

实验四

单口元件的阻抗测量



实验目的

- 掌握应用测量线技术测量单端口微波器件阻抗参数的原理和方法。
- 熟悉Smith园图在阻抗测量上的应用。
- 运用不同方法测定波导元件的阻抗特性。



驻波与阻抗的关系

- 传输线中驻波分布与终端负载阻抗有关，由传输线理论可以证明波导终端的归一化阻抗 $Z_L = R_L + jX_L$ 与传输系统的波导波长 λ_g ，驻波比 S 和驻波节点位置 d_{\min} 有下列单值的对应关系式：

$$R_L = \frac{S}{S^2 \cos^2 \beta d_{\min} + \sin^2 \beta d_{\min}} \quad X_L = \frac{(1 - S^2 \operatorname{ctg} \beta d_{\min})}{S^2 \operatorname{ctg}^2 \beta d_{\min} + 1}$$

- 而负载归一化导纳 $Y_L = G_L + jB_L$ 为：

$$G_L = \frac{S}{S^2 \sin^2 \beta d_{\min} + \cos^2 \beta d_{\min}} \quad B_L = \frac{(S^2 - 1) \operatorname{ctg} \beta d_{\min}}{S^2 + \operatorname{ctg}^2 \beta d_{\min}}$$



阻抗测量

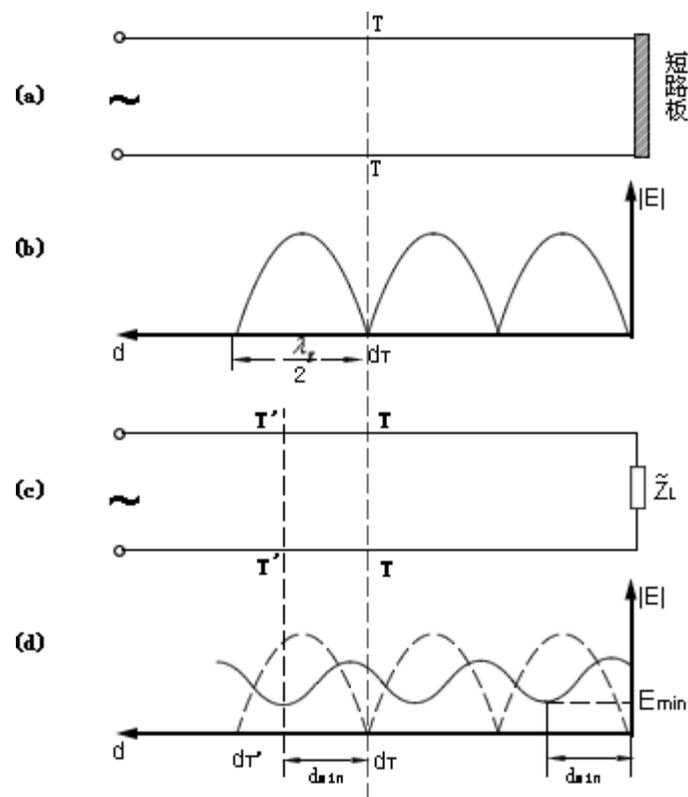
- 由公式可见，阻抗测量的问题可以归结为驻波测量的问题：在测量线的输出端口接上待测的单口元件后，分别用
 - 交叉读数法测出波导波长 λ_g
 - 直接法测出驻波比 S
 - 等效截面法测出驻波极小点位置 d_r
- 根据传输线的图解法原理，根据测得的 S ， d_{\min} 和 λ_g ，可以利用SMITH圆图或者相关公式，求解归一化阻抗或导纳，甚至膜片的归一化电纳值。



等效截面法

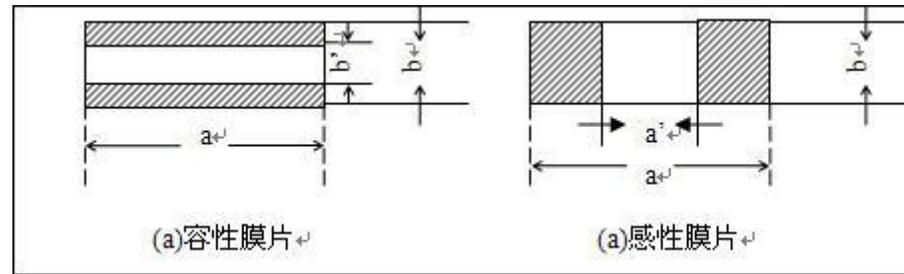
- 阻抗测量涉及到相位测量，需要测量出从被测微波元器件的输入端口向信号源方向到达第一个波节点之间的距离 d_{\min} 。
 - 但由于受到测量线结构的限制，探针通常难以到达距实际输入端口为 d_{\min} 处。为此，需在探针能够到达范围内选择一个等效截面(T-T)，再由(T-T)面确定 d_{\min} 。
 - 测量线输出端口短路，测量线中建立起纯驻波分布。根据驻波分布重复性原理（ $\lambda_g/2$ 周期），在测量线探针能到达范围内选一合适波节点作为终端等效截面位置（见后图）。
- 测量时，测量线终端接上待测的微波元器件，测量系统中的驻波分布取决于待测元器件的输入阻抗（见图中实线）。
 - 由图可见，从T-T截面到T'-T'截面之距 $d_{T'}-d_T$ 就等效于从器件输入端口向源方向到第一个波节点之距 $d_{\min}=|d_{T'}-d_T|$

用等效截面法测量 d_{\min} 原理图





膜片介绍



注意：连接时，要正确对齐

- 理论分析表明：当膜片厚度 t 满足 $\delta \ll t \ll \lambda_g$ 时，它的等效电路为一并联的导纳 $Y = G + jB$ ，（ δ 是金属膜片的趋肤深度），使传输引起不连续。（a）图所示膜片有电容作用，故称为容性膜片，（b）图所示膜片有电感作用，称为感性膜片。由于膜片的损耗极小，通常把它们电导分量 G 忽略，而电纳 B 在一级近似下可以表示为：

- 容性膜片：
$$B = -\frac{4b}{\lambda_g} \ln \csc\left(\frac{\pi b'}{2b}\right)$$

- 感性膜片：
$$B = -\frac{\lambda_g}{a} \text{ctg}^2\left(\frac{a'\pi}{2a}\right)$$



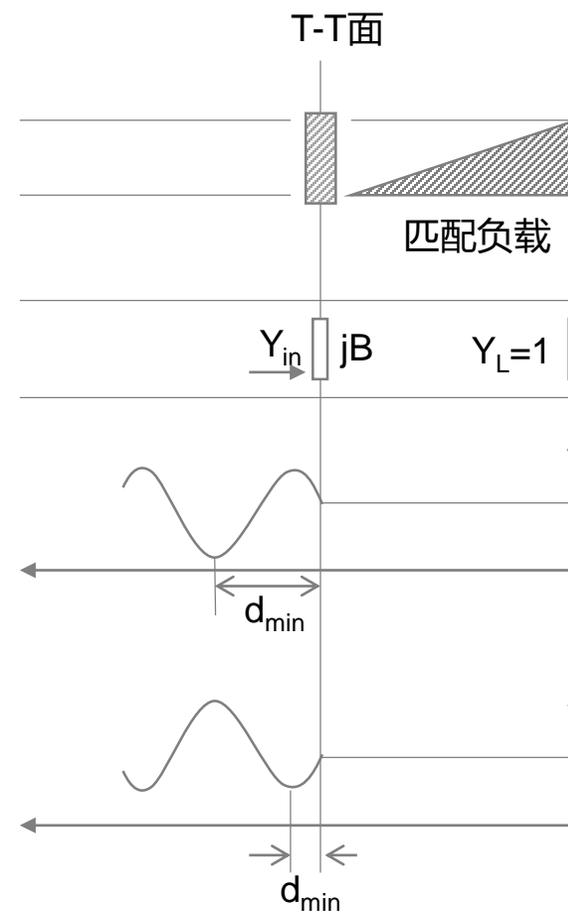
匹配负载法测膜片的电纳

- 匹配负载法即将待测膜片接在测量线终端，再在待测膜片后接上匹配负载，构成组合单口元件。
- 根据阻抗测量的方法测出驻波比，波导波长和 d_{\min} ；
- 应用下列方程或使用阻抗圆图求得膜片的归一化电纳值 B
 - 用 S ，波导波长和 d_{\min} 计算 B ：
$$B = \frac{(S^2 - 1) \text{ctg} \beta d_{\min}}{S^2 + \text{ctg}^2 \beta d_{\min}}$$
 - 用 S 计算 $|B|$ ，用 d_{\min} 确定其性质（即正负号）： $|B| = \frac{S - 1}{\sqrt{S}}$
 - 当 $\frac{d_{\min}}{\lambda_g} < \frac{1}{4}$ 时， $B > 0$ ，呈容性，当 $\frac{1}{4} < \frac{d_{\min}}{\lambda_g} < \frac{1}{2}$ 时， $B < 0$ ，呈感性；



匹配负载法测膜片电纳原理图

- 结构示意图
- 等效电路
- 感性膜片驻波分布
- 容性膜片驻波分布





短路活塞法

- 是测量膜片电纳的另一种方法。它的基本原理是在波导短路面前 $(2n+1)\lambda_g/4$ 处是波导的开路截面，该处从信号源向负载方向看去的输入导纳为零。如果在这个面上接入膜片，见后图，则该参考面上的输入导纳 Y_{in} 就是膜片的导纳 jB ，即有 $Y_{in}=jB$ 。
- 对于纯电纳性负载 jB ，因为其 $|\Gamma| = \left| \frac{1-jB}{1+jB} \right| = 1$ ，故 $S=\infty$ 。可以证明，对于纯电纳性负载 jB ，只要测定了驻波节点 d_{min} ，则利用下式即可算出 B 值来。
- 当然也可根据 λ_g ， d_{min} ，和 $S = \infty$ 利用Smith圆图来求取 B 值。

$$B = ctg\beta d_{min}$$



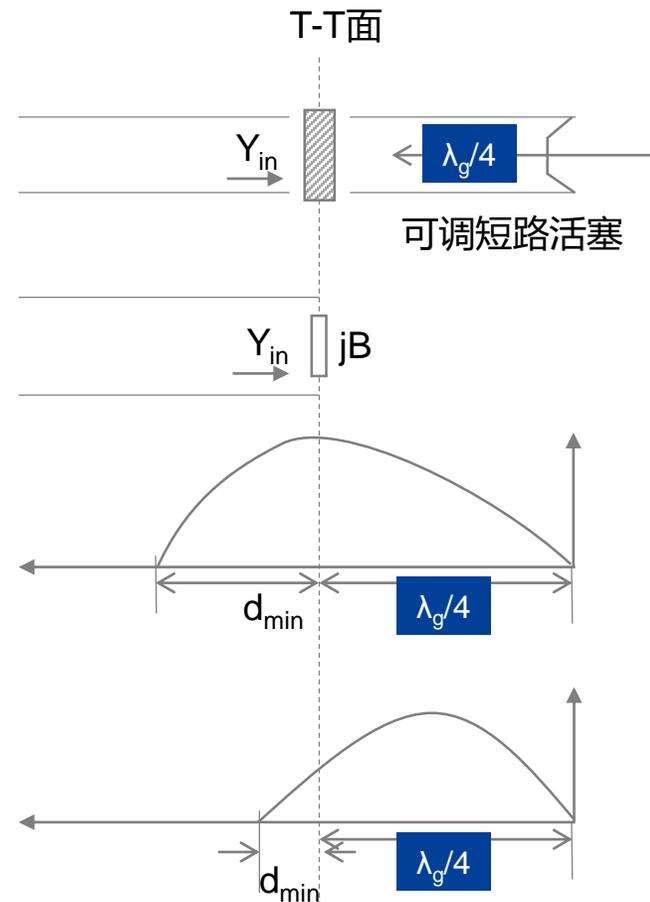
短路活塞法

- 短路活塞法的基本原理是在波导短路面前 $(2n+1)\lambda_g/4$ 处是波导的开路截面，该处从信号源向负载方向看去的输入导纳为零。如果在这个面上接入膜片（见后图），则该参考面上的输入导纳 Y_{in} 就是膜片的导纳 jB ，即有 $Y_{in}=jB$ 。
- 传输线终端接纯电纳性负载 jB ，形成全反射，反射系数模值为1，驻波比无穷大。可以证明，对于纯电纳性负载 jB ，只要测定了驻波节点 d_{min} ，则 $B=ctg\beta d_{min}$ 。
- 也可根据 λ_g ， d_{min} ，和 $S = \infty$ 利用Smith圆图来求取 B 值。



短路活塞法测膜片电纳原理图

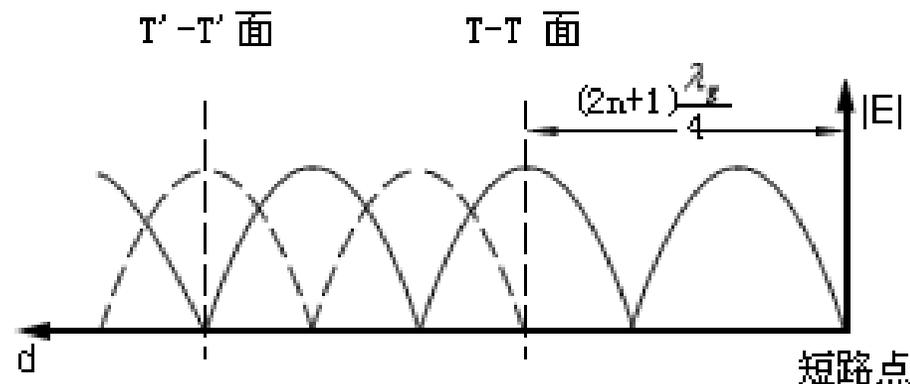
- 结构示意图
- 等效电路
- 感性膜片驻波分布
- 容性膜片分布





短路活塞确定等效开路面的方法

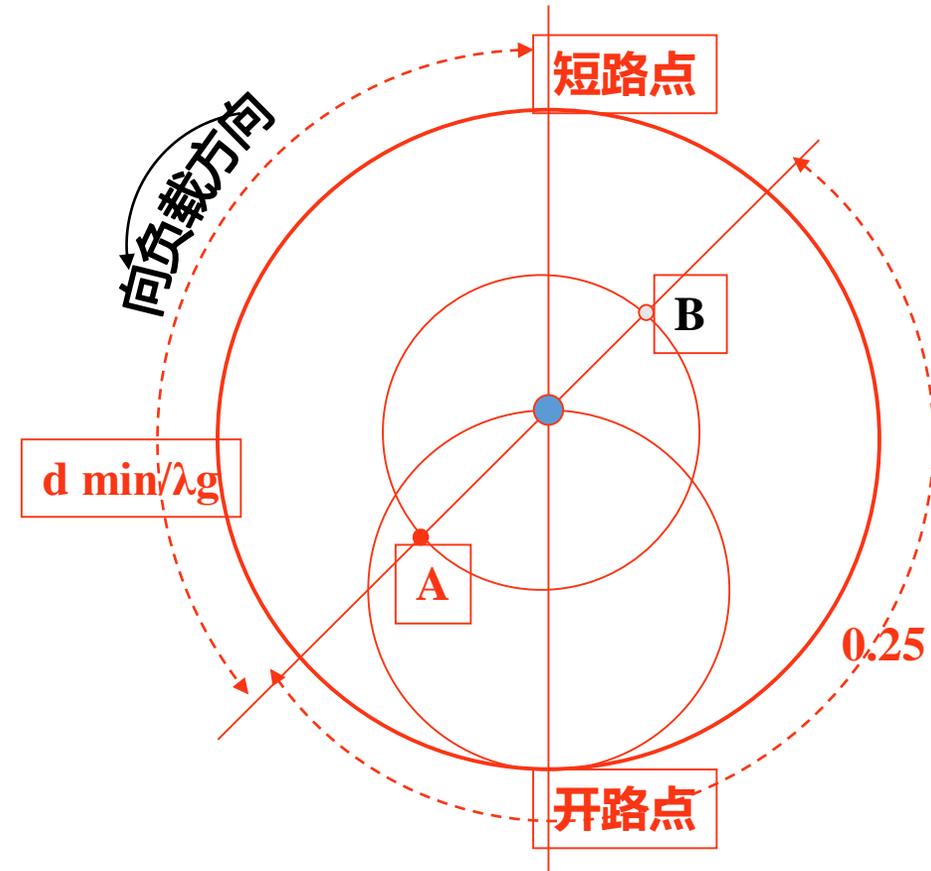
- 保证短路活塞法测量膜片电纳准确的关键是要准确调节短路活塞的位置使它离测量线终端的距离为 $(2n+1)\lambda_g/4$ (即等效开路面)，其方法是：首先移动测量线探针到 d_T 处，保持其位置不变。测量线终端接上可调短路器，旋动短路活塞，使测量放大器电表指示变至最大，即使得可调短路器成为开路器件。用交叉读数法来确定等效开路面的位置。





阻抗圆图与导纳圆图的使用示意图

- 阻抗圆图求归一化阻抗
 - 从圆图的**短路点**向**负载方向**移动 d_{\min}/λ_g 的电长度，与**等S圆**相交的点即为待测负载的归一化阻抗值（左图中的A点）
 - 要求待测负载的归一化导纳值，只需要从A点开始沿等S圆移动 0.25 个电长度（即A点的对称点B），就得到待测负载的归一化导纳值。



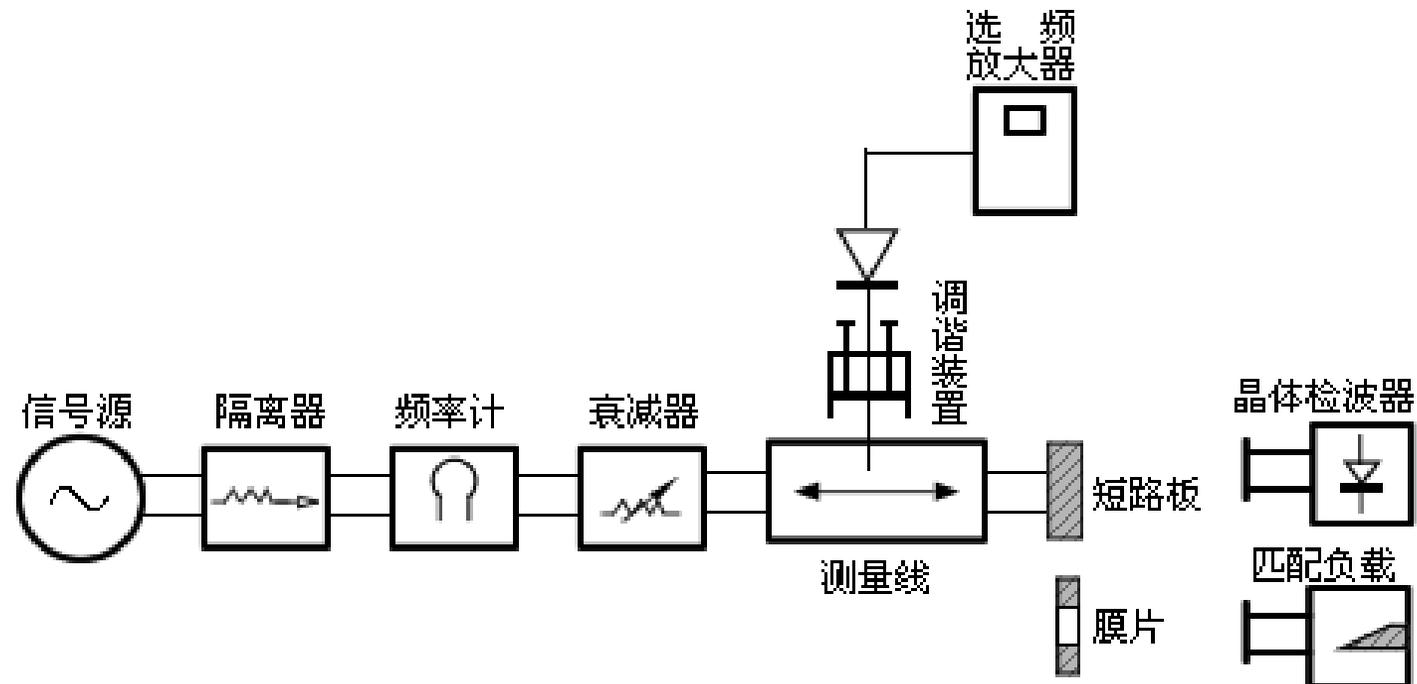


导纳圆图各点的含义

- 导纳圆图可以由阻抗圆图“倒置”而成，归一化电阻和归一化电抗变化为归一化电导和归一化电纳，值不变。
- 圆图上曲线形式和分布不变，意义改变如下：
 - 反射系数相位相反，阻抗变导纳，电阻变电导，电抗变电纳；
 - 三圆：反射系数圆不变；等归一化电阻圆变等归一化电导圆；等归一化电抗圆变等归一化电纳圆；
 - 三点：匹配点不变；开路点变短路点；短路点变开路点；
 - 三线：纯电阻线变纯电导线；纯电抗圆变纯电纳圆；归一化 $R=1$ 圆变归一化 $G=1$ 圆；
 - 二面：上半平面为容性；下半平面为感性。



实验系统框图





系统调整及参数测量

- 方波调制信号；信号源工作频率为9370MHZ。
- 测量线终端接短路板，用交叉读数法测波导波长，重复三次；选择其中一个位于测量线中间位置的波节点的值作为 d_T 。记录数据填入下表。

参数 测量次数	d_{11}	d_{12}	d_{21}	d_{22}	$(d_{11}+d_{12})/2$	$(d_{21}+d_{22})/2$	λ_g
1							
2							
3							



用匹配负载法测膜片的归一化电纳 B

- 测量线终端接上容性膜片，再接上匹配负载，用驻波比测量方法测出膜片的驻波比 S ，并测出从 d_T 向信号源方向第一个驻波最小点位置 $d_{T'}$ (可用交叉读数法)，计算 $d_{\min} = |d_{T'} - d_T|$ ，记录数据填入下表。
- 测量线终端换接感性膜片及匹配负载，重复 (2) 的步骤，测量得感性膜片的归一化电纳值 B ，记录数据填入下表。

参数 元件	S	d_T	$d_{T'}$	d_{\min}	d_{\min}/λ_g	由圆图求的B 值	由公式求的B 值
容性 膜片							
感性 膜片							



短路活塞法测量膜片的归一化电纳

- 将测量线探针放在dT位置(即波节点位置)，在测量线终端接上可调短路活塞。转动短路活塞，使选放指示变为最大，此时短路活塞的截面距测量线终端为 $(2n+1)\lambda_g/4$ ，即开路面的位置。要求用交叉读数法确定可调短路活塞的等效开路面的位置 l_T ，并做记录。
- 在测量线终端插入容性膜片，并在膜片后面接上可调短路活塞，保持可调短路活塞置于等效开路面的位置。然后用交叉读数法测出从dT向信号源方向的第一个波节点位置dT'，重复三次，并分别算出 d_{\min} 平均值，记录数据填入后表。
- 在T-T面处插入感性膜片，重复(3)的步骤，求得相应的感性膜片的 d_{\min} 的平均值，记录数据填入后表。
- 由测得的参数 d_{\min} ，利用Smith圆图和公式计算膜片的归一化电纳值B，记录数据填入后表。



实验数据记录表

参数 元件	测量 次数	d_T	$d_{T'}$	D_{\min} 平均值	d_{\min}/λ_g	由圆图求的B 值	由公式求的B 值
容性 膜片	1						
	2						
	3						
感性 膜片	1						
	2						
	3						



实验报告处理要求

- 根据测量的数据按相关公式计算负载的归一化导纳值；
- 运用SMITH圆图工具求解负载的归一化导纳值；
- 分析误差；
- 比较不同测量方法的区别。



实验报告思考题

- 测量微波元件阻抗时,为什么首先在测量线上确定“等效截面”?
- 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?
- 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?