

第1章 均匀传输线理论

1.1 均匀传输线方程及其解

1.2 传输线阻抗与状态参量

1.3 无耗传输线的状态分析

1.4 传输线的传输功率、效率与损耗

1.5 阻抗匹配

1.6 史密斯原图及其应用

1.7 同轴线的特性阻抗

1.6 Smith 圆图及其应用

三、Smith圆图的基本功能

◆5、进行阻抗匹配

◆并联单枝节匹配

⊕(1)匹配对象：任意负载 $\bar{z}_l = r_l + jx_l$ 其中 $r_l \neq 0$

⊕(2)调节参数：枝节距负载距离 d 和枝节长度 l

⊕(3)分析枝节匹配的方法均采用倒推法——由结果推向原因

⊕(4)由于短路枝节并联，全部采用导纳更为方便



1.6 Smith 圆图及其应用

三、Smith圆图的基本功能

◆5、进行阻抗匹配

◆并联单枝节匹配

⊕(5)分析步骤:

■①结果要求: $\bar{Y}_{in} = 1.0 + j0$

■②并联网络关系有: $\bar{Y}_{in} = \bar{Y}_{in}'' + \bar{Y}_{in}'$
$$\begin{cases} \bar{Y}_{in}' = 1 + j\bar{b} \\ \bar{Y}_{in}'' = -jb \end{cases}$$

■③利用 $\bar{Y}_l = g_l + jb_l$ 和系统的 $|\Pi|$ 不变性, 沿等 $|\Pi|$ 圆转到 $\bar{Y}_{in} = 1 + j\bar{b}$
专门把 $\bar{g} = 1.0$ 的圆称为匹配圆

■④确定短路枝节的位置和长度

■⑤单枝节匹配通常有两组解

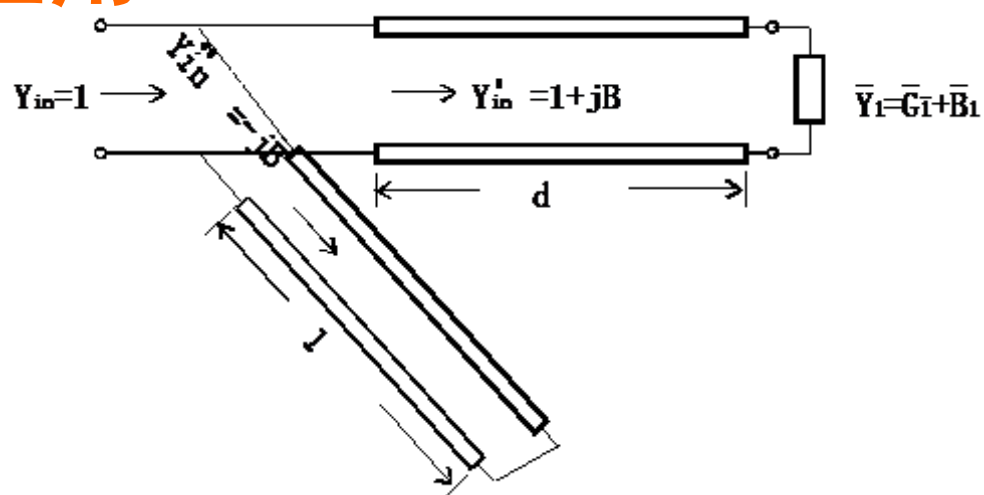


图 单枝节匹配

1.6 Smith 圆图及其应用

三、Smith圆图的基本功能

◆5、进行阻抗匹配

◆并联单枝节匹配

[例1-8] 设负载阻抗为 $Z_L=100+j50\Omega$ 接入特性阻抗为 $Z_0=50\Omega$ 的传输线上，如图1-24所示，要用支节调配法实现负载与传输线匹配，试用**Smith圆图**求支节的长度 l 及离负载的距离 d 。

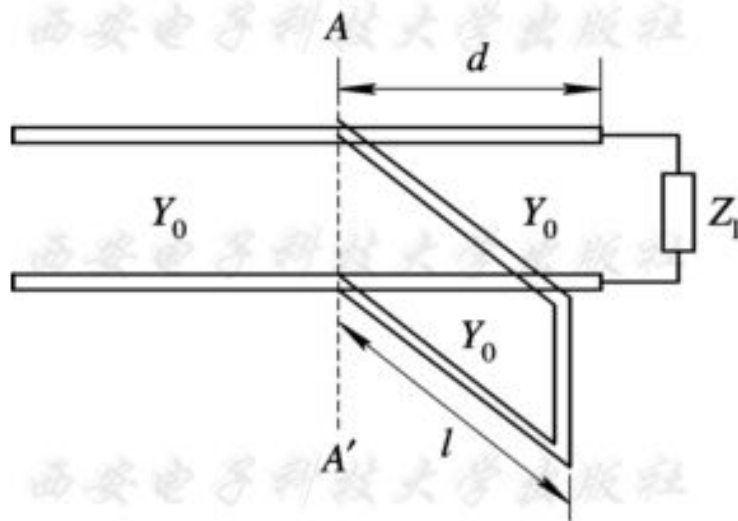


图1-24 Smith圆图示例三

1.6 Smith 圆图及其应用

三、Smith圆图的基本功能

◆5、进行阻抗匹配

◆并联单枝节匹配

◆解：

⊕①负载归一化 $\bar{z}_l = 2 + j1$

⊕②采用导纳计算 $\bar{y}_l = 0.4 - j0.2$ (对应0.463)

⊕③将导纳向电源(顺时针)旋转，与匹配圆($g=1$)相交两点

$$\bar{y}_A = 1 + j1 \quad (\text{对应} 0.159)$$

$$\bar{y}_B = 1 - j1 \quad (\text{对应} 0.338)$$

⊕④求出枝节位置
$$\begin{cases} d = (0.5 - 0.463)\lambda + 0.159\lambda = 0.196\lambda \\ d' = (0.5 - 0.463)\lambda + 0.338\lambda = 0.375\lambda \end{cases}$$

⊕⑤短路枝节长度
$$\begin{cases} l = 0.125\lambda + 0.25\lambda = 0.375\lambda \\ l' = 0.375\lambda - 0.25\lambda = 0.125\lambda \end{cases}$$

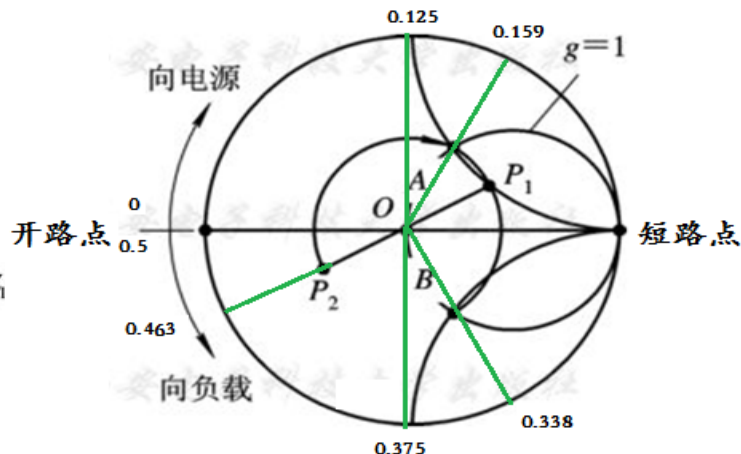
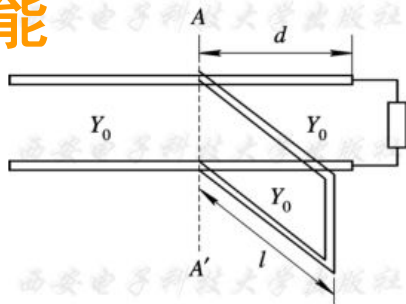


图1-24 Smith圆图示例三

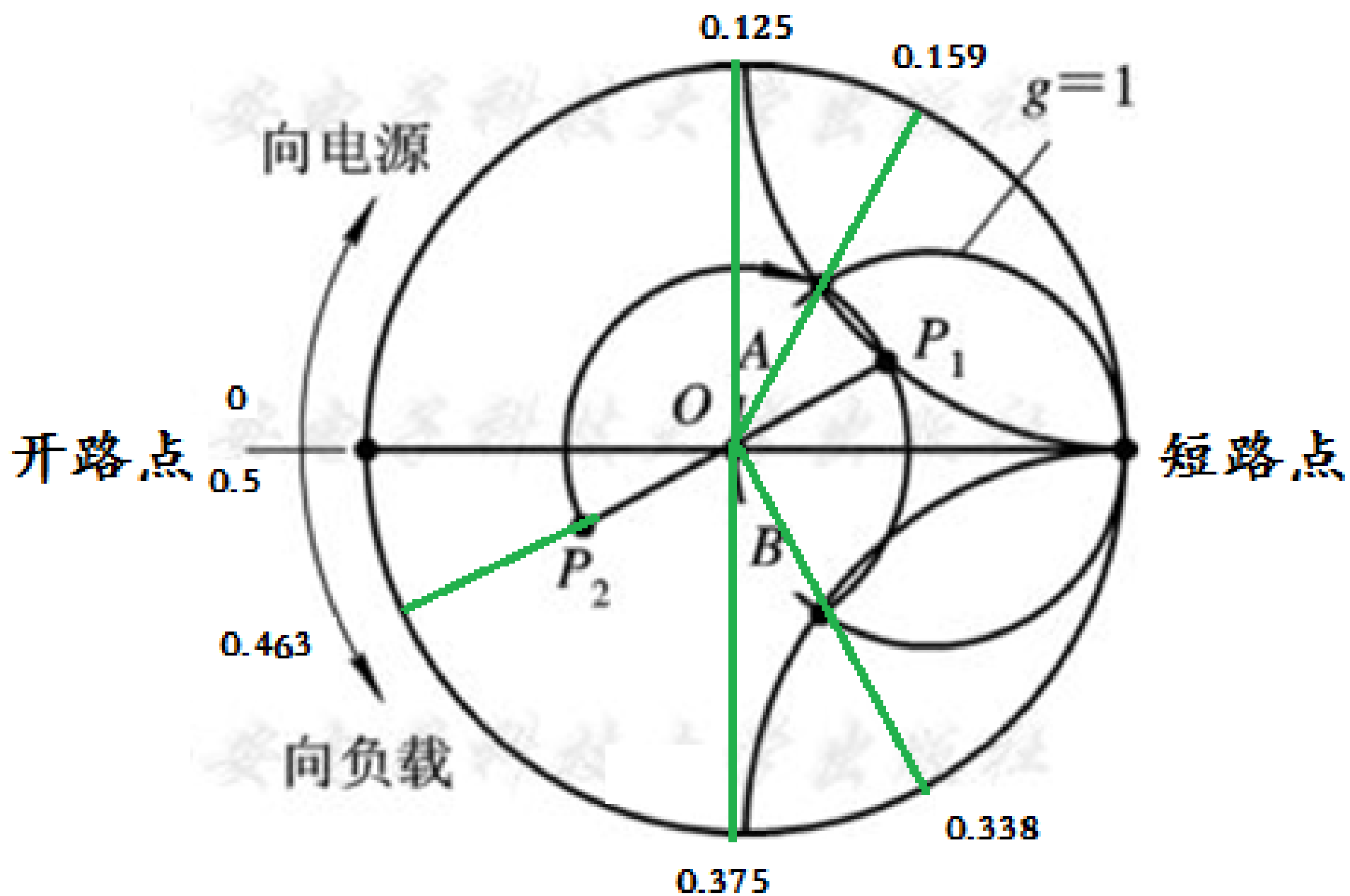


图1-24 Smith圆图示例三

第1章 均匀传输线理论

1.1 均匀传输线方程及其解

1.2 传输线阻抗与状态参量

1.3 无耗传输线的状态分析

1.4 传输线的传输功率、效率与损耗

1.5 阻抗匹配

1.6 史密斯原图及其应用

1.7 同轴线的特性阻抗

1.7 同轴线的特性阻抗

- ◆ 同轴线是一种典型的**双导体传输系统**，如图1-26所示。
- ◆ 同轴线是微波技术中最常见的**TEM模传输线**，分为硬、软两种结构。

⊕ **硬同轴线**是以圆柱形铜棒作内导体，同心的铜管作外导体，内、外导体间用介质支撑，这种同轴线也称为同轴波导。

⊕ **软同轴线**的内导体一般采用多股铜丝，外导体是铜丝网，在内、外导体间用介质填充，外导体网外有一层橡胶保护壳，这种同轴线又称为同轴电缆。

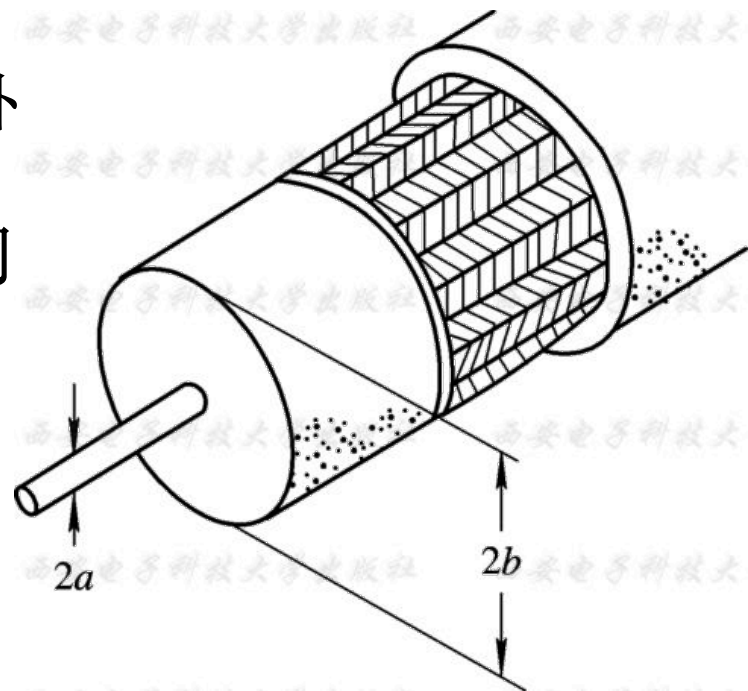


图1-26 同轴线结构图

1.7 同轴线的特性阻抗

一、同轴线的各个参量

◆(1)单位长分布电容和单位长分布电感分别为

$$\begin{cases} C = \frac{2\pi\epsilon}{\ln(b/a)} \\ L = \frac{\mu}{2\pi} \ln(b/a) \end{cases} \quad (1-7-1)$$

◆(2)特性阻抗为

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} \frac{\ln(b/a)}{2\pi} \quad (1-7-2)$$

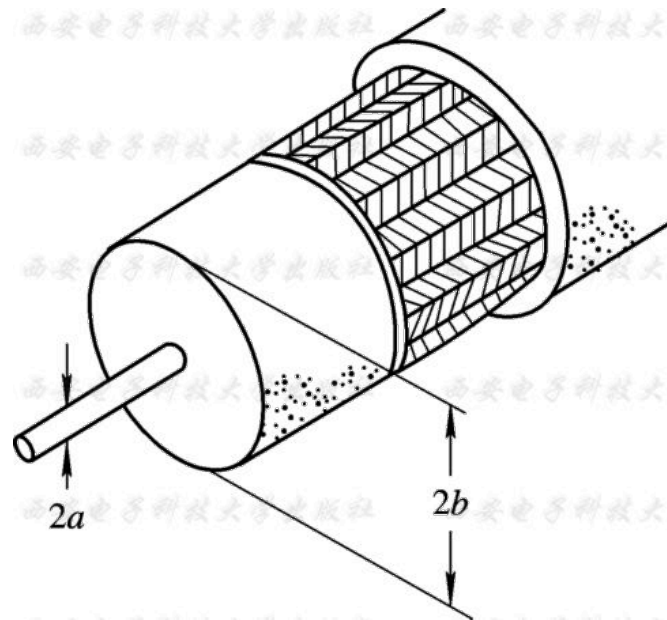


图1-26 同轴线结构图

◆(3)设同轴线的外导体接地, 内导体上的传输电压为 $U(z)$, 取传播方向为 $+z$, 传播常数为 β , 则同轴线上电压为

$$U(z) = U_0 e^{-j\beta z} \quad (1-7-3)$$

1.7 同轴线的特性阻抗

一、同轴线的各个参量

◆(4)同轴线上电流为

$$I(z) = \frac{U(z)}{Z_0} = \frac{2\pi U_0}{\sqrt{\mu/\varepsilon} \ln(b/a)} e^{-j\beta z} \quad (1-7-4)$$

◆(5)传输功率为

$$P = \frac{1}{2} \operatorname{Re}[UI^*] = \frac{\pi U_0^2}{\sqrt{\mu/\varepsilon} \ln(b/a)} \quad (1-7-5)$$

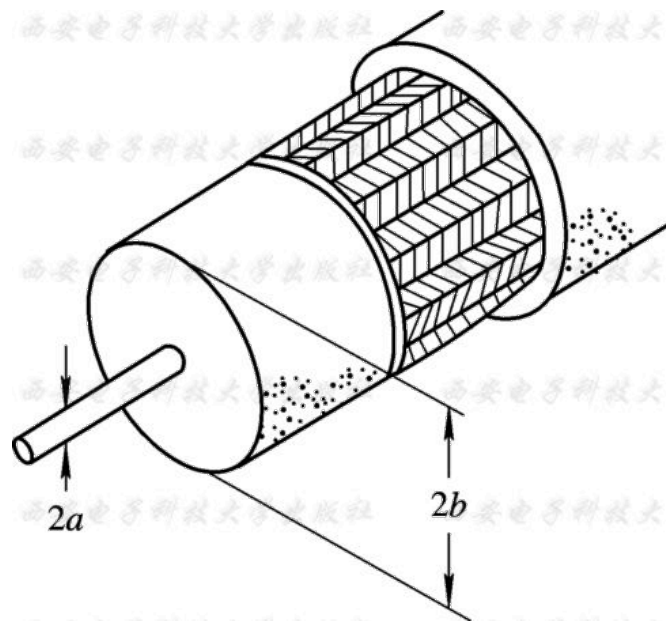


图1-26 同轴线结构图

1.7 同轴线的特性阻抗

二、同轴线设计原则

- ◆(1)保证在给定的工作频带内只传输**TEM**模
- ◆(2)耐压高
- ◆(3)功率容量大
- ◆(4)衰减小
- ◆(5)优化原则： **b** =常数，优化内外半径比 **$x=b/a$**

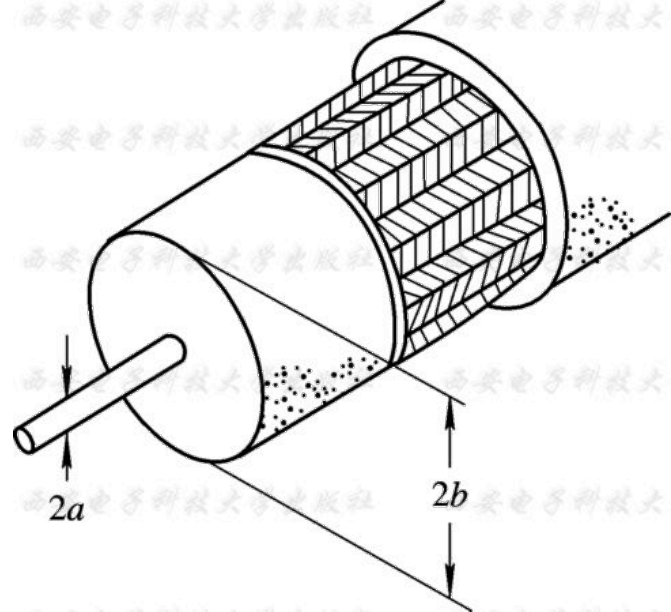


图1-26 同轴线结构图



1.7 同轴线的特性阻抗

二、同轴线设计原则

◆1、保证在给定的工作频带内只传输TEM模

⊕要使同轴线工作于TEM模式, 则同轴线的内、外半径还应满足以下条件:

$$\lambda_{min} > \pi(b+a)(1-7-17)$$

其中, λ_{min} 为最短工作波长

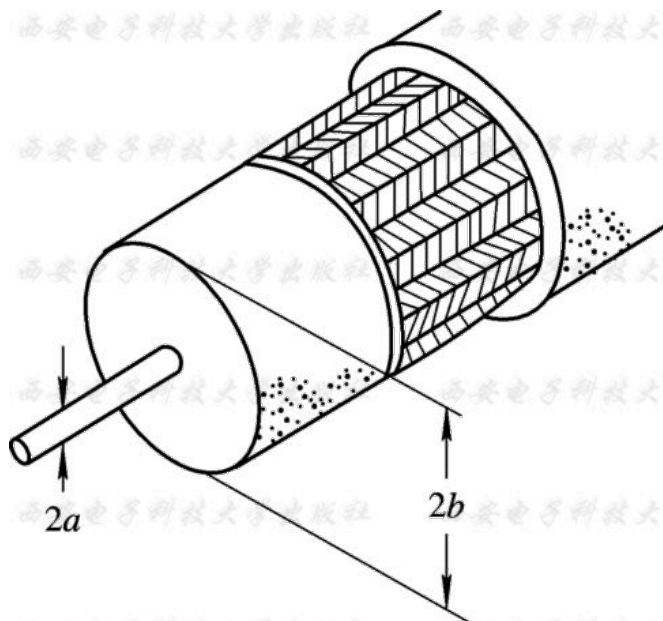


图1-26 同轴线结构图

1.7 同轴线的特性阻抗

二、同轴线设计原则

◆2、耐压高时的阻抗特性

⊕①设外导体接地，内导体接上的电压为 U_m ，则内导体表面的电场为

$$E_a = \frac{U_m}{a \ln x} \quad \left(x = \frac{b}{a} \right) \quad (1-7-6)$$

⊕②为达到耐压最大，设 E_a 取介质的极限击穿电场，即 $E_a = E_{max}$ ，故□□

$$U_{max} = a E_{max} \ln \left(\frac{b}{a} \right) = b E_{max} \frac{\ln x}{x} \quad (1-7-7)$$

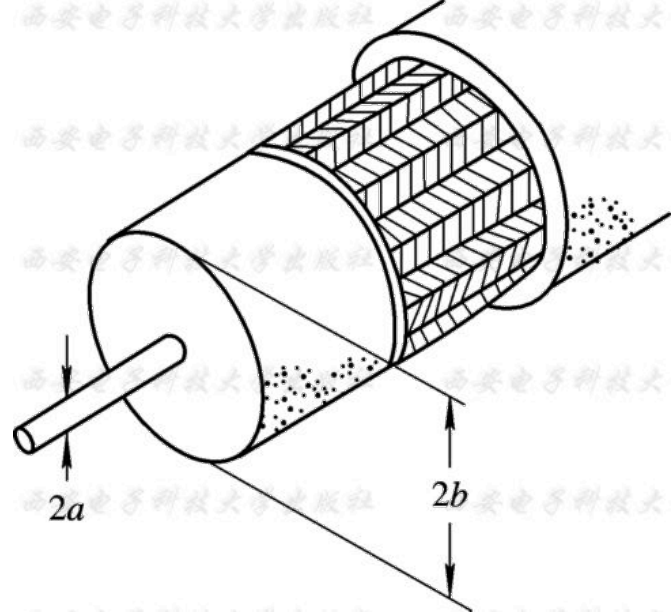


图1-26 同轴线结构图

1.7 同轴线的特性阻抗

二、同轴线设计原则

◆2、耐压高时的阻抗特性

⊕③求 U_{\max} 取极值, 即令 $\frac{dU_{\max}}{dx} = 0$

得 $x = 2.72$ 。这时固定外导体半径的同轴线达到最大电压。此时同轴线的特性阻抗为

$$Z_0 = \frac{\sqrt{\mu/\varepsilon}}{2\pi} (1-7-8)$$

⊕④当同轴线中填充空气时, 相应于耐压最大时的特性阻抗为 60Ω 。

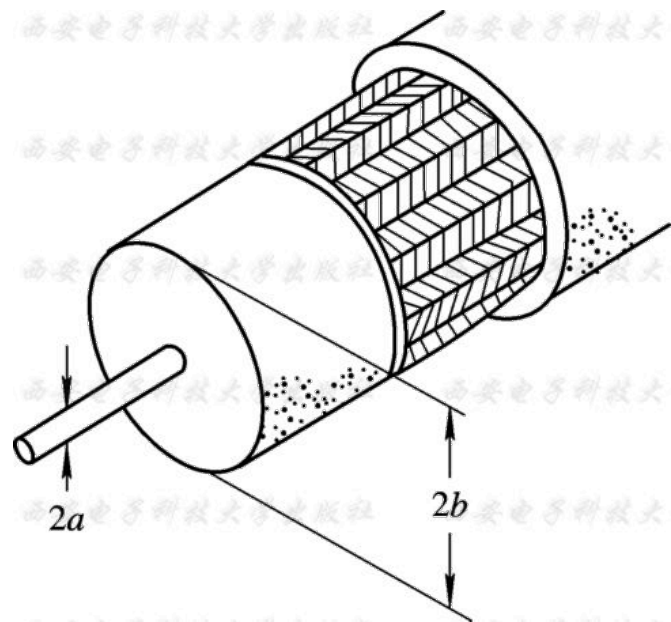


图1-26 同轴线结构图

1.7 同轴线的特性阻抗

二、同轴线设计原则

◆3、传输功率大时的阻抗特性

⊕①限制传输功率的因素也是内导体的表面电场, 由式(1-7-5)及(1-7-7)得

$$P = P_{max} = \frac{\pi a^2 E_{max}^2}{\sqrt{\mu/\epsilon}} \ln \frac{b}{a} = \frac{\pi b^2 E_{max}^2}{\sqrt{\mu/\epsilon}} \frac{\ln x}{x^2} \quad (1-7-9)$$

⊕②要使 P_{max} 取最大值, 则 P_{max} 应满足 $\frac{dP_{max}}{dx} = 0$ (1-7-10)

⊕③于是可得 $x=b/a=1.65$, 相应的特性阻抗为 $Z_0 = \frac{\sqrt{\mu/\epsilon}}{4\pi}$ (1-7-11)

⊕④当同轴线中填充空气时, 相应于传输功率最大时的特性阻抗为 30Ω 。

1.7 同轴线的特性阻抗

二、同轴线设计原则

◆4、衰减最小时的特性阻抗

⊕①同轴线的损耗由导体损耗和介质损耗引起, 由于导体损耗远比介质损耗大, 这里我们只讨论导体损耗的情形。

⊕②设同轴线单位长电阻为 **R** , 而导体的表面电阻为 **R_s** , 两者之间的关系为

$$R = R_s \left(\frac{1}{2\pi a} + \frac{1}{2\pi b} \right) \quad (1-7-12)$$

⊕③由式(1-1-20)得导体损耗而引入的衰减系数 **α_c** 为

$$\alpha_c = \frac{R}{2Z_0} \quad (1-7-13) \qquad \alpha = \frac{1}{2}(RY_0 + GZ_0) = \alpha_c + \alpha_d \quad (1-1-20)$$

1.7 同轴线的特性阻抗

二、同轴线设计原则

◆4、衰减最小时的特性阻抗

⊕④将式(1-7-12)和式(1-7-2) 代入上式得

$$\alpha_c = \frac{R_s}{2\sqrt{\mu/\varepsilon} \ln(b/a)} \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b} \right) = \frac{R_s}{2b\sqrt{\mu/\varepsilon} \ln x} (1+x) \quad (1-7-14)$$

⊕⑤要使衰减系数 α_c 最小, 则应满足 $\frac{d\alpha_c}{dx} = 0$ (1-7-15)

⊕⑥于是可得 $x \ln x - x = 1$, 即 $x = b/a = 3.59$, 此时特性阻抗为

$$Z_0 = \frac{1.278\sqrt{\mu/\varepsilon}}{2\pi} \quad (1-7-16)$$

⊕⑦当同轴线中填充空气时, 相应于衰减最小时的特性阻抗为**76.7Ω**。

1.7 同轴线的特性阻抗

二、同轴线设计原则

◆5、结论：

⊕(1)在不同的使用要求下，同轴线应有不同的特性阻抗

⊕(2) 实际使用的同轴线的特性阻抗一般有**50Ω**和**75Ω**两种

■**50Ω**的同轴线兼顾了耐压、功率容量和衰减的要求，是一种通用型同轴传输线

■**75Ω**的同轴线是衰减最小的同轴线，它主要用于远距离传输

⊕(3)工程上，相同特性阻抗的同轴线也有不同的规格(如**75-5**, **75-9**)，一般来说，电缆越粗其衰减越小。

特性阻抗75 Ω, 绝缘近视外径5mm

⊕(4)综上所述，在决定同轴线的内、外直径时，必须同时考虑使用要求和工作模式。

1.7 同轴线的特性阻抗

作业：1.16, 1.17