

微波技术与天线实验

实验四 阻抗圆及其应用

实验目的

- (1) 理解传输线上驻波比、反射系数、输入阻抗及负载阻抗的关系；
- (2) 学会阻抗圆图的应用。

实验原理

由教材公式(1-2-9)可得传输线上任意一点的反射函数 $\Gamma(z)$ 为

$$\Gamma(z) = \frac{\tilde{Z}_{in}(z) - 1}{\tilde{Z}_{in}(z) + 1} \quad (4-1)$$

其中, $\tilde{Z}_{in}(z) = Z_{in}(z) / Z_0$ 为归一化输入阻抗。 $\Gamma(z)$ 为一复数, 它可以表示极坐标形式, 也可以表示成直角坐标形式。当表示为极坐标形式时, 对于无耗线, 有

$$\Gamma(z) = |\Gamma_2| e^{j(\varphi_2 - 2\beta z)} = |\Gamma_2| e^{j\varphi} \quad (4-2)$$

式中, φ_2 为终端反射系数 Γ_2 的幅角; $\varphi = \varphi_2 - 2\beta z$ 是 z 处的反射系数的幅角。当 z 增加时, 即由终端向电源方向移动时, φ 减小, 相当于顺时针转动; 反之, 由电源向负载移动时, φ 增大, 相当于逆时针转动。沿传输线每移动 $\lambda/2$ 时, 反射系数经历一周, 图 4-1 所示。又因为反射系数的模值不可能大于 1, 因此, 它的极坐标表示被限制在半径为 1 的圆周内。图 4-2 绘出了反射系数圆图, 图中每个同心圆的半径表示反射系数的大小; 沿传输线移动的距离以波长为单位来计量, 其起点为实轴左边的端点(即 $\varphi = 180^\circ$ 处)。在这个图中, 任一点与圆心的边线的长度就是与该点相应的传输线上某点处的反射系数的大小, 边线与 $\varphi = 0^\circ$ 的那段实轴间的夹角就是反射系数的幅角。

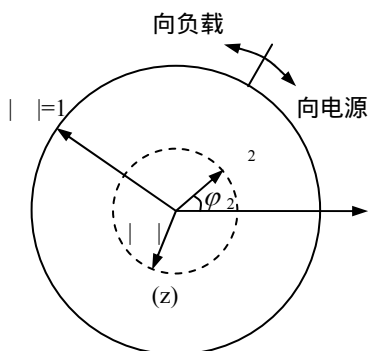


图 4-1 反射系数的矢量表示

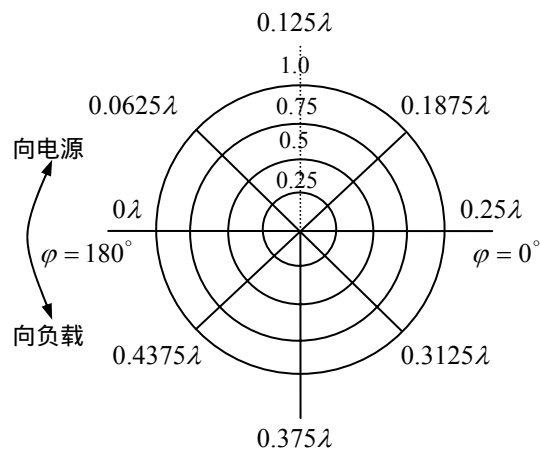


图 4-2 反射系数圆图

对于任一个确定的负载阻抗的归一化值, 都能在圆图中找到一个与之相对就的点, 这一

点从极坐标关系来看，也就代表了 $\Gamma_2 = |\Gamma_2| e^{j\varphi_2}$ 。它是传输线端接这一负载时计算的起点。

当将 $\Gamma(z)$ 表示成直角坐标形式时，有

$$\Gamma(z) = \Gamma_a + j\Gamma_b \quad (4-3)$$

传输线上任意一点归一化阻抗为

$$\tilde{Z} = \frac{Z_{in}}{Z_0} = \frac{1 + (\Gamma_a + j\Gamma_b)}{1 - (\Gamma_a + j\Gamma_b)} \quad (4-4)$$

令 $\tilde{Z} = \tilde{R} + j\tilde{X}$ ，则可得以下方程

$$\begin{cases} \left(\Gamma_a - \frac{\tilde{R}}{1 + \tilde{R}} \right)^2 + \Gamma_b^2 = \left(\frac{1}{1 + \tilde{R}} \right)^2 \\ (\Gamma_a - 1)^2 + \left(\Gamma_b - \frac{1}{\tilde{X}} \right)^2 = \left(\frac{1}{\tilde{X}} \right)^2 \end{cases} \quad (4-5)$$

式(4-5)两式分别是 \tilde{R} 和 \tilde{X} 为参数的两组圆方程，第一个方程为归一化电阻圆，见图 4-3(a)；第二个方程为归一化电抗圆，见图 4-3(b)。

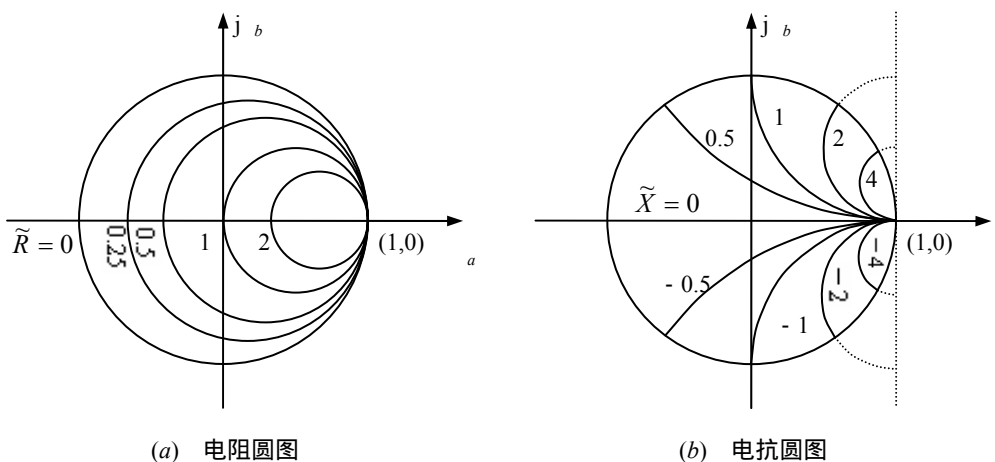


图 4-3 阻抗圆图

电阻圆的圆心在实轴(横轴上)， \tilde{R} 愈大圆的半径愈小。当 $\tilde{R} = 0$ 时，圆心在(0,0)点，半径为 1；当 $\tilde{R} \rightarrow \infty$ 时，圆心在(1,0)点，半径为零。

电抗圆的圆心在 $(1, 1/\tilde{X})$ 处，半径为 $1/|\tilde{X}|$ 。由于 \tilde{X} 可正可负，因此全族分为两组，一组在实轴的上方，另一组在下方：当 $\tilde{X} = 0$ 时，圆与实轴相重合；当 $\tilde{X} \rightarrow \pm\infty$ 时，圆缩为点(1,0)。

将上述的反射系数圆图、归一化电阻圆图和归一化电抗圆图画在一起，就构成了完整的阻抗圆图，也称为史密斯(Smith)圆图。在实际使用中，一般不需要知道 Γ 的情况，故不少圆图中并不画出反射系数圆图。

由上述阻抗圆图的构成可以知道：

在阻抗圆图上半圆内的归一化阻抗为 $(\tilde{R} + j\tilde{X})$ ，其电抗为感抗；下半圆内为 $(\tilde{R} - j\tilde{X})$ ，其电抗为容抗；

实轴上的点代表纯电阻点，左半轴上的点为电压波节点，其上的刻度既代表 \tilde{R}_{\min} 又代表行波系数 K (驻波比的倒数)，右半轴上的点为电压波腹点，其上的刻度既代表 \tilde{R}_{\max} 又代表驻波比 ρ ；

圆图旋转一周为 $\lambda/2$ ；

$|\Gamma|=1$ 的圆周上的点代表纯电抗点；

实轴左端点为短路点，右端点为开路点；中心点处有 $\tilde{Z} = 1 + j0$ ，是匹配点；

在传输线上由负载向电源方向移动时，在圆图上应顺时针旋转；反之，由电源向负载方向移动时，应逆时针旋转。

为了使用方便起见，在圆图外圈常分别标有向电源方向和负载方向的电长度刻度。

由无耗传输线的 $\lambda/4$ 的阻抗变换特性，将整个阻抗圆图旋转 180° 即得到导纳圆图。

下面举例说明其使用方法。

例 1 已知传输线的特性阻抗 $Z_0 = 50\Omega$ (见图 4-4(a))。假设传输线的负载阻抗为 $Z_L = 25 + j25\Omega$ ，求离负载 $z = 0.2\lambda$ 处的等效阻抗。

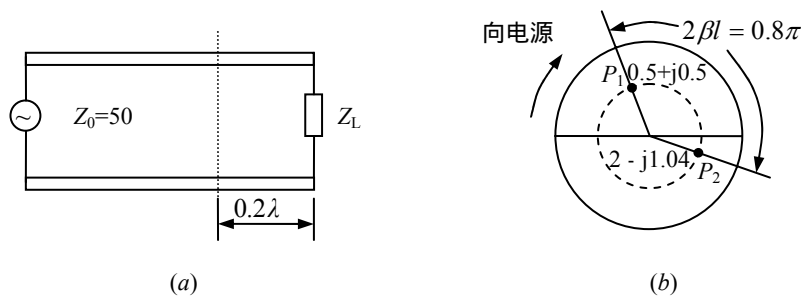


图 4-4

解 先求出归一化负载阻抗： $\tilde{Z}_L = 0.5 + j0.5\Omega$ 。在圆图上找出与此相对应的点 P_1 ，以圆图中心 O 为圆心、以 OP_1 为半径，顺时针旋转 0.2λ 到达 P_2 点，查出 P_2 点的归一化阻抗为 $2 - j1.04$ (参见图 4-4(b))，将其乘以特性阻抗即可得到 $z = 0.2\lambda$ 处的等效阻抗为 $100 - j52\Omega$ 。

例 2 在特性阻抗 $Z_0 = 50 \Omega$ 的无耗传输线上测得驻波比 $\rho = 5$ 见图 4-5(a), 电压最小值点出现在 $z = \lambda/3$ 处, 求负载阻抗。

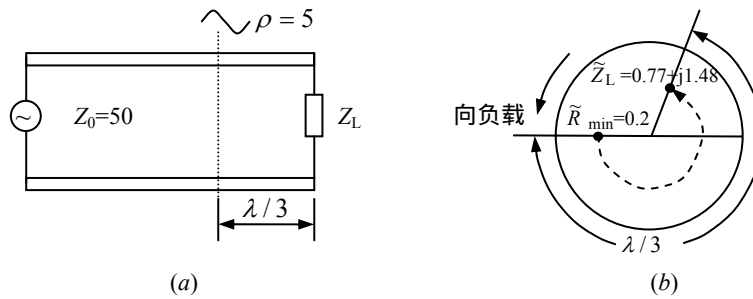


图 4-5

解 电压波节点处等效阻抗为一纯电阻 ($\tilde{R}_{\min} = 1/\rho = 0.2$), 此点落在圆图的左半轴上, 从 $\tilde{R}_{\min} = 0.2$ 点沿等 ρ ($\rho = 5$) 的圆反时针转过 $\lambda/3$, 得到归一化负载 $\tilde{Z}_L = 0.77 + j1.48 \Omega$ (见图 4-5(b)), 故负载阻抗为 $Z_L = (0.77 + j1.48) \times 50 = 38.5 + j74 \Omega$ 。

实验步骤

1. 波导波长的测量

- (1) 将测量线调至最佳工作状态;
- (2) 终端接短路片, 从负载端开始, 旋转测量线上的探针位置, 使选频放大器指示最小, 此时即为测量线等效短路面, 记录此时的探针位置记作 $z_{\min 0}$;
- (3) 按实验一的办法测出波导波长 λ_g 。

2. 驻波比的测量

终端接上待测负载, 探针从 $z_{\min 0}$ 开始向信号源方向旋转, 依次得到指示最大值和最小值三次, 记录相应的读数, 由实验 2 所得的晶体曲线查得相应的 U_{\min} 和 U_{\max} 。

实验数据

1. 驻波比的测量

测量次数	I_{\min}	查晶体曲线得 U_{\min}	I_{\max}	查晶体曲线得 U_{\max}
1				
2				
3				

2. 第一个波节点的测量

测量次数	$z_{\min 1}$	$z_{\min 2}$	$z_{\min 3}$

1			
2			

实验报告要求

- (1) 实验目的；
- (2) 实验原理；
- (3) 实验数据及处理：

根据测得的实验数据算出波导波长、波阻抗和等效特性阻抗及驻波比、终端阻抗与应用圆图求出的负载阻抗相比较。

思考：应用圆图是否可以直接求出导纳？

- (4) 实验体会和建议。

射频和天线设计培训课程推荐

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立,致力并专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养;我们于 2006 年整合合并微波 EDA 网(www.mweda.com),现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地,成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 ADS、HFSS 等专业软件使用培训课程,广受客户好评;并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书,帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司,以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

易迪拓培训课程列表: <http://www.edatop.com/peixun/rfe/129.html>



射频工程师养成培训课程套装

该套装精选了射频专业基础培训课程、射频仿真设计培训课程和射频电路测量培训课程三个类别共 30 门视频培训课程和 3 本图书教材;旨在引领学员全面学习一个射频工程师需要熟悉、理解和掌握的专业知识和研发设计能力。通过套装的学习,能够让学员完全达到和胜任一个合格的射频工程师的要求...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/rfe/110.html>

ADS 学习培训课程套装

该套装是迄今国内最全面、最权威的 ADS 培训教程,共包含 10 门 ADS 学习培训课程。课程是由具有多年 ADS 使用经验的微波射频与通信系统设计领域资深专家讲解,并多结合设计实例,由浅入深、详细而又全面地讲解了 ADS 在微波射频电路设计、通信系统设计和电磁仿真设计方面的内容。能让您在最短的时间内学会使用 ADS,迅速提升个人技术能力,把 ADS 真正应用到实际研发工作中去,成为 ADS 设计专家...



课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/ads/13.html>



HFSS 学习培训课程套装

该套课程套装包含了本站全部 HFSS 培训课程,是迄今国内最全面、最专业的 HFSS 培训教程套装,可以帮助您从零开始,全面深入学习 HFSS 的各项功能和在多个方面的工程应用。购买套装,更可超值赠送 3 个月免费学习答疑,随时解答您学习过程中遇到的棘手问题,让您的 HFSS 学习更加轻松顺畅...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/11.html>

CST 学习培训课程套装

该培训套装由易迪拓培训联合微波 EDA 网共同推出,是最全面、系统、专业的 CST 微波工作室培训课程套装,所有课程都由经验丰富的专家授课,视频教学,可以帮助您从零开始,全面系统地学习 CST 微波工作的各项功能及其在微波射频、天线设计等领域的设计应用。且购买该套装,还可超值赠送 3 个月免费学习答疑...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/cst/24.html>



HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书,课程从基础讲起,内容由浅入深,理论介绍和实际操作讲解相结合,全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程,可以帮助您快速学习掌握如何使用 HFSS 设计天线,让天线设计不再难...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程,培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合,全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作,同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习,可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试...

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年,10 多年丰富的行业经验,
- ※ 一直致力并专注于微波射频和天线设计工程师的培养,更了解该行业对人才的要求
- ※ 经验丰富的一线资深工程师讲授,结合实际工程案例,直观、实用、易学

联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>