

實驗九

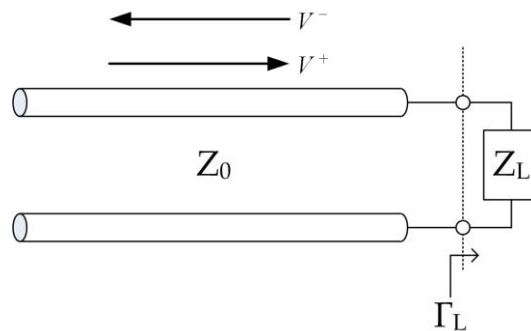
9

反射係數與穿透係數量測

9-1 反射係數量測

實驗原理：

根據傳輸線原理，微波信號在傳輸線上傳播時，若傳輸線在負載端其負載阻抗與傳輸線特徵阻抗不匹配時，如圖一所示，就會產生反射波，此時入射波與反射波共存於此傳輸線，並且形成駐波。駐波現象在實驗一，係使用開槽線（**slotted line**）觀察駐波現象，並且由量測之電壓駐波比（**VSWR**），求得反射係數的大小。



圖一、傳輸線之負載接 Z_L 負載阻抗。

反射係數的定義，為反射波電壓與入射波電壓的比值，如下式

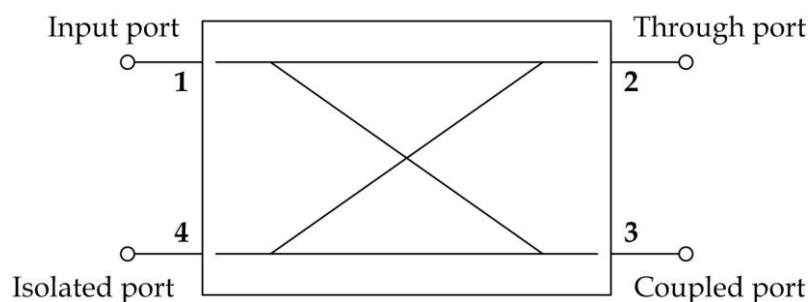
$$\Gamma = \frac{V^-}{V^+}$$

若將反射波與入射波的電壓分別求出，則可利用上式直接求得反射係數。然而實驗一和實驗三所使用的開槽線，無法分別量測反射波的電壓與入射波的電壓，因此需使用可將反射波與入射波適當分開的元件，以便分別量測入射波與反射波的電壓。

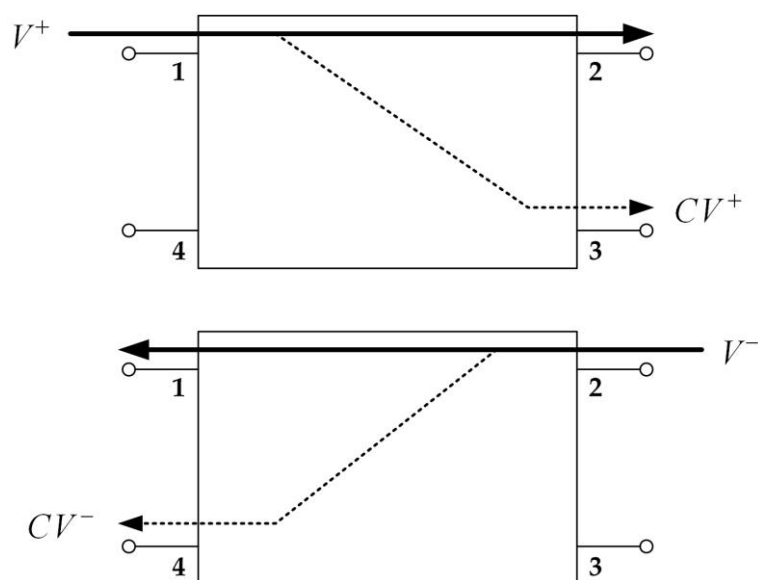
在實驗七中，已使用一個四埠微波元件－方向耦合器（參考實驗七之實驗原理部份）。方向耦合器方塊圖如圖二所示。信號從埠 1 輸入時，大部份的信號將由埠 2 輸出，但會有一部份的信號透過耦合方式，輸出至埠 3。埠 3 輸出信號的大小由耦合量（**coupling coefficient, C**）的大小決定。理想狀況下，埠 4 不會有信號輸出。方向耦合器是一個具有對稱性的微波元件，因此若信號由埠 2 輸入，則多數信號會由埠 1 輸出，部份信號耦合至埠 4，而且埠 3 在理想狀況下，無信號輸出。

如圖三所示，由埠 1 至埠 2 輸出的信號有一部份信號耦合到埠 3，同理由埠 2 往埠 1 輸出的信號會部份耦合至埠 4。當埠 1 與埠 2 之間同時有信號輸入時，則可分別從埠 3 和埠 4 的輸出，

可得到兩個不同輸入方向的耦合信號。因此可以使用方向耦合器，分別得到反射波大小與入射波大小的比值，進而求得反射係數。



圖二、方向耦合器。



圖三、由埠 1 與埠 2 不同方向輸入之信號經耦合分別輸出至埠 3 與埠 4。

利用方向耦合器求反射係數的原理，可使用圖四說明。若有一未知的負載與方向耦合器的埠 2 相接，信號源輸入至方向耦合器的埠 1，並假設其大小為 V_i ，方向耦合器的埠 3 與埠 4 則分別接到檢波器 (detector)，埠 1 的信號源除了耦合部份的能量到埠 3 以外，大多數的信號輸出至埠 2。然而埠 2 上有一負載，假設其反射係數為 Γ ，產生的反射波會再次經由埠 2 輸入至方向耦合器，並且耦合部份信號至埠 4。由於在耦合器的埠 3 與埠 4，分別接上檢波器 R 與檢波器 B (如圖四所示)，因此量測埠 3 與埠 4 所輸出之微波信號大小，可以在埠 3 得到入射波 V_R ，而在埠 4 得到反射波 V_B 。假設方向耦合器有完美的隔離度，並且信號從埠 1 到埠 2 時無插入損耗 (insertion loss)，則 V_R 與 V_B 的大小可以下式表示

$$|V_R| = C|V_i|$$

$$|V_B| = C|\Gamma||V_i| = C|\Gamma||V_i|$$

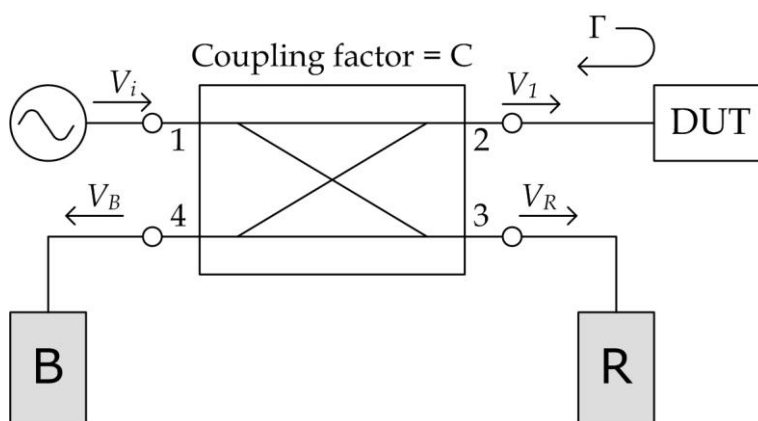
上式中的 C 為耦合係數（參考實驗七之實驗原理），可表示如下（『埠』之定義參考圖二）

$$C = \sqrt{\frac{P_3}{P_1}} = |S_{31}| = |S_{42}|$$

其中 P_1 為輸入埠 1 之信號功率， P_3 為從埠 3 輸出之信號功率。因此可以利用求得的 V_R 與 V_B 之絕對值，求得此未知負載之反射係數絕對值，如下式所示

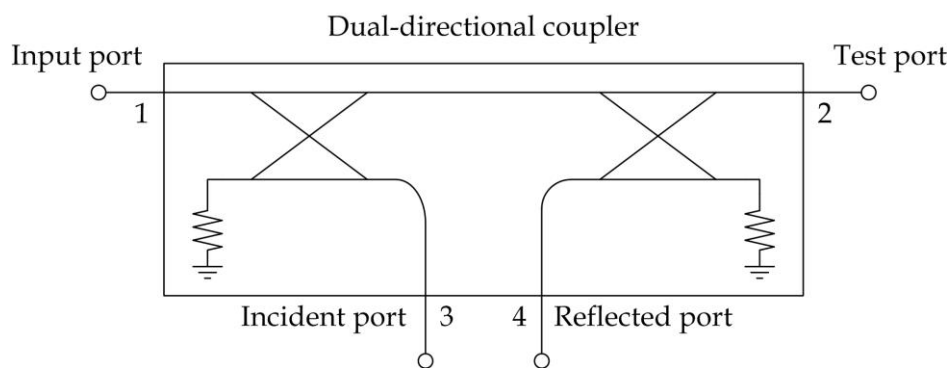
$$\frac{|V_B|}{|V_R|} = \frac{C|\Gamma||V_i|}{C|V_i|} = |\Gamma|$$

因此可以透過量測埠 3 與埠 4 輸出之信號大小，求得反射係數的大小。



圖四、利用方向耦合器測定反射係數。

一般使用之方向耦合器，通常將 **isolated** 埠（圖二之埠 4）於內部連接匹配負載，吸收埠 4 輸出之信號，因此通常方向耦合器有三個埠，而三埠方向耦合器無法同時（**simultaneously**）得到入射波與反射波的輸出。本實驗係用雙向方向耦合器（**dual-directional coupler**）量測反射係數，雙向耦合器內部的方塊圖，大致上可用圖五表示。與一般的方向耦合器相比，雙向耦合器有更高的指向性（**directivity, D**），此優點可使反射係數的量測更準確。本實驗使用 **Agilent 772D** 雙向耦合器（資料參見附錄 A-10）量測待測元件的反射係數大小，並搭配 **Agilent 423B** 檢波器，偵測入射波與反射波信號大小，經由三用電表或示波器，可分別量得 V_R 與 V_B 的電壓大小，進而求得反射係數的大小。



圖五、雙向方向耦合器示意圖。

實驗器材：

1. 微波信號源(Agilent N5183A)
2. 二極體檢波器(Agilent 423B)
3. 雙向方向耦合器(Agilent 772D)，資料參見附錄 A-10
4. 三用電表或示波器
5. 網路分析儀(Agilent N5230A、E5071C)
6. 同軸校準器(Agilent 85052D 50 Ω 3.5mm calibration kit)
7. 同軸線(3.5mm connector)
8. 轉接頭(N - SMA)
9. 轉接頭(HP X281A adapter N-WR90)
10. 可調式衰減器 #506
11. 短路終端板 #532

實驗目的：

學習使用方向耦合器量測反射係數的原理。

實驗步驟：

1. 將微波信號源頻率訂為 10 GHz，輸出功率為 10 dBm。
2. 將微波信號源與 Agilent 772D 雙向方向耦合器的饋入埠(input port)相接，並且將二個 Agilent 423B 二極體檢波器，分別接到 Agilent 772D 雙向方向耦合器的反射埠(reflected port)與輸入埠(incident port)。**注意：**不可用手指直接接觸二極體檢波器之中心線，以免因靜電損害二極體檢波器。
3. 將接到輸入埠的檢波器的 DC 輸出與示波器相接，此 DC 電壓輸出為 V_R 。
4. 將接到反射埠的檢波器的 DC 輸出與示波器相接，此 DC 電壓輸出是為 V_B 。
5. 將可調衰減器與短路板接上，衰減器調整到 6dB 衰減量，作為本實驗所使用之未知負載，並將負載與 Agilent 772D 雙向方向耦合器的測試埠(test port)相連接。觀察示波器上 V_R 與 V_B 的大小並記錄於表中，及計算其比值，所得即是此負載在 10 GHz 時反射係數的大小。
6. 將負載的衰減器之衰減量調整為 0dB 與 24dB，重複步驟 5。
7. 使用網路分析儀並參考實驗五之單埠元件反射係數校準及量測方法，量測待測物之反射係數，並記錄於表中。

※各組思考問題 9-1：

1. 試比較本實驗與其他實驗所使用的反射係數量測方式的不同，實驗一（或實驗八）亦量測過一樣的元件，請討論兩者的不同。
2. 使用方向耦合器量測反射係數時，主要可能的誤差來自於哪裡？試討論之。
3. 若欲量測某負載在 4 GHz ~ 10 GHz 的反射係數大小，使用本實驗的 Agilent 772D 雙向耦合器是否可以辦到？若可以，請簡單敘述您的想法。
4. 對於一個方向耦合器（參考實驗七的實驗原理），所謂的指向性（directivity, D）是指埠 3 和埠 4 輸出功率的比值。因此，若本實驗所使用的方向耦合器指向性為 25dB。在量測反射係數的場合下，試問其所能測量的最小電壓駐波比為多少？

參考資料：

- [1] *Manual of Agilent 772D/773D Directional Coupler.*
- [2] *Manual of Agilent 423B Low Barrier Schottky Diode Detector.*
- [3] D. M. Pozar, *Microwave Engineering*, 4th ed., John-Wiley, 2011.

9-2 反射係數與穿透係數量測

實驗原理：

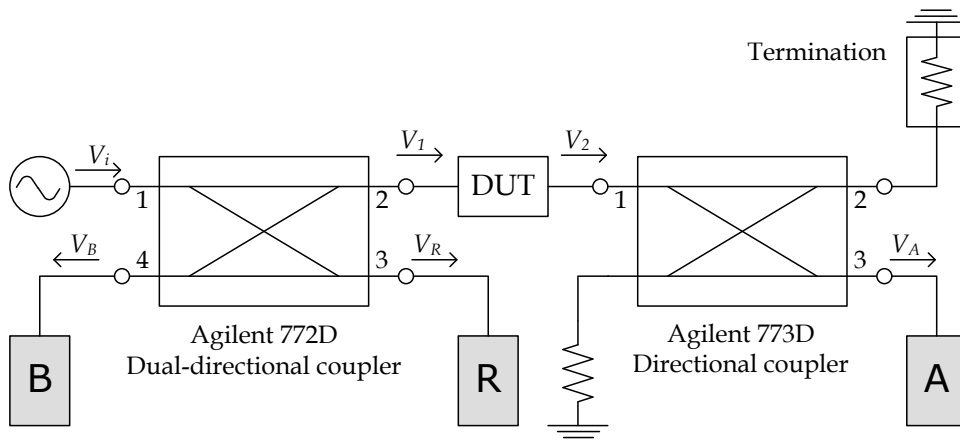
當信號從第 j 埠輸入、第 i 埠輸出時，輸出電壓大小與輸入電壓大小的比值，也就是在實驗二中所提到的 S_{ij} （散射參數），其物理意義就是穿透係數。對於一個雙埠元件而言，若信號由埠 1 輸入，由埠 2 輸出時，其穿透係數定義如下：

$$T = S_{21} = \frac{V_2^+}{V_1^+}$$

其中 V_1^+ 指的是輸入至埠 1 的入射信號， V_2^+ 指的是從埠 2 輸出的信號。

在實驗二中，我們使用功率計，量測一個微波元件的衰減量以及插入損耗，由於在元件的輸入端與輸出端皆有許多轉接頭及同軸線，因此為了求得正確的插入損耗，我們使用功率計的『relative』設定功能，扣除轉接頭與同軸線所造成微小的損耗，進而求得更精確的插入損耗值。

然而，實驗二所使用的方式只能量測穿透係數的大小，若是希望除了能得到穿透係數的量測值之外，亦可同時得到反射係數的測量值，則可以使用 9-1 節所用的雙向耦合器，再搭配一只單向耦合器，如圖六所示，分別量得入射信號大小、反射信號大小、以及穿透信號的大小，即可求得待測元件的反射係數以及穿透係數。



圖六、反射係數與穿透係數量測裝置示意圖。

如圖六所示，若信號源輸入信號大小為 V_i ，並且假設方向耦合器有完美的隔離度，且信號由埠 1 到埠 2 無任何損失，假設雙向方向耦合器 Agilent 772D 與方向耦合器 Agilent 773D（資料參見附錄 A-10）的耦合係數皆為 C （ C 的定義見 9-1 節）。圖六中 A、B、與 R 為檢波器，因此，可得知

$$|V_R| = C|V_i|$$

因此檢波器 R 接收到的信號 V_R 正比於入射波，又

$$|V_B| = C|\Gamma||V_i| = C|\Gamma||V_i|$$

其中 Γ 為待測元件的反射係數，因此檢波器 B 接收到的信號 V_B 正比於反射波，另外未反射的信號輸入至待測元件後，其輸出信號 V_2 可表為

$$|V_2| = |T||V_1| = |T||V_i|$$

其中 T 為待測元件的穿透係數。此信號再輸入至方向耦合器 Agilent 773D，則在耦合端的輸出信號 V_A 可表示為

$$|V_A| = C|V_2| = C|T||V_1| = C|T||V_i|$$

因此檢波器 A 接收到的信號 V_A 正比於信號經待測元件之後所輸出的穿透信號。若將檢波器 A、B、R 所得到的數據，由反射係數與穿透係數的定義可得到下列之結果

$$\frac{|V_B|}{|V_R|} = \frac{C|\Gamma||V_i|}{C|V_i|} = |\Gamma|$$

$$\frac{|V_A|}{|V_R|} = \frac{C|T||V_i|}{C|V_i|} = |T|$$

因此檢波器 B 輸出電壓與檢波器 R 輸出電壓之比值，即為待測元件之反射係數，檢波器 A 輸出電壓與檢波器 R 輸出電壓之比值，即為待測元件之穿透係數，本實驗將採用此方法量測待測元件之反射係數與穿透係數。

實驗器材：

- 1~10. 同 9.1 節
11. 方向耦合器(Agilent 773D)，資料參見附錄 A-10。
12. 黑色固定衰減器 #513A

實驗目的：

學習使用方向耦合器同時量測反射係數與穿透係數的原理。

實驗步驟：

1. 依照圖六所示之量測系統方塊圖組合實驗裝置，將微波信號源與 Agilent 772D 雙向方向耦合器的饋入埠(input port)相接，將衰減器與 Agilent 772D 雙向方向耦合器的測試埠(test port)相接，衰減器調整到 6dB 的衰減量，再與 Agilent 773D 方向耦合器的饋入埠相連接。
2. 將 Agilent 773D 方向耦合器的輸出埠(output port)接上 50 Ω 負載。
3. 將三個 Agilent 423B 二極體檢波器分別接到 Agilent 772D 雙向方向耦合器的反射埠(reflected port)(檢波器 B)，與輸入埠(incident port)(檢波器 R)，以及 Agilent 773D 方向耦合器的耦合埠(coupled port)(檢波器 A)。
4. 將接到 Agilent 772D 雙向方向耦合器的輸入埠檢波器 R 之 DC 輸出與示波器相接，此 DC 電壓輸出是為 V_R 。

5. 將接到 Agilent 772D 雙向方向耦合器的反射埠檢波器 B 之 DC 輸出與示波器相接，此 DC 電壓輸出是為 V_B 。
6. 將接到 Agilent 773D 方向耦合器的耦合埠檢波器 A 之 DC 輸出與示波器相接，此 DC 電壓輸出是為 V_A 。
7. 觀察示波器上 V_R 、 V_B 與 V_A 的大小並記錄於表中，並求出 V_B/V_R 與 V_A/V_R ，所得到的即是此負載在 10 GHz 時反射係數及穿透係數的大小。
8. 將衰减器之衰减量調整為 0dB、6dB 與 24dB，重複步驟 7。
9. 換上黑色的固定式衰减器，重複步驟 7。
10. 使用網路分析儀並參考實驗六之二埠元件反射係數及穿透係數之校準及量測方法，量測待測物之反射係數及穿透係數的大小，並記錄於表中。

※各組思考問題 9-2：

1. 實驗一與實驗二（或實驗六與實驗八）亦量過同樣的元件，試比較本實驗與其他實驗的方法之結果，並且請討論本實驗之方法主要誤差為何？
2. 本實驗量測穿透係數時，通過待測元件之微波信號先經由 **Agilent 772D** 方向耦合器耦合到此耦合器的輸出埠(**output port**)，才接上檢波器 **A**。為何不將檢波器 **A** 接到待測元件的輸出埠，直接接收通過待測元件之微波信號？
3. 本實驗所量到的反射係數與穿透係數皆只能得到絕對值的大小，在實驗五到實驗八之中係使用向量網路分析儀 (**vector network analyzer**)，此儀器量測反射係數與穿透係數的基本原理與本實驗的原理一樣，但向量網路分析儀有檢測相位的能力（參見實驗五的思考問題），試討論有沒有辦法不使用網路分析儀，就可以得到反射係數與穿透係數的相位。

參考資料：

- [1] *Manual of Agilent 772D/773D Directional Coupler.*
- [2] *Manual of Agilent 423B Low Barrier Schottky Diode Detector.*
- [3] D. M. Pozar, *Microwave Engineering*, 4th ed., John-Wiley, 2011.

實驗九 實驗紀錄表

組別：

9-1 反射係數量測

反射係數大小量測

衰減器設定	V_B	V_R	V_B / V_R	V_B / V_R (dB)	網路分析儀 (dB)
0 dB					
6 dB					
24 dB					

9-2 反射係數與穿透係數量測

反射係數與穿透係數大小量測

衰減器	V_A	V_B	V_R	V_A / V_R	V_A / V_R (dB)	V_B / V_R	V_B / V_R (dB)	網路分析儀 反射係數 (dB)	網路分析儀 穿透係數 (dB)
0 dB									
6 dB									
24 dB									
固定式(黑)									