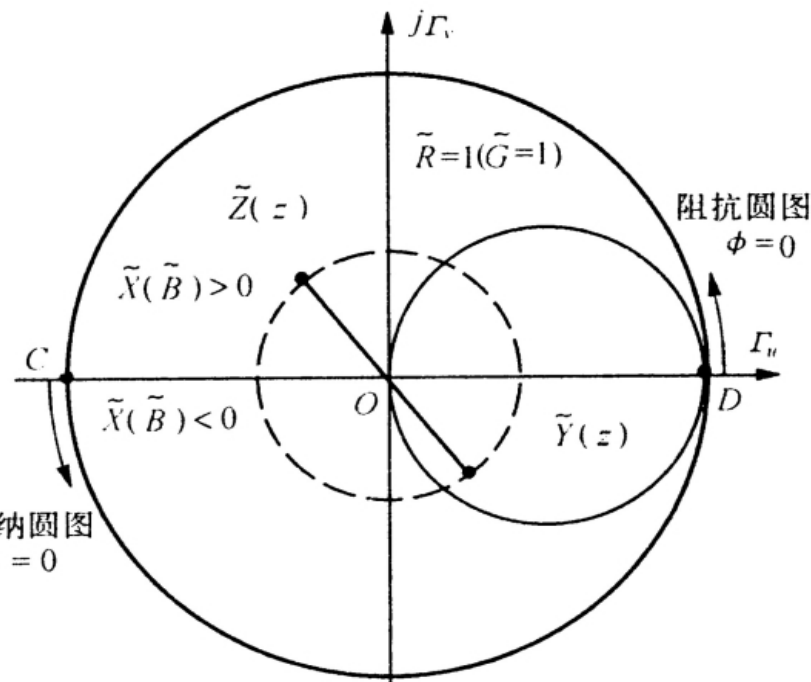
$$\Gamma = \frac{Z - Z_0}{Z + Z_0} = \frac{j\omega L - j\omega L}{j\omega L + j\omega L} = 0$$

开路点: 坐标为 $(1, 0)$, 此处

$$d_{\min} = 0.466 \lambda$$

匹配点: 坐标为 $(0, 0)$, 此处

$$\Gamma = (\bar{Z} - 1) / (\bar{Z} + 1)$$



2) 圆图上有三条特殊线:

圆图上的实轴为 $x=0$ 的轨迹, 为纯电阻线。

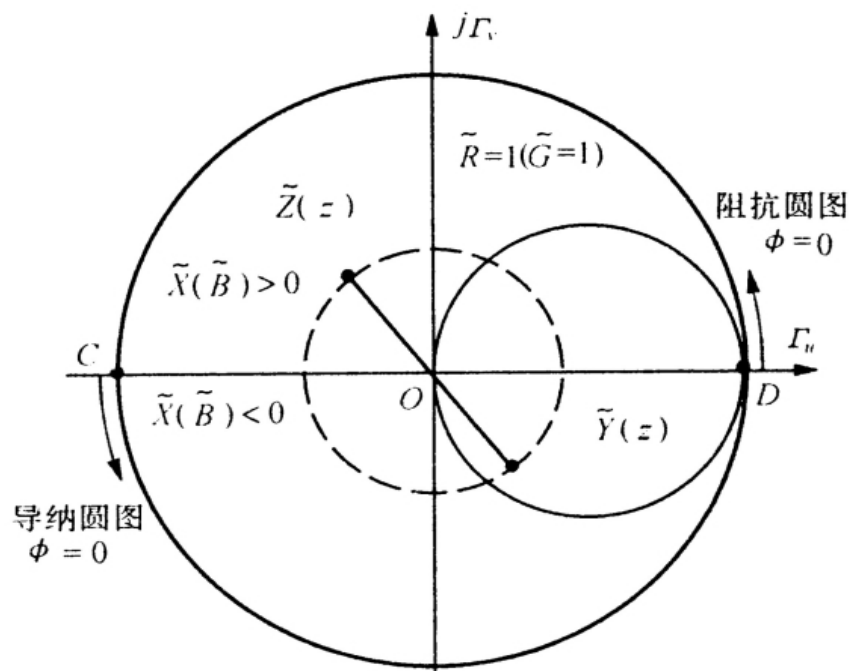
Γ

所以 $\frac{1+\Gamma}{1-\Gamma}$ 也是实数。

当位于 $\frac{1+\Gamma}{1-\Gamma}$ 平面的正实轴上时, $\Gamma = -|\Gamma|$

归一化阻抗为 $\bar{Z} = r = \frac{1-|\Gamma|}{1+|\Gamma|} = K < 1$

(a) 正实半轴 ($r > 1$) 为电压波腹点的轨迹, 线上 r 的读数即为驻波比的读数;

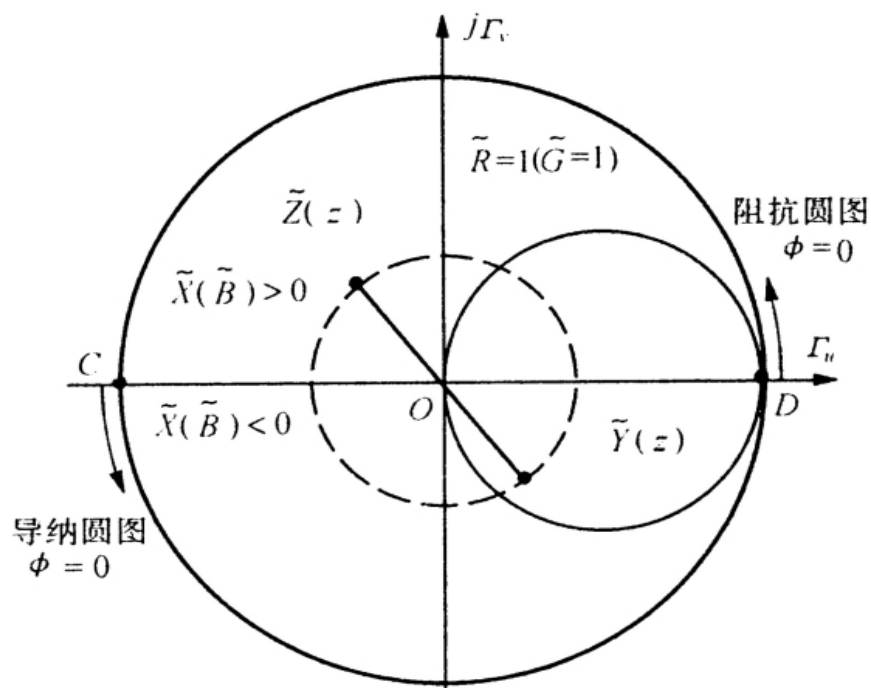


2) 圆图上有三条特殊线:

当位于 $\frac{1}{\Gamma}$ 平面的负
实轴上时,

归一化阻抗为

$$|\Gamma|$$

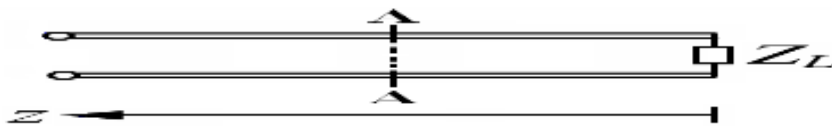


(b) 负实半轴 ($r < 1$) 为电压波节点的轨迹, 线上 r 的读数即为行波系数 K 的读数

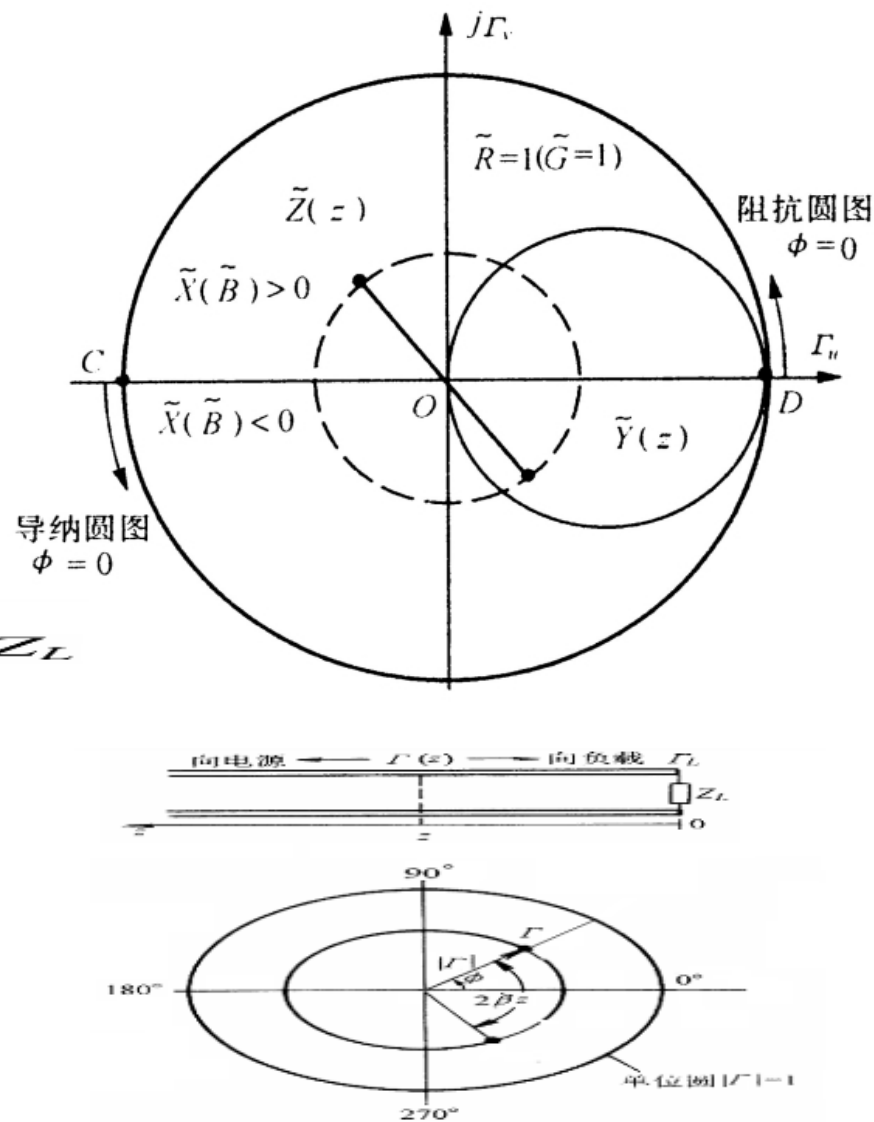
(c) 最外面的单位圆为 $r = 0$ 的纯电抗轨迹, 即为全反射系数圆的轨迹。

3) 圆图上有两个特殊面：
 实轴以上的上半平面
 $x > 0$ ，是感性阻抗的轨迹；
 实轴下列的下半平面 $x < 0$ ，
 是容性阻抗的轨迹。

4) 圆图上有两个旋转方向：



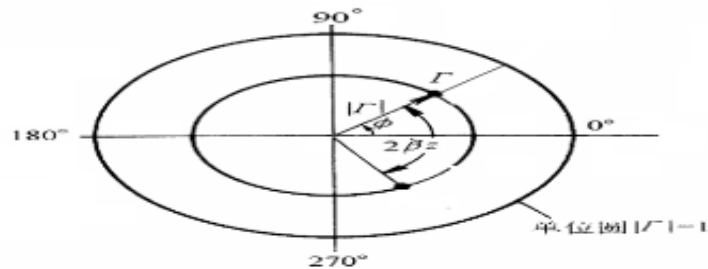
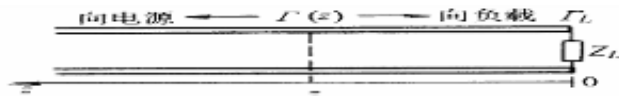
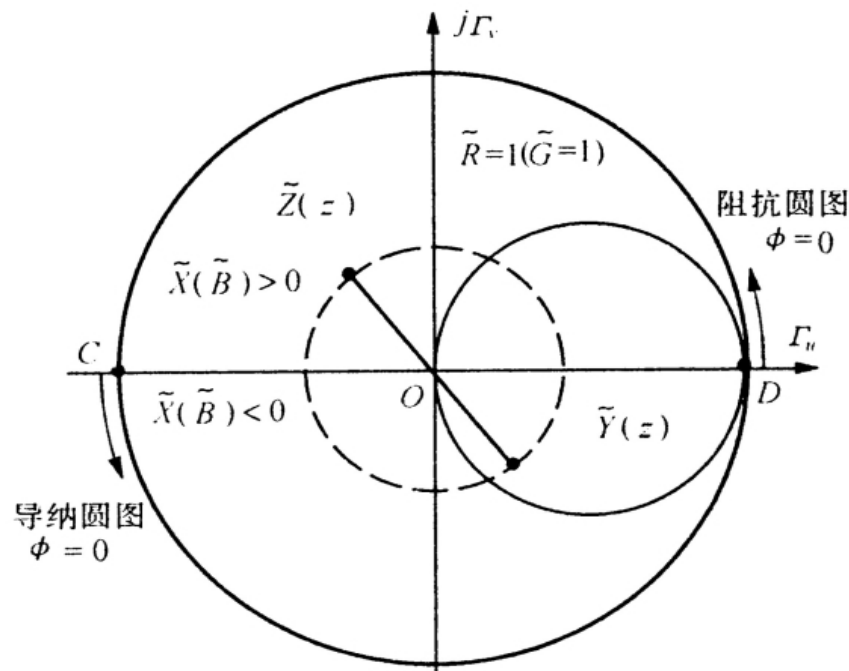
若在传播线上从A点
 向负载方向移动时，则在
 圆图上由A点沿等反射系
 数圆逆时针方向旋转；





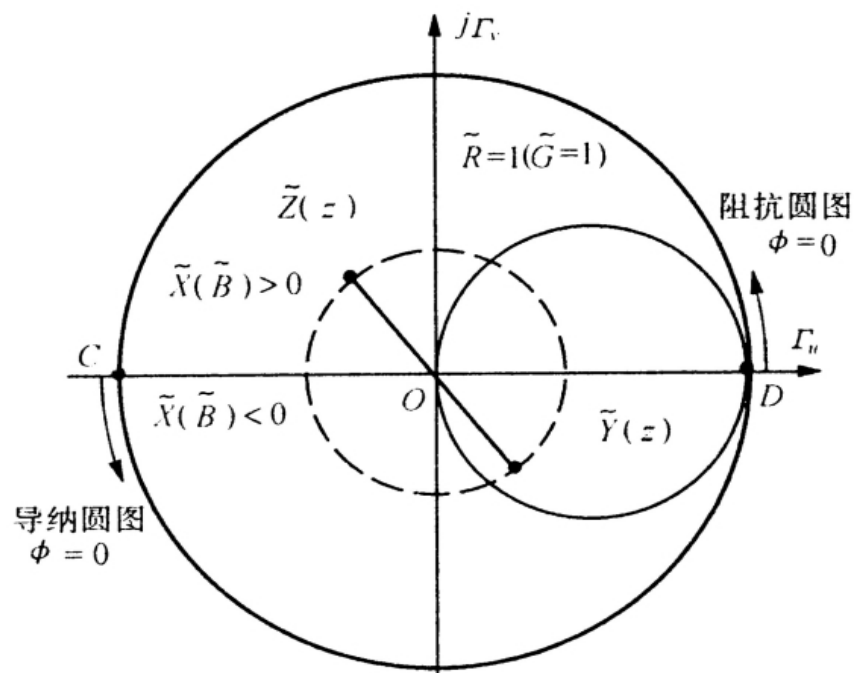
若在传播线上从A点向负载方向移动时，则在圆图上由A点沿等反射系数圆逆时针方向旋转；

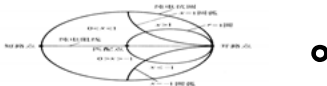
若在传播线上从A点向波源方向移动时，则在圆图上由A点沿等反射系数圆顺时针旋转。



5)数值的标注:

$|\Gamma|$ 的标注: 一般圆图上并未标注反射系数的模, 匹配点的 $|\Gamma| = 0$, 纯电抗圆的 $|\Gamma| = 1$, 中间的 $|\Gamma|$ 值是等分的, 可用尺子测量得到 $|\Gamma|$ 的详细数值;



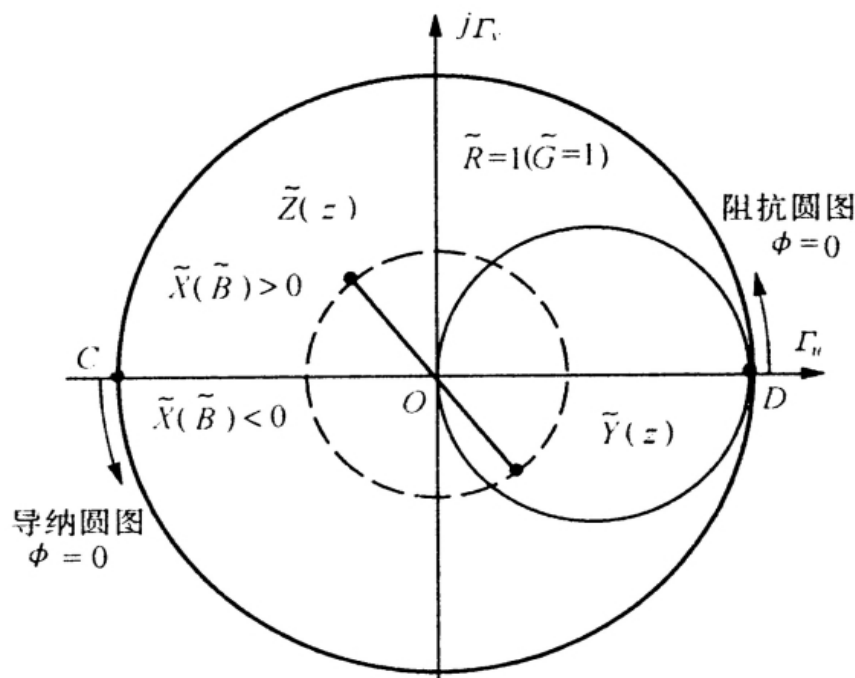
$\frac{\pi}{\alpha}$ 相位的标注: 在 $|\Gamma|=1$ 的大圆上标注了相对波长的数值和相位的数值。因为 $\frac{\pi}{\alpha}$ 的周期为半波长, 所以最大的相位波长数为 0.5, 相位范围为 。

r值的标注: r值标注在纯电阻线上, 即 $\Gamma = \frac{OA}{\alpha}$ 平面的实轴上。

从左至右r的变化范围为  。

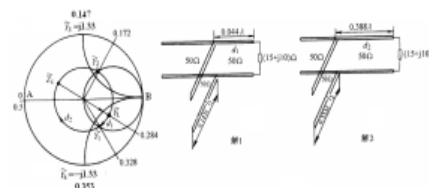
x值的标注: x值标注在 $\Gamma = 1$ 大圆上。

6) 圆图上的A点的读数即为该位置的归一化阻抗 $(r+jx)$ 值。乘以传播线的特征阻抗可得实际值。



1. 5. 2 导纳圆图

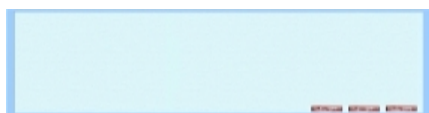
归一化导纳：导纳与特征导纳之比



$$0 \sim \infty$$

$g(z)$: 归一化电导, $b(z)$: 归一化电纳。

电压反射系数与电流反射系数满足下列关系



$$l_1' = (0.25 + 0.147)\lambda = 0.397\lambda$$

$$l_2' = (0.353 - 0.25)\lambda = 0.103\lambda$$

两种关系类似, 故导纳圆图与阻抗圆图是一样的, 只是阻抗圆图中的参数是, 导纳圆图中(相应的是), 故阻抗圆图可看成导纳圆图使用。

注意事项:

1) 看成为阻抗圆图时, 相角 $\varphi = 0$ 的反射系数位于线段 \overline{OC} 上, 相角增大, 反射系数矢量沿逆时针方向旋转;

看成为导纳圆图时, 相角 $\varphi = 0$ 的反射系数位于线段 \overline{OC} 上, 相角增大, 反射系数矢量仍沿逆时针方向旋转;

2) 作为阻抗圆图使用时, D点为开路点, C点为短路点, 线段 \overline{Z} 为电压波腹点归一化阻抗的轨迹, 线段 \overline{OD} 为电压波节点归一化阻抗轨迹
作为导纳圆图使用时相反。

Γ, Z, r, x

3) \bar{Y} 与 \bar{Z} 在同一反射系数圆上, 相应位置差180度。

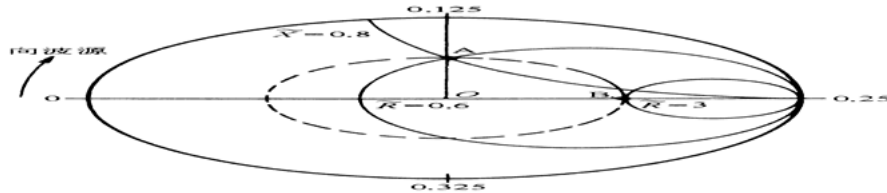
1. 5. 3 圆图的应用举例

例1.5-1 已知长线特征阻抗接负载阻抗 $Z_L = (180 + j240)\Omega$

，求终端电压反射系数。

$$\frac{Z_L}{Z_0} = \frac{180 + j240}{300}$$

解：1) 计算归一化负载阻抗值



在阻抗圆图相应A点。

2) 拟定终端反射系数的模

经过A点的等反射系数圆与右半段纯电阻线交于B点。B点归一化电阻 ($r=3$) 等于驻波比值，所以反射系数模等于

$$\frac{OA}{OL}$$

$$\Gamma_L = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} = \frac{180 + j240 - 300}{180 + j240 + 300} = \frac{-120 + j240}{480 + j240} = \frac{-1 + j2}{4 + j2}$$

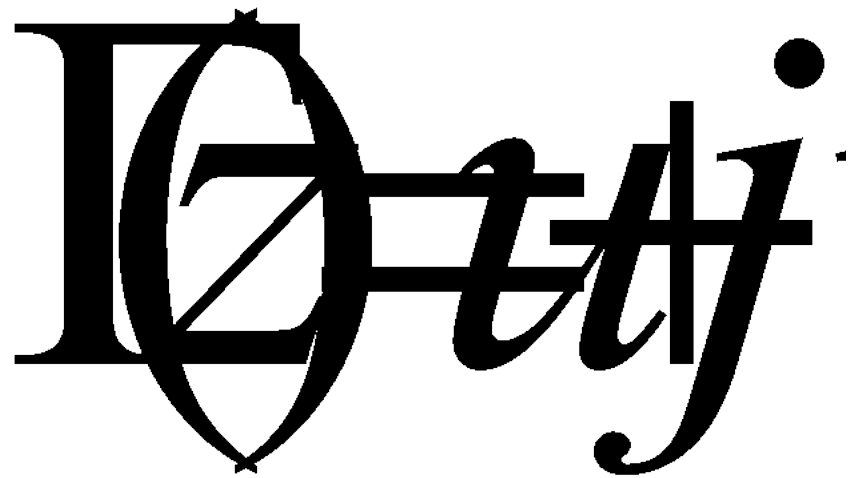
或用**测量法**，即测量OA和OC的长度，则

$$Z_{0\Gamma} = \sqrt{\frac{Z_0}{Z_L}}$$

3) 拟定终端反射系数的相角

延长射线 Z_0 ，即可读得 $\varphi_L = 90^\circ$ 。故终端电压反射系数为

$$\Gamma_L = 0.5e^{j90^\circ}$$



例1.5-2 用特征阻抗为 50Ω 的同轴测量线测得驻波比

$\Rightarrow \Gamma(z) = \frac{\bar{Z}(z)-1}{\bar{Z}(z)+1}$ (书上有错!), 第一种电压波节点距终端 10mm , 相邻两波节点之间的距离为 50mm 。求终端负载阻抗。

解: 1) 由驻波比 $\Rightarrow d_{\text{max}} = \frac{\lambda}{2\pi} \arctan\left(\frac{1}{\sqrt{\rho}}\right)$ 知图中A点相应于电压波腹点, B点相应于电压波节点。

2) 离终端负载近来的波节点距离终端的波长数为

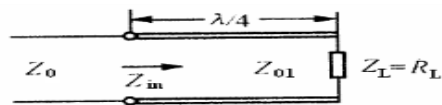
$$\bar{Z}_L = 0.76 - j0.4$$

~~z/2A(0.5)001~~

例1.5-2用特征阻抗为 50Ω 的同轴测量线测得驻波比

， 压波节点距终端 10mm ，相邻两波节点之间的距离为 50mm 。求终端负载阻抗。

3) 在 $\rho = 1.66$ 的反射系数圆上从B点向负载方向（逆时针方向）转过波长数 0.1 至C点，C点相应的归一化阻抗



负载阻抗 $Y = Y_0 + jB$

$$\bar{Z}(z) = \frac{Z(z)}{Z_0} = z(z) = r(z) + jx(z)$$

§1.6 阻抗匹配

1.6.1 阻抗匹配的概念

阻抗匹配包括两方面的含义：

微波源的匹配：处理的问题是怎样从微波源中取出最大功率。要求信号源内阻与传播线输入阻抗实现**共轭匹配**。


负载的匹配：处理的问题是怎样使负载吸收全部入射功率。要求负载与传播线实现无反射匹配。

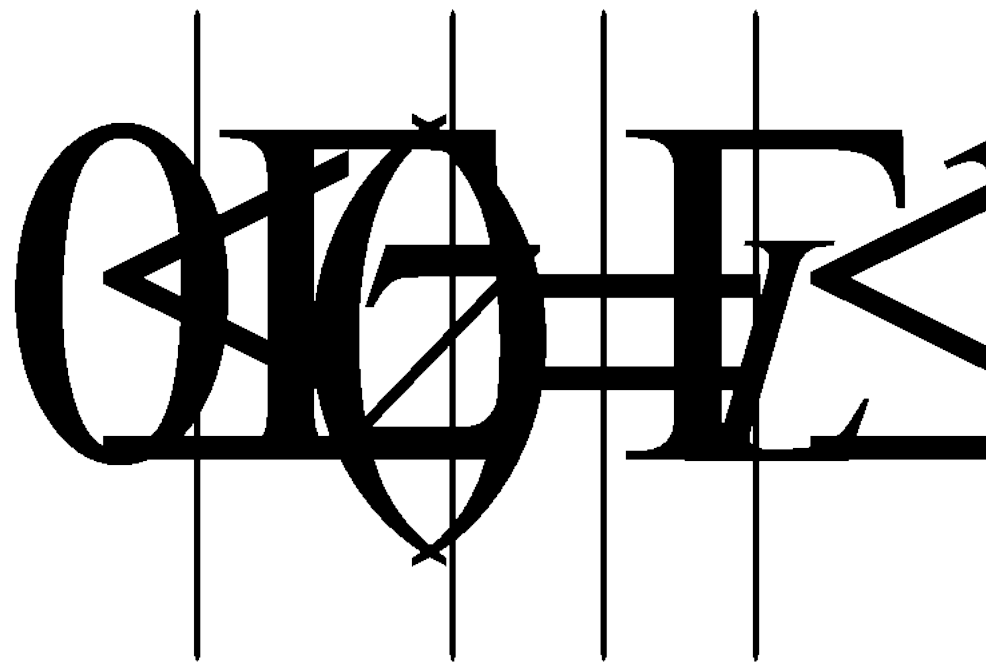
$$r \quad (\quad z \quad)$$

微波源的匹配：处理的问题是怎样从微波源中取出最大功率。要求信号源内阻与传播线输入阻抗实现**共轭匹配**。

1. 共轭匹配(Conjugate Matching)

从图 (c) 集中参数等

效电路求出负载吸收的功率，再应用极值定理能够证明，当  时，微波源输出到负载的有功功率最大。



信号源输出最大功率条件：
传播线的输入阻抗与信号源的内阻抗互为共轭复数。

满足这一条件时就称实现了共轭匹配。

2. 匹配微波源

匹配微波源：内阻抗等于传播线特征阻抗的微波源，简称“匹配源”。

优点：匹配源不再二次反射来自负载的反射波，匹配源的输出波不随负载而变，可降低测量误差，可防止负载变化对信号源振荡频率的牵引和对输出功率不稳定的影响等。

构成匹配源的措施：

- 1、在信号源的输出端接一只互易的去耦衰减器。
- 2、接一只非互易的隔离器。



3. 负载匹配(Load Matching)

终端接匹配负载的传播线上无反射，为行波状态。

优点：

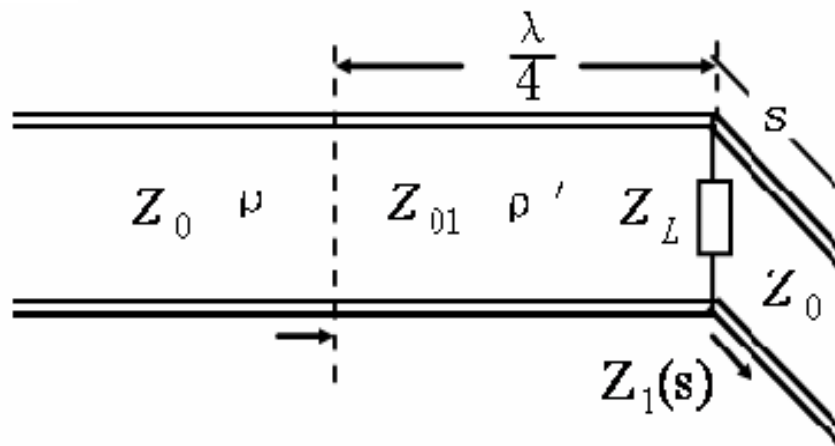
- 1) 匹配负载能够吸收最大功率；
- 2) 传播线的传播效率最高；
- 3) 行波状态时传播线功率容量最大；
- 4) 行波状态时微波源的工作较稳定。

$$\rho = \frac{Z_{01}}{Z_0 k} = \frac{1}{\sqrt{k}} = \sqrt{\rho}$$

1. 6. 2 负载阻抗匹配的措施

阻抗匹配措施：

在传播线与负载之间加入一阻抗匹配网络。



以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/885310313012011330>