

第八章微波測量

8.1 概述

微波測量是研究微波理論和技術的定量實驗方法。微波理論是否正確，只有通過生產實踐和科學實驗才能加以檢驗。各種微波設備和微波元件、器件的設計、生產過程、以及成品、半成品的檢驗。都需要利用微波測量獲得必要的數據，檢驗其質量。微波測量技術還作為一種常用的實驗項目列入實驗物理的內容。

8.2 大駐波比的測量

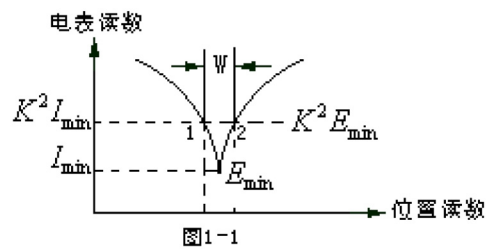
實驗目的

1. 了解大駐波比的測量方法。2. 掌握用等指示法和功率衰減法測量大駐波比。

一、實驗原理

1. 等指示度法

基本原理：當駐波比大於6時，駐波最大點和最小點的電平相差很大，有時即使將最大點讀數放在指示器上接近滿度偏轉的地方，也不能準確獲得最小點的讀數，或者在最小點，檢波晶體的輸出能使指示電錶有一定的偏轉，則在最大點處，由於輸出很大，將使檢波晶體的檢波特性由平方律轉變為直線律，按直接法測量駐波比會有較大的誤差。因此，大駐波比的測量，通常改用測量最小點附近駐波分佈規律的間接方法，最常用的是二倍最小功率法，它通過測量波導波長及二倍最小點之間的距離，從而求得駐波比。



如圖所示，在駐波最小點兩側取場強為最小點 K^2 倍的兩點1和2，其寬度為 W ， K 值可任意選定，以駐波最小點為參考點，可導出距離駐波最小點為 $W/2$ 處的相對場強。

在駐波最小點處相對場強的大小為：

$$E_{\min}^2 = 1 + |\Gamma|^2 - 2|\Gamma|$$

那麼，距離駐波最小點為 $W/2$ 處的相對場強的大小為

$$E^2 = 1 + |\Gamma|^2 - 2|\Gamma| \cos \beta W$$

K 的規定有

$$\begin{aligned} K^2 &= \frac{E^2}{E_{\min}^2} = \frac{1 + |\Gamma|^2 - 2|\Gamma| \cos \beta W}{1 + |\Gamma|^2 - 2|\Gamma|} \\ &= 1 + \frac{2|\Gamma|(1 - \cos \beta W)}{1 + |\Gamma|^2 - 2|\Gamma|} \\ &= 1 + \frac{4\Gamma \sin^2 \frac{\beta W}{2}}{1 + |\Gamma|^2 - 2|\Gamma|} \end{aligned}$$

因為

$$1 + \frac{4|\Gamma|}{1 + |\Gamma|^2 - 2|\Gamma|} = \left(\frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \right)^2 = S^2$$

所以

$$\frac{4|\Gamma|}{1+|\Gamma|^2-2|\Gamma|} = S^2 - 1, \text{ 代入 (3-3a) 式得}$$

$$K^2 = 1 + (S^2 - 1) \sin^2 \frac{\beta W}{2}$$

整理後可得駐波比為：

$$S = \frac{\sqrt{K^2 - \cos^2 \frac{\beta W}{2}}}{\sin \frac{\beta W}{2}}$$

設檢波晶體為平方律檢波，測量時取 $K^2 = 2$ ，即測量點為駐波最小功率的兩倍，同時利用 $\beta = 2\pi/\lambda_g$ 的關係，則式

(3-4) 可改寫為：

$$S = \frac{\sqrt{2 - \cos^2 \frac{\pi W}{\lambda_g}}}{\sin \frac{\pi W}{\lambda_g}} = \sqrt{1 + \frac{1}{\sin^2 \frac{\pi W}{\lambda_g}}} \quad (3-5)$$

當駐波比 $S > 10$ 時， $\frac{\pi W}{\lambda_g} \ll 1, \frac{\cos \pi W}{\lambda_g} = 1, \frac{\sin \pi W}{\lambda_g} = \frac{\pi W}{\lambda_g}$ ，上式可化簡為

$$S = \frac{\pi W}{\lambda_g} \quad (3-6)$$

因此，利用二倍最小功率法就可以把測量大駐波比的問題歸結為測量波導波長 λ_g 和二倍於最小點功率的寬度 W 。而波導波長的測量，則可用測量線測定兩相鄰最小點的距離而確定。

為了測量大駐波比，必須提出一些改進的方法。

2. 功率衰減法

功率衰減法是一種比較簡便而又準確的駐波測量方法，它避免了晶體檢波律的影響，把駐波最大值、最小值的測量轉化為測量衰減量的改變，可測任意駐波比，特別適合於測大駐波比，其測量裝置如圖所示。

測量時，先把測量線的探針置於駐波最小點，記下電錶指示讀數 A_{\min} 及精密衰減器的讀數 A_{\min} ，再移動探針置於駐波最大點，改變精密衰減器的衰減量，使電錶讀數仍為 A_{\min} ，這時衰減器的讀數 A_{\max} ，則有：

$$(A_{\max} - A_{\min}) \text{db} = \frac{101g P_{\max}}{P_{\min}} = 101g S^2 = 201g S$$

$$\text{所以 } \lg S = \frac{(A_{\max} - A_{\min})}{20} \quad \text{即 } S = 10^{\frac{A_{\max} - A_{\min}}{20}}$$

用這種方法測量的駐波比可達1000以上。

二、實驗裝置

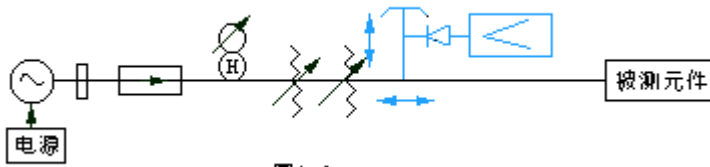


圖 1-2

三、實驗內容和步驟

1. 用等指示法測量單螺釘的電壓駐波比。

- (1) 測量線中斷接匹配負載，按操作規程使信號源工作在方波調製狀態，並獲得最佳輸出。
- (2) 調整測量線的調諧探針電路，使測量線工作在最佳狀態。
- (3) 測量線終端換接短路板，測量波導波長 λ_{EM} ，重複三次。
- (4) 測量線終端換接單螺調配器和匹配負載，調節單螺釘穿伸度約為 7mm，測量線探針移至駐波節點，調整微波可變

衰減器和指示器的靈敏度，必要時可加深測量線探針的穿伸度，使指示電錶指針接近滿度的一半，讀取駐波節點幅值 I_{min} 。

- (5) 慢慢移動探針，在駐波最小點兩旁找電邊指示讀數為 $2I_{min}$ 的兩個等指示度點，應用測量線標尺刻度或指針式測微計（百分錶）讀取這二個等指示度點對應的探針位置讀數值 d_1 和 d_2 ，重複三次。

$$S = \frac{\lambda_{EM}}{W}$$

- (6) 根據公式 $W = |d_2 - d_1|$ 計算駐波比，式中 $W = |d_2 - d_1|$ 。

2. 用功率衰減法測量單螺釘的駐波比。

- (1) 不改變測量線終端待測負載的狀態，移動測量線探針至駐波最小點，調整微波可變衰減器和指示器靈敏度，使指示電錶讀數大於滿度的三分之二，讀取電錶指示值 I_{min} 及精密可變衰減器的衰減量 A_{min} ，並記錄數據。

- (2) 慢慢移動測量線探針，同時調整精密可變衰減器，使電錶指示值不超過滿度，直至探針移到駐波最大點處，仔細調整精密衰減器的衰減量，使指示電錶讀數仍為 I_{min} ，讀取此時精密可變衰減器的衰

- (3) 根據公式 (3-9) 計算駐波比 S。

8.3 互易二端口網絡 S 參數的測量

- 三點法
- 多點法
- 測量實例

8.4 互易多端口網絡 S 參數的測量

- N 端口網絡 S 參數的測量方法
- 多端口網絡 S 參數的測量方法

8.5 定向耦合器方向性的測量

實驗目的：

1. 研究定向耦合器的特性及應用。
2. 掌握定向耦合器主要特性參量的測量。

一、實驗原理

定向耦合器是微波測量和其它微波系統中的常用元件，更是近代掃頻反射計的核心部件，因此，熟悉定向耦合器的特性，掌握其測量方法是重要的。定向耦合器是一種有方向性的微波功率分配器件，通常有波導、同軸線、帶狀線及微帶等幾種類型。定向耦合器包含主線和副線兩部分，在主線中傳輸的微波功率經過小孔或間隙等耦合元件，將一部分功率耦合到副線中去，由於波的干涉和迭加，使功率僅沿副線的一個方向傳輸（稱“正方向”），而在另一方向幾乎沒有（或極少）功率（稱“反方向”）。圖示出兩種波導定向耦合器。

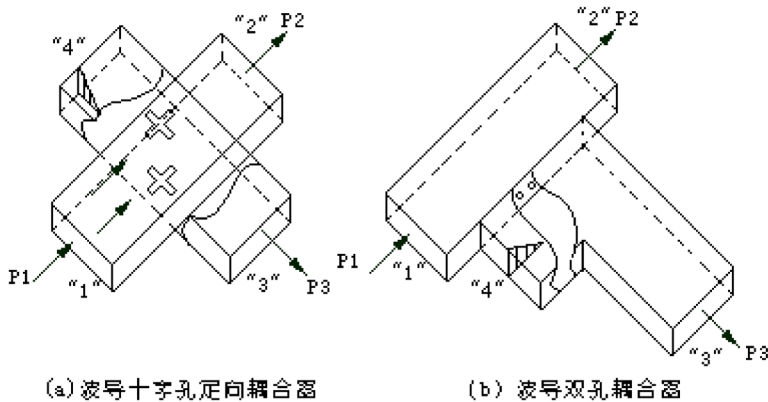


圖 2-1

1. 定向耦合器的特性參量定向耦合器的特性參量主要是1)耦合度,2)方向性,3)輸入駐波比,4)帶寬範圍。

(1) 耦合度（過渡衰減）

輸入至主線的功率與副線中正方向傳輸的功率之比稱為定向耦合器的耦合度C，也稱過渡衰減。

$$C = 10 \lg \frac{P_1}{P_3} (db) = 20 \lg \left(\frac{U_1}{U_3} \right) (db) \quad (9-1)$$

式中 P_1, U_1 分別為主線輸入端的功率及電壓， P_3, U_3 分別為副線正方向傳輸的功率及電壓。

(2) 方向性

副線中正方向傳輸的功率與反方向傳輸的功率之比稱為定向耦合器的方向性D。

$$D = 10 \lg \left(\frac{P_3}{P_4} \right) (db) = 20 \lg \left(\frac{U_3}{U_4} \right) (db) \quad (9-2)$$

式中 P_3, U_3 分別為耦合至副線正方向傳輸的功率及電壓； P_4, U_4 分別為耦合至副線反方向傳輸的功率及電壓。有時，反映定向程度的指標也用隔離度來表示。隔離度表示輸入至主線的功率與副線反方向傳輸的功率之比，即

$$D' = 10 \lg \left(\frac{P_1}{P_4} \right) (db) = 20 \lg \left(\frac{U_1}{U_4} \right) (db) \quad (9-3)$$

根據以上定義可知：

$$D = 10 \lg \left(\frac{P_3}{P_4} \right) = 10 \lg \left(\frac{P_1}{P_4} \right) - 10 \lg \left(\frac{P_1}{P_3} \right) = D' - C \quad (9-4)$$

故定向耦合器的方向性等於隔離度與耦合度之差。

一個理想的定向耦合器，方向性為無窮大，即功率由主線“1”輸入，則副線端僅“3”有輸出，而端“4”無輸出；反之，若功率由主線端“2”輸入，副線端僅“4”有輸出，端“3”無輸出。然而實際情況並非如此。

(3) 輸入駐波比

在匹配的傳輸線中插入定向耦合器時產生的駐波比即為輸入駐波比。

(4) 帶寬範圍

滿足上述參量的一定要求的工作頻率範圍即為帶寬範圍。

2. 定向耦合器測量電壓駐波比的原理

$$S = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|}$$

根據公式 $S = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|}$ ，可知，測量一個元件的駐波比，只需分別測量入射波和反射波的電場幅度。而利用定向耦合器即能將入射波和反射波分離出來。測量時，把定向耦合器反向接入測量系統，先在其主線輸出端接待測微波元件，則副波導輸出端

指示器讀數即為反射波參考電平 I_L ；再以全反射短路器代替待測元件，副波導指示器讀書 I_S 即為入射波參考電平，因而反射係數

$$|\Gamma| = n \sqrt{\frac{I_L}{I_S}} \quad (9-5)$$

式中 n 為晶體檢波律。由於必須知道晶體檢波律，這就給測量帶來麻煩。通常可改測“回波損失”，再加以換算。這種方法可採用精密衰減器，分別測定定向耦合器主線輸出端接待測元件和短路時，副線輸出端有相同指示讀數的精密衰減器讀數 A_L 及 A_S ，則待測元件的“回波損失” $L = A_S - A_L (db)$ ，而反射係數與“回波損失”具有下列關係：

$$20 \lg |\Gamma| = -L \quad (9-6)$$

二、實驗裝置

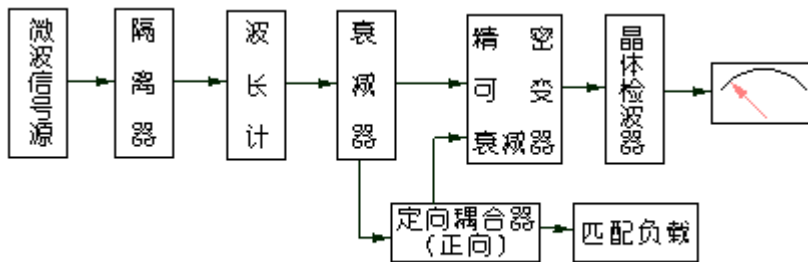


圖2-2

三、實驗內容及測量步驟

內容1. 測量十字形定向耦合器的耦合度及方向性。2. 用定向耦合器測量電壓駐波比。

1. 耦合度的測量

測量時，首先測量主波導輸入端的功率電平，然後將耦合器正向接入測量系統，如下圖所示，測出波導正向輸出端的功率電平，則耦合度 C 可根據公式(9-1)計算；也可以改變精密衰減器的衰減量，使兩種情況下的檢測指示器讀數相等，則衰減器的讀數即為耦合度 C 。

2. 方向性的測量

測量定向耦合器的方向性可根據不同的精度要求選用不同的方法，本實驗採用直接衰減法測量。反向連接定向耦合器，主波導輸出端接匹配負載，使副波導端“3”輸出指示讀數在滿度的三分之二以上，讀取精密衰減器的衰減量。然後正向連接定向耦合器，加大精密可變衰減器的衰減量，直至端“3”輸出指示恢復到原來的偏轉讀數，讀取此時精密衰減器的衰減量，兩次衰減量之差即為待測定向耦合器的方向性。

3. 測量滑動單螺釘的駐波比

滑動單螺釘置於正中位置，螺釘穿伸度置於5-6mm處：

(1) 用駐波測量線測量滑動單螺釘的駐波比。

(2) 用被測的定向耦合器測量滑動單螺釘的駐波比。首先用精密可變衰減器測出“回波損失”，然後用式(9-6)計

算出反射係數，再求出駐波比。

8.6 介質复介電常數的測量

- 複數超越方程的圖解法
- 複數超越方程的數值解法