



电磁场与电磁波测量实验

一、波导波长的测量

1) 实验内容

【方法一】两点法：

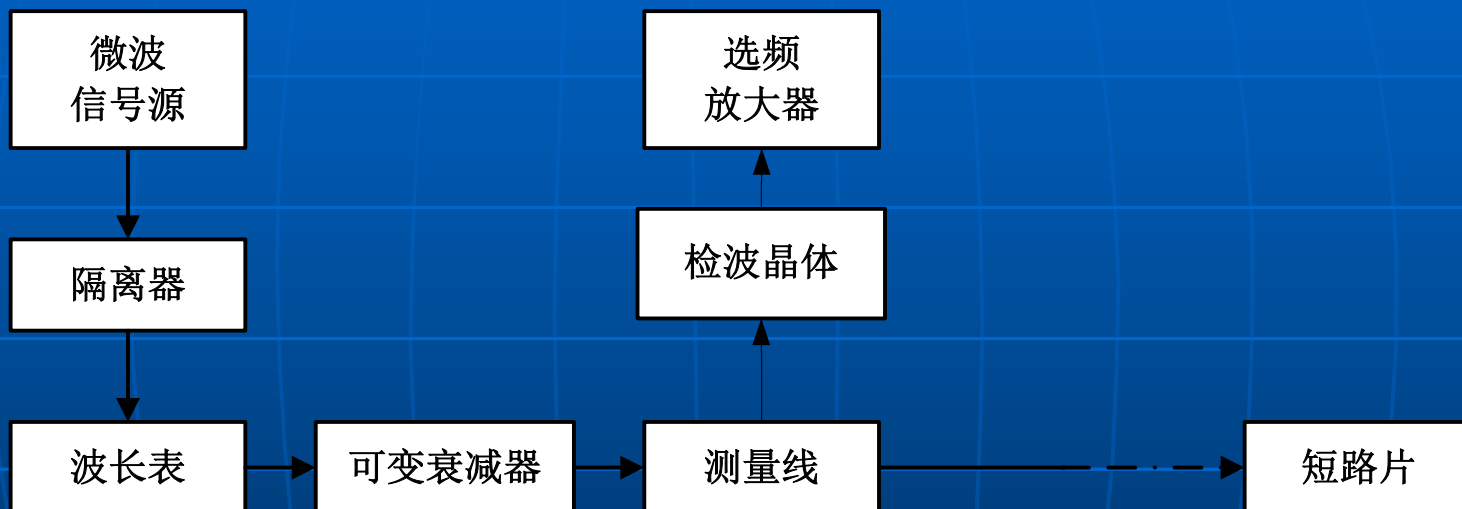


图1 波导波长测量系统框图

负载可接可变电抗或短路片，可变电抗和短路片的反射系数的模值接近1，在测量线中入射波与反射波的叠加为接近纯驻波的图形，只要测得驻波相邻节点的位置 T_1 、 T_2 ，由 $\frac{1}{2}\lambda_g = T_2 - T_1$ ，即可求得波导波长 λ_g 。



电磁场与电磁波测量实验

两点法确定波节点位置

为了做到准确测量通常用两点法来确定波节点的位置，即测量波节点附近两边指示电表读数相等的一点 T_1 和 T_2 ，如图2所示。

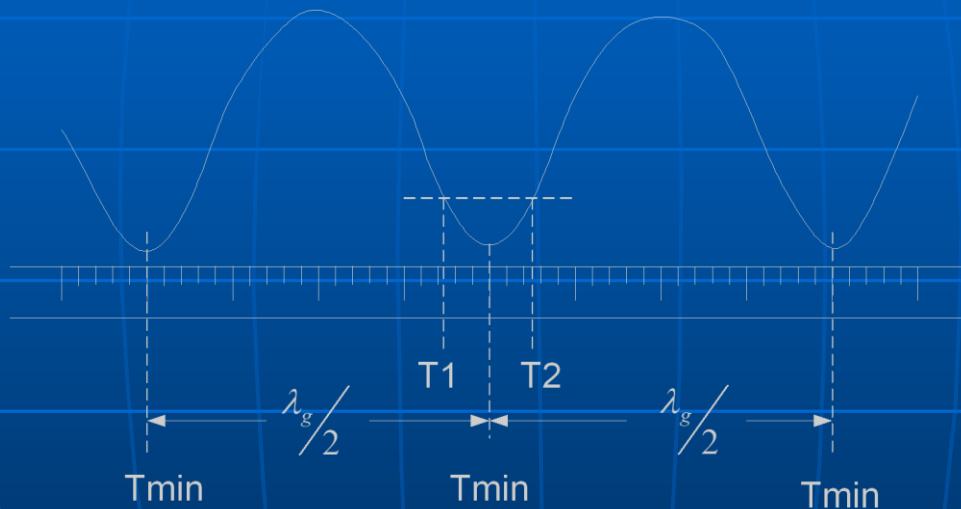


图2 两点法确定波节点位置示意图



电磁场与电磁波测量实验

波节点的位置 T_{\min} 取 T_1 和 T_2 的平均值

$$T_{\min} = \frac{T_1 + T_2}{2} \quad (1a)$$

由图2可知，波导波长

$$\lambda_g = 2|T'_{\min} - T_{\min}| \quad (1b)$$

同样，可以由波导波长，利用（3）式计算出信号波长。

$$\lambda_g = \frac{\lambda_o}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda_o}{2a}\right)^2}} \quad (3)$$



电磁场与电磁波测量实验

【方法2】间接法

理论上，自由波长 λ_o 和频率 f 的换算方法：

$$\lambda_o = \frac{c}{f} \quad (2)$$

c 为自由空间波传播速度，约 3×10^{10} 厘米/秒

对于矩形波导中的 H_{10} 波，自由空间波长 λ_o 和波导波长 λ_g 满足公式：

$$\lambda_g = \frac{\lambda_o}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda_o}{2a}\right)^2}} \quad (3)$$

a 为矩形波导宽边尺寸，对三厘米波导 $a=22.86$ 毫米。

上个实验已经用波长表测量出信号波长，利用（3）式，再计算 λ_g 。

注意：利用波长表进行波导波长测量要注意，测量信号波长完成后要将波长计从谐振点调开，以免信号衰减影响后面的测量。



电磁场与电磁波测量实验

二、校准晶体二极管检波器的检波特性

1) 实验原理

微波测量中，为指示波导（或同轴线）中电磁场强度的大小，是将它经过晶体二极管检波变成低频信号或直流电流，用直流电表的电流 I 来读数的。从波导宽壁中点耦合出两宽壁间的感应电压，经微波二极管进行检波，调节其短路活塞位置，可使检波管处于微波的波腹点，以获得最高的检波效率。

晶体二极管是一种非线性元件，亦即检波电流 I 同场强 E 之间不是线性关系，通常表示为：

$$I = kE^n \quad (4)$$



电磁场与电磁波测量实验

$$I = kE^n \quad (4)$$

其中k, n是和晶体二极管工作状态有关的参量。

如n=1, $I \propto E$ 称为直线律检波,

当n=2, $I \propto E^2$ 称为平方律检波。

当微波场强较大时呈现直线律, 当微波场强较小 ($P < 1\mu W$) 时呈现平方律。处在大信号和小信号两者之间, 检波律n就不是整数。

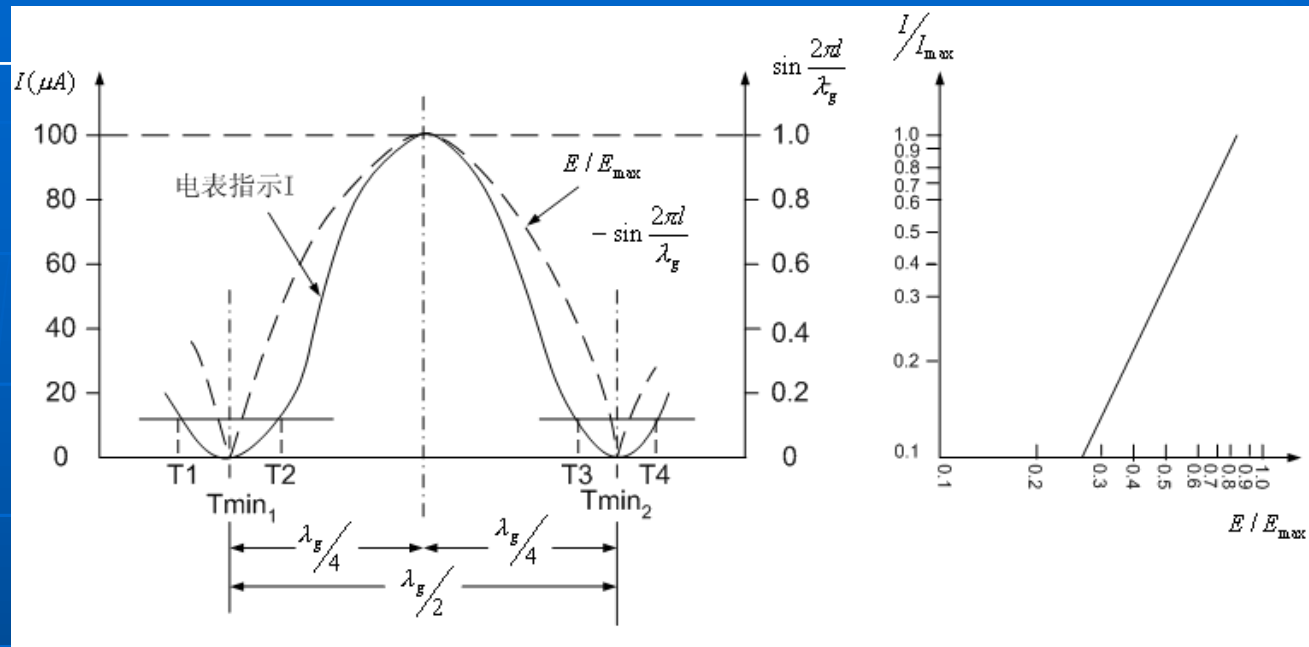
因此, 当微波功率变化大时, n和K就不是常数, 所以在精密测量中必须对晶体检波器进行校准。

晶体检波器校准方法主要是驻波法, 驻波法通常有两种。



电磁场与电磁波测量实验

第一种定标方法



3a 检波电流、相对场强和位置的关系 3b 对数坐标下的定标曲线
图3 检波晶体特性校准

将测量线终端短路，仔细调谐好检波腔，测出场沿线分布的检波电流 I ，作出如图3中的实线图形。由于测量线终端短路，电场强度沿线按正弦规律分布，如图3a中虚线所示，可在场图上画出实际场强分布：

$$E' = E / E_{max} = \sin\left(\frac{2\pi l}{\lambda_g}\right) \quad (5)$$

其中, l 是探针距波节点的距离, λ_g 是波导波长。



电磁场与电磁波测量实验

第一种定标方法

将 (5) 式 $E' = E / E_{\max} = \sin\left(\frac{2\pi l}{\lambda_g}\right)$

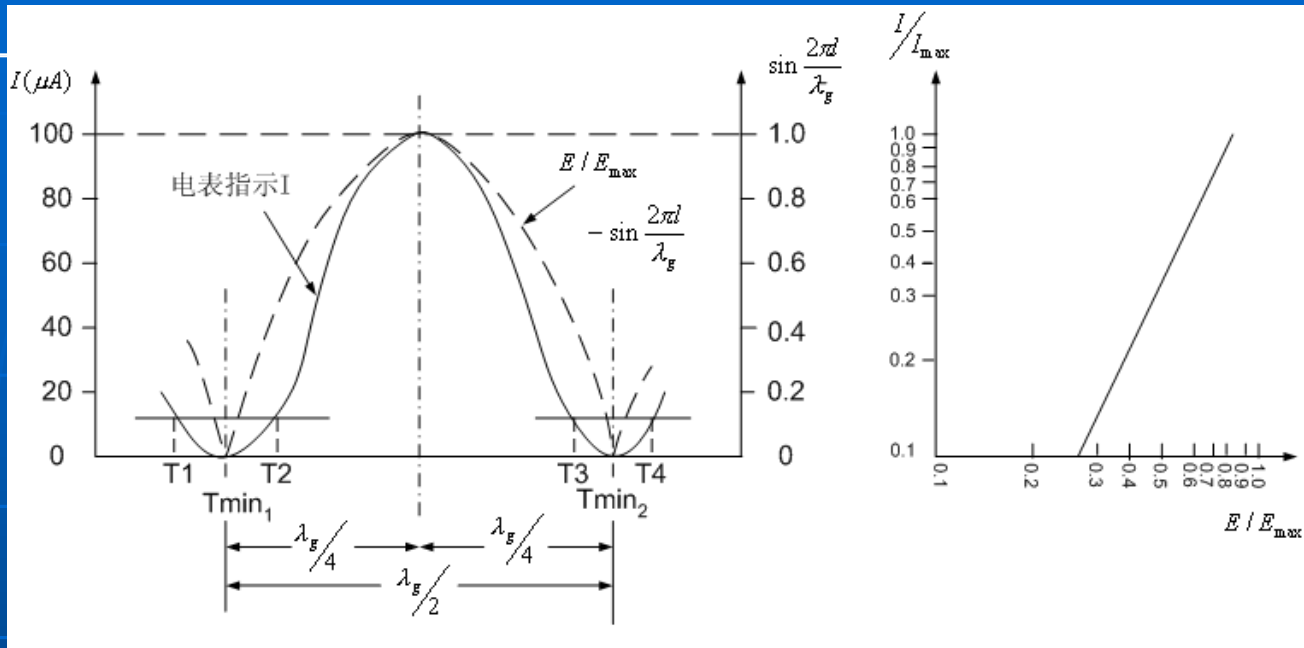
带入 (4) 式 $I = kE^n$ ，可以得到：

$$I = k' \left| \sin\left(\frac{2\pi l}{\lambda_g}\right) \right|^n \quad (6)$$

式中, $k' = kE_{\max}^n$



电磁场与电磁波测量实验



3a 检波电流、相对场强和位置的关系 3b 对数坐标下的定标曲线

图3 检波晶体特性校准

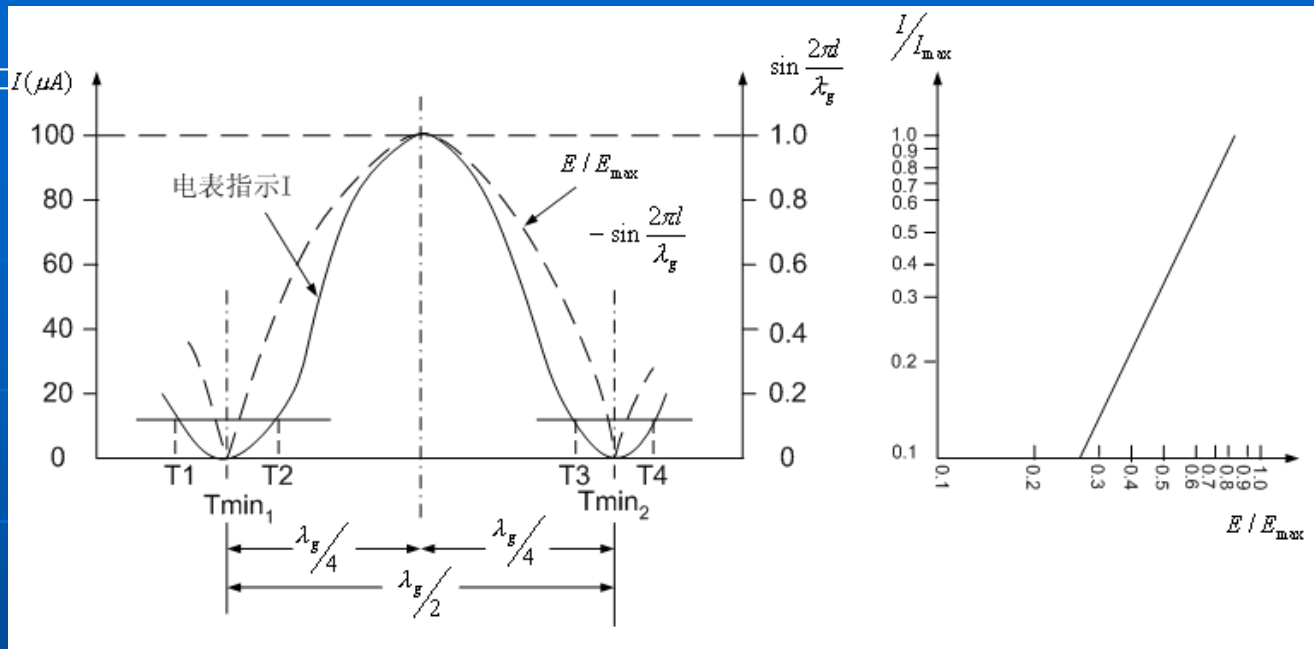
图3a中的虚线为 E/E_{max} 与位置的关系。

图3a中的实线为归一化检波电流 $I/I_{max} = f(E/E_{max})$ 与位置的关系。

在 $\lambda_g/4$ 范围内, 移动探针, 选取场强的相对值 $| \sin(\frac{2\pi l}{\lambda_g}) |$ 为0.1, 0.2, 0.3, 1.0时的位置处, 读取 I 做出的曲线, 是晶体二极管的定标曲线, 为图3a中的实线所示。



电磁场与电磁波测量实验



3a 检波电流、相对场强和位置的关系

3b 对数坐标下的定标曲线

图3 检波晶体特性校准

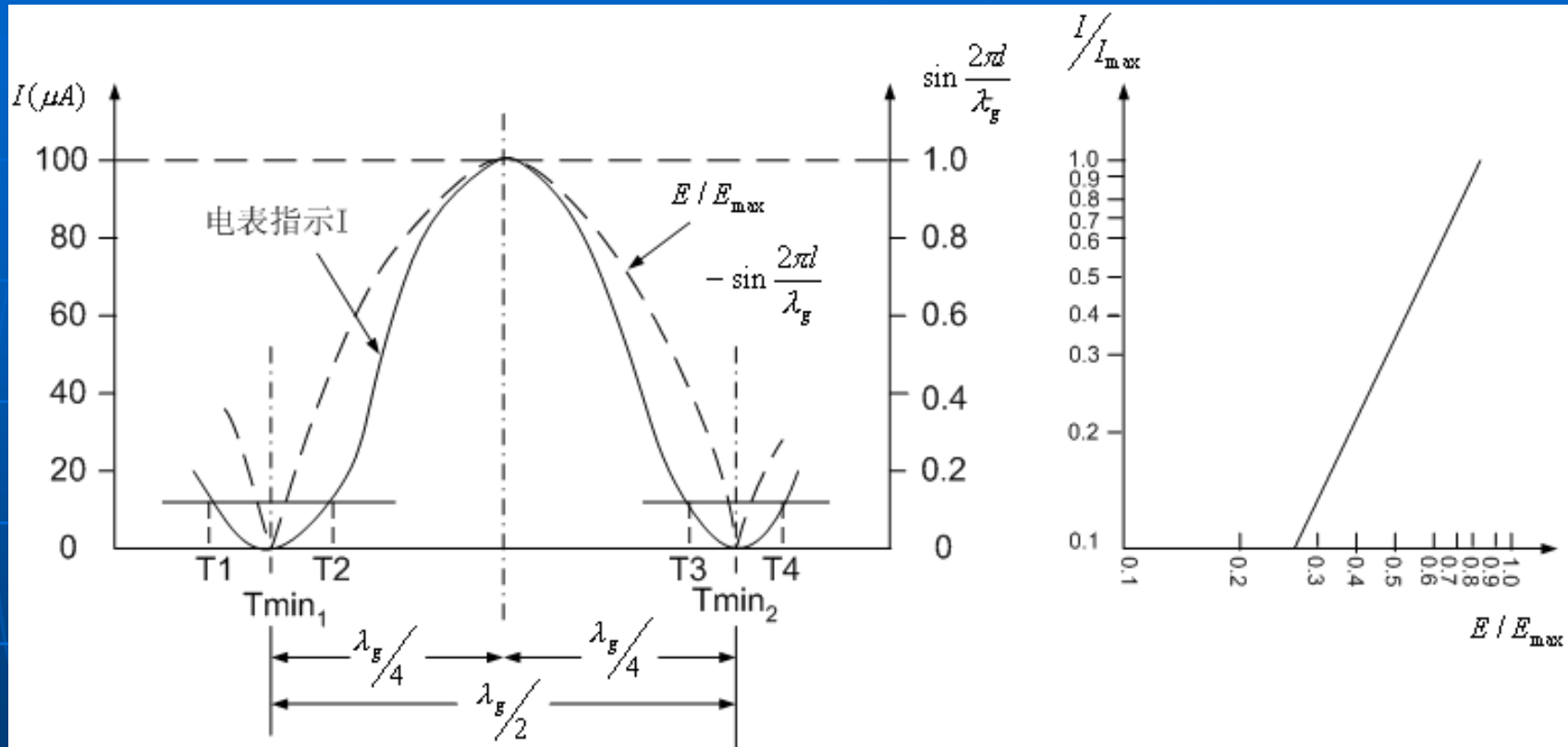
如果对 (6) 式 $I = k' \left| \sin\left(\frac{2\pi l}{\lambda_g}\right) \right|^n$ 左右两边取对数,

并令 $k' = 1$, 得到: $\log I = n \log \left| \sin\left(\frac{2\pi l}{\lambda_g}\right) \right| = n \log (E / E_{\max})$ (7)

如将 I 和 $\left| \sin\left(\frac{2\pi l}{\lambda_g}\right) \right|$, 画在全对数坐标纸上, 连成平滑曲线如图3b所示, 该曲线斜率即为晶体检波率 n 。



电磁场与电磁波测量实验



3a 检波电流、相对场强和位置的关系 3b 对数坐标下的定标曲线
图3 检波晶体特性校准



电磁场与电磁波测量实验

第二种定标方法

测量线终端短路，测出半峰值读数间的距离**W**，即测量测量线上检波电流对峰值电流为**0.5**时两个等指示度之间的距离**W**，晶体检波律**n**可以根据下式计算：

$$n = \frac{\log 0.5}{\log \cos \left(\frac{\pi W}{\lambda_g} \right)} \quad (8)$$



电磁场与电磁波测量实验

实验室内大多数微波测试系统是属于小信号工作状态，因此，晶体检波律近似为平方律，取 **$n=2$** 。

需要指出：晶体二极管的定标曲线和检波率随时间、温度、湿度变化较大、校准工作要经常进行。晶体检波器校准曲线在测量驻波系数时极为重要，因为驻波系数的定义是 $\rho = \frac{|E|_{\max}}{|E|_{\min}}$ ，而在小信号平方律检波时

$$\rho = \frac{|E|_{\max}}{|E|_{\min}} = \frac{\sqrt{I_{\max}/k}}{\sqrt{I_{\min}/k}} = \sqrt{\frac{I_{\max}}{I_{\min}}} = \sqrt{\frac{U_{\max}}{U_{\min}}} \quad (9)$$

故驻波系数的测量转化为晶体检波电流的测量。



2) 实验步骤

$$E / E_{\max} = \sin\left(\frac{2\pi l}{\lambda_g}\right)$$

所测量的波导波长:					波节点 l_0 的位置:						
相 对 电 场 强 度	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
l (理 论 计 算 公 式)	0	$\lambda_g / 63$	$\frac{\lambda_g}{31.3}$	$\frac{\lambda_g}{20.6}$	$\frac{\lambda_g}{15.3}$	$\frac{\lambda_g}{12}$	$\frac{\lambda_g}{9.8}$	$\frac{\lambda_g}{8.1}$	$\frac{\lambda_g}{6.8}$	$\frac{\lambda_g}{5.6}$	$\frac{\lambda_g}{4}$
l (理 论 值)											
测 量 点 实 际 位 置 $l_0 + l$											
U											