

实验二 阻抗测量与调匹配技术

浮焕然 PB22061345

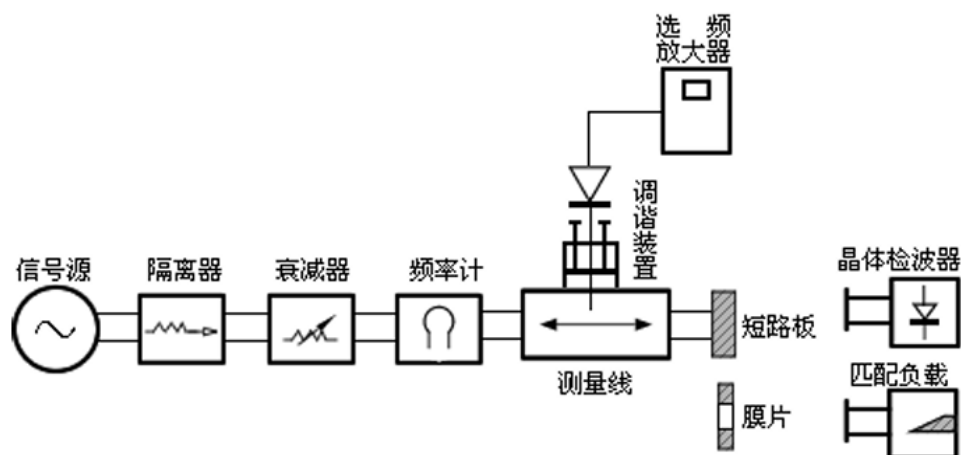
付金杰 PB22061223

台号：5

一、实验目的

1. 掌握应用测量线技术测量单口元件阻抗参数的原理和方法；
2. 掌握匹配负载法测量单口元件的阻抗及导纳的原理及步骤；
3. 了解开路负载法测量单口元件的阻抗及导纳的原理及步骤；
4. 掌握波导传输系统阻抗匹配技术；
5. 熟悉 Smith 圆图在阻抗测量和调匹配技术中应用；
6. 掌握调匹配的原理与方法；
7. 熟悉用软件实现传输线系统中网络的匹配设计与仿真。

二、实验原理框图



三、实验内容

（一）系统调整

1. 检查测试系统，保证各元件之间对齐连接并使系统平稳可靠。测量线终端接上短路板，使系统处于短路状态。打开信号源及选频放大器的电源开关。
2. 调整信号源的频率为 9370MHz，配合调整信号源的功率、可变衰减器的衰减量、选频

放大器的放大等，使测量线探针在波腹点时选频放大器的指示值达到三分之二量程 (600~800)。

(二) 参数测量

用交叉读数法测量系统的波导波长 λ_{g1} ，记录于下表 1。

表 1.波导波长的测量数据记录

位 置	d_{11}	d_{12}	d_{21}	d_{22}	d_{11}	d_{12}	d_{21}	d_{22}	d_{11}	d_{12}	d_{21}	d_{22}
mm	132.9	135.1	155.1	157.1	132.5	135.2	154.9	157.9	132.0	135.5	154.2	158.0
mm	$d_1=134$		$d_2=156.1$		$d_1=133.85$		$d_2=156.4$		$d_1=133.75$		$d_2=156.2$	
λ_{g1}	44.2				45.1				44.9			

根据上表计算：

$$d_T = 133.87mm$$

$$\lambda_{g1 \text{ 平均}} = 44.73mm$$

(三) 阻抗测量

用匹配负载法测膜片的归一化电纳

1. 在测量线终端接上容性膜片，再接上匹配负载，用直接法测出驻波比 S ，同时测出从等效截面位置 dr 向信号源方向最靠近的波节点位置 d_{min} ，计算 $d_{min}=|dr-dr'|$ ，测量数据记录于表 2 中。
2. 将容性膜片调换为感性膜片，重复 1) 的步骤，测量数据记录于表 2。

表 2.容/感性膜片的 B 值测量计算

器件\参数	S	dr (mm)	dr' (mm)	d_{min} (mm)	d_{min}/λ_g (mm)	由圆图求 B 值	由公式求 B 值
容性膜片	1.16	133.87	138.0	4.13	0.0923	0.15	0.143
感性膜片	1.28		150.9	17.03	0.381	-0.28	-0.246

由 d_{min} 和 S 计算 B，代入公式：

$$B = \frac{(S^2 - 1)\text{ctg}\beta d_{min}}{S^2 + \text{ctg}^2\beta d_{min}}$$

$$B_{容} = 0.143$$

$$B_{感} = -0.246$$

圆图求得的 B 与计算的误差为：

$$error_{容} = \frac{|0.15 - 0.143|}{0.15} \times 100\% = 4.67\%$$

$$error_{感} = \frac{|0.28 - 0.246|}{0.28} \times 100\% = 12.14\%$$

(四) 调匹配

1、调匹配准备

根据表 2-2 中测得的容性负载(容性膜片+匹配负载)的参数，按照 SMITH 圆图调匹配的原理，确定滑动单螺调配器右端口距单螺调配器的螺钉之间的长度。实际值取 SMITH 圆图调匹配的 B 和 A 点电长度的差值加上 1.5 后乘以波导波长的结果，记为 I_{smth} 。记录容性负载的驻波比 S 及 I_{smth} 于表 2-5。

2、调匹配过程

- 1)测量线终端接上滑动单螺调配器及容性负载，用直尺定位单螺调配器右端口至单螺调配器的螺钉之间的距离为 I_{smth} ，大致确定单螺调配器螺钉的位置。然后将螺钉深度调整为 0。
- 2)逐步调整单螺调配器的螺钉深度，用直接法观测驻波比的变化情况，确保螺钉深度的调整能减小驻波比，否则反向调整螺钉深度或适当调整螺钉的位置，使驻波比减小。反复调整单螺调配器的螺钉深度及其位置进行调匹配，逐步减小驻波比，直至调配后测量得到的驻波比小于 1.05 为止。
- 3)记录调配后的驻波比、单螺钉的深度、单螺调配器右端口至单螺钉之间的实际长度（用直尺量定）于表 3 中。

表 3.调匹配记录

	调配前	调配后
驻波比 S	1.16	1.07
单螺钉深度（mm）	0	5.8
调配器右端口至单螺钉之间的长度（mm）	76.546	76.5

四、实验思考题

- 1. 测量微波元件阻抗时，为什么要在测量线上确定“等效截面”？
 - 由于测量线结构的限制，探针难以到达距实际输入端口为 d_{min} 处，因此需要在探针能到达范围内选择一个等效截面。通过确定等效截面，可以间接测量从终端负载到第一个驻波波节点的距离，从而准确计算出微波元件的阻抗。
- 2. 测量膜片阻抗时，为什么后面要接上匹配负载？如果不接，测得的阻抗代表什么？

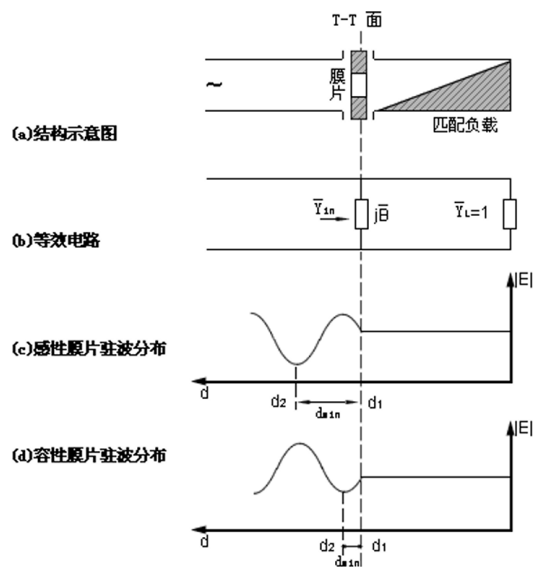


图 1.匹配负载法测电纳示意图

- 膜片后面接上匹配负载是为了减少反射,使从膜片左端向终端看上去的归一化输入导纳为 $Y_{in} = 1 + jB$, 此时代入公式 $B = \frac{(S^2-1)\text{ctg}\beta d_{min}}{S^2+\text{ctg}^2\beta d_{min}}$ 即可求得 B 的值。
 - 如果不接匹配负载,测得的阻抗不仅包含膜片的阻抗,还会受到膜片后面空间的影响,此时等效的阻抗不再是 $Y_{in} = 1 + jB$ 。
3. 测量待测元件驻波极小点位置 d_{min} 时,是否必须在“等效截面”的左边?为什么?用圆图计算元件阻抗(或导纳)时,有何区别?怎样弄清旋转圆图时的旋转方向?
- 测量待测元件驻波极小点位置 d_{min} 时不是必须在“等效截面”的左边。
- 理由:

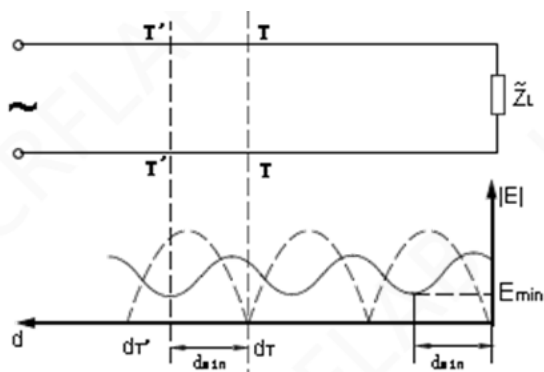


图 2. d_{min} 示意图

如图所示,在 T 截面(等效截面)左侧测出第一个波节点之间的距离即为驻波极小点位置 d_{min} ,但是如果是在右侧,通过测量等效截面右侧第一个波节点的距离作为 d'_{min} ,则根据波长关系 $d_{min} + d'_{min} = 0.25\lambda_g$,因此在右侧测得的 d'_{min} 也可以用来计算阻抗(或导纳)。

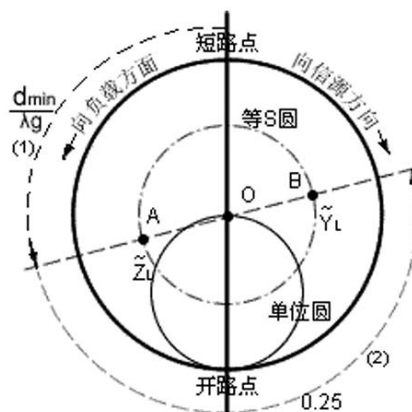


图 3. 用 SMITH 圆图求解负载的归一化阻抗或导纳值

- 用圆图计算阻抗和导纳的区别：测量阻抗时，直接从短路点向负载方向移动 d_{min}/λ_g 电长度，与等 S 圆的交点即为阻抗点；测量导纳时，需要先移动 0.25 电长度，再移动 d_{min}/λ_g 电长度，与等 S 圆的交点即为导纳点

- 弄清旋转圆图时的旋转方向方法：

如果是 d_{min} 在左侧，那么测量阻抗时应该逆时针向负载方向旋转 d_{min}/λ_g 电长度，测量导纳时应该逆时针向负载方向旋转 0.25 电长度，再旋转 d_{min}/λ_g 电长度

如果是 d'_{min} 在右侧，那么测量导纳时应该顺时针向信源方向旋转 d'_{min}/λ_g 电长度，测量

阻抗时应该顺时针向信源方向旋转 0.25 电长度，再旋转 d'_{min}/λ_g 电长度

4. 分析总结匹配负载法、短路活塞法测量膜片阻抗（或导纳）时造成误差的主要根源及两种测量方法在理想情况下的合理性。

- 匹配负载法：

- 误差来源：

读数估读误差，每次测量的误差可能会积累，导致最终结果的误差增大；

使用 Smith 圆图时的估计误差，使用 Smith 圆图是要估计的量较多，可能会导致误差；负载匹配不理想，若负载与传输线特性阻抗不完全相等，会导致反射波的存在，从而影响对膜片阻抗的准确测量。

- 理想情况的合理性：

在理想情况下，负载完全匹配，传输线上只有入射波没有反射波，此时测量接入膜片后的电压变化即可算出膜片阻抗，由于没有反射波干扰，测得的参数完全符合理论分析中接入膜片的变化，从而可以精确测量阻抗特性

- 短路活塞法：

- 误差来源：

若活塞位置存在误差，会导致测量的驻波比等参数不准确；

活塞与传输线之间的接触不良会引起额外的反射和损耗，使测量结果产生偏差；

多次测量误差积累；

在实际传输线中，可能会存在高次模，而短路活塞法假设传输线中只有主模传输，高次模的存在会对测量结果产生干扰。

➤ 理想情况的合理性：

在理想情况下，假设传输线中只有主模传输，短路活塞能够无损耗地完全短路传输线，并且其位置可以精确控制和测量。通过移动活塞，测量不同位置的驻波比和波节点、波腹点位置等参数，根据传输线理论，可以准确计算出膜片的阻抗。因为在理想条件下，排除了各种干扰因素，能够准确获取传输线中电磁波的分布和反射情况，从而可以合理地推算出膜片的阻抗特性。

实验数据记录如下：

符焕然 PB22061345 何金杰 PB22061223

台号：5

实验二 阻抗测量及调匹配实验内容

(一) 系统调整

- 1、检查测试系统，保证各元件之间对齐连接并使系统平稳可靠。测量线终端接上短路板，使系统处于短路状态。打开信号源及选频放大器的电源开关。
- 2、调整信号源的频率为 9370MHz，配合调整信号源的功率、可变衰减器的衰减量、选频放大器的放大等，使测量线探针在波腹点时选频放大器的指示值达到三分之二量程(600~800)。 $\lambda_g = 2(d_1 - d_2)$

(二) 参数测量 波腹点 660 mV

- 1、用交叉读数法测量系统的波导波长 λ_{g1} ，记录于下表。

60

表 2-1 波导波长的测量数据记录表

140

位置	d ₁₁	d ₁₂	d ₂₁	d ₂₂	d ₁₁	d ₁₂	d ₂₁	d ₂₂	d ₁₁	d ₁₂	d ₂₁	d ₂₂	d _T
132.9	133.9	135.1	155.1	157.1	132.5	135.2	154.9	157.9	132.0	135.5	154.2	158.0	
	d ₁		d ₂		d ₁		d ₂		d ₁		d ₂		
	134		156.1		133.85		156.4		133.75		156.2		133.85
λ_{g1}	44.2				45.1				44.9				
	44.73												

- 2、(选做)取下短路板，测量线终端连接上可调短路器。缓慢旋动可调短路器的调节活塞，用交叉读数法测量可调短路器中的波导波长 λ_{g2} 。选定靠近可调短路器输入端口的波节点位置值为等效短路面，记为 l_T 。测量数据记录于表 2-2 中。

表 2-2 可调短路器的波导波长数据记录表

等指示点位置	d ₁₁	d ₁₂	d ₂₁	d ₂₂	l _T
实际测量值					
等效波节点位置	d ₁		d ₂		
实际计算值					
λ g2(mm)					

(三) 阻抗测量

(1) 用匹配负载法测膜片的归一化电纳

1、在测量线终端接上容性膜片，再接上匹配负载，用直接法测出驻波比 S ，同时测出从等效截面位置 d_r 向信号源方向最靠近的波节点位置 d_r' ，计算 $d_{\min} = |d_r' - d_r|$ ，测量数据记录于表 2-3 中。

2、将容性膜片调换为感性膜片，重复 1) 的步骤，测量数据记录于表 2-3。

$\lambda_g = 44.73$

表 2-3 匹配负载法测量膜片归一化电纳数据记录表

参数 器件	S	d_r	d_r'	d_{\min}	$\frac{d_{\min}}{\lambda_g}$	由圆图 求的 B 值	由公式 求的 B 值
容性 膜片	1.16	138.87	138.0	4.13	0.0923	0.15	
感性 膜片	1.28		150.9	17.03	0.381	-0.28	

3、(选做) 开路负载法测量膜片的归一化电纳

1) 在测量线终端接上容性膜片，并在膜片后面接上可调短路器，将可调短路器置于 IT 位置(开路负载)。用交叉读数法测出从等效截面位置 d_r 向信号源方向最靠近的波节点位置 d_r' ，计算 $d_{\min} = |d_r' - d_r|$ ，数据记录于表 2-4 中。

2) 将容性膜片调换为感性膜片，重复 b) 的步骤，测量数据记录于表 2-4 中。

表 2-4 开路负载法测量膜片归一化电纳数据记录表

参数 器件	d_r	d_r'	d_{\min}	$\frac{d_{\min}}{\lambda_g}$	由圆图 求的 B 值	由公式 求的 B 值
容性 膜片						
感性 膜片						

(四) 调匹配

1、调匹配准备

根据表 2-2 中测得的容性负载(容性膜片+匹配负载)的参数, 按照 SMITH 圆图调匹配的原理, 确定滑动单螺调配器²右端口距单螺调配器的螺钉³之间的长度。实际值取 SMITH 圆图调匹配的 B 和 A 点电长度的差值加上 1.5 后乘以波导波长的结果, 记为 l_{smith} 。记录容性负载的驻波比 S 及 l_{smith} 于表 2-5。

2、调匹配过程

1) 测量线终端接上滑动单螺调配器及容性负载, 用直尺定位单螺调配器右端口至单螺调配器的螺钉之间的距离为 l_{smith} , 大致确定单螺调配器螺钉的位置。然后将螺钉深度调整为 0。

2) 逐步调整单螺调配器的螺钉深度, 用直接法观测驻波比的变化情况, 确保螺钉深度的调整能减小驻波比, 否则反向调整螺钉深度或适当调整螺钉的位置, 使驻波比减小。反复调整单螺调配器的螺钉深度及其位置进行调匹配, 逐步减小驻波比, 直至调配后测量得到的驻波比小于 1.05 为止。

3) 记录调配后的驻波比、单螺钉的深度、单螺调配器右端口至单螺钉之间的实际长度(用直尺量定)于表 2-5 中。

表 2-5 调匹配前后的数据记录表

	调配前	调配后
驻波比 S	1.16	1.07
单螺钉深度(mm)	0	4.5
调配器右端口至单螺钉之间的长度 _{smith}	76.546	82.576.5

3、(选做) 匹配带宽的测定

按一定的间隔调整信号的频率, 并用直接测量被调配负载的驻波比。

f										...
s										...

根据上面的测量数据描绘出频率~驻波比 ($f \sim S$) 曲线, 并求出 $S < 1.5$ 的匹配带宽。