

# 多埠微波網路之 S 矩陣 量測技術

本文概述使用多埠向量網路分析儀及 2 埠向量網路分析儀，量測一多埠-微波網路 S 矩陣之相關技術。

瞿大雄

## 一、簡介

使用習知之 2-埠向量網路分析儀，量測一 2 埠微波網路之 S 矩陣  $[S_{ij}]$ ,  $i, j = 1, 2$ ，其量測設備、技術與校準方法均已商品化，如 Agilent 8510 系列及 Anritsu 37300 系列，為各微波生產廠商及實驗室用以量測微波晶體、元件、模組，乃至系統所必備。然而微波網路並非僅限於 2 埠網路，例如雙工器、方向耦合器及單刀多擲開關等，分別為 3、4 及多埠微波元件。且近日微波通訊電子之蓬勃發展，大為提高元件之整合性，各種多功能微波模組，造成多埠微波網路 S 矩陣之量測需要。本文係針對此一發展趨勢，概述使用向量網路分析儀，量測多埠微波網路 S 矩陣之相關技術。

基於 S 參數之頻域正弦穩態定義，多埠微波網路 S 矩陣量測方法，一般而言，可分為兩種。一種為使用多埠向量網路分析儀，經由相關校準器校準

量測系統後，直接量測該多埠網路之 S 矩陣，此與習知之 2 埠向量網路分析儀及 2 埠 OSLT (開路-短路 - 負載 - 對接) 校準方法不同，其量測設備與校準方法均相當複雜。另一種量測方法，係使用 2 埠向量網路分析儀，經由開關選擇量測埠，其他非量測各埠則連接至 50  $\Omega$  負載，依序量測各單一埠或兩埠間之 S 參數。此一方法，因使用非理想 50  $\Omega$  負載，故影響其量測值之準確性，而且涉及連接與拆卸負載埠和待測埠之繁複過程，造成量測值之重複性問題。以下兩節將分別敘述此兩種多埠微波網路 S 矩陣之量測技術。

## 二、使用多埠向量網路分析儀

圖 1 為一 n 埠向量網路分析儀之基本架構，主要包含信號源、單刀多擲開關 (single pole multi-throw switch)、以及 n 個雙向耦合器 (dual directional coupler)、調諧接收機 (tuned coherent receiver) 等。在量測時藉由單刀多擲開關，選擇待測多埠網路之輸入信號埠，經連接各個埠之雙向耦合器及調諧接

---

瞿大雄先生為美國賓州大學電機工程學研究所博士，現任國立台灣大學電機工程學系教授。

### 三、使用 2-埠向量網路分析儀

此一量測方法係使用習知之 2 埠向量網路分析儀，將待測之  $n$  埠微波網路中之  $(n-2)$  埠，以  $50 \Omega$  負載連接，依據 2 埠  $S$  參數定義分別依序量測。然而實際上所連接之負載均非理想之  $50 \Omega$ ，且當量測頻率升高時，負載之雜散效應，亦影響量測值之準確性。因此<sup>(4-6)</sup> 提出以嚴謹且複雜計算方法，求解考慮非理想負載時之多埠網路  $S$  矩陣。此外，使用此一方法量測需以重複動作，相當多次操作連接與拆卸負載及 2 埠向量網路分析儀，才可將所有埠之  $S$  參數均予以量測，因此造成量測之重複性，亦影響量測值之準確性。

為解決此一繁複操作及考慮非理想  $50 \Omega$  之相關計算問題，在參考文獻 7 和 8 中提出所謂降埠法，即對於一  $n$  埠網路，將其某一埠分別連接數個已知之負載，使該  $n$  埠網路之埠數降一階，而為數個  $(n-1)$  埠網路，再由此數個  $(n-1)$  埠  $S$  矩陣，計算求得原  $n$  埠網路之  $S$  矩陣。如此重複使用此降埠法，依序降低該  $n$  埠網路之階數，直至無法再降埠為止，或至可由 2 埠向量網路分析儀量測此該降埠網路為止，故原  $n$  埠網路之  $S$  矩陣，可由降埠最後之數個低階  $S$  矩陣量測值求得。此一降埠法不僅可解決使用  $n$  埠向量網路分析儀，或非理想  $50 \Omega$  負載之困難，並可大幅減少連接、不連接向量網路分析儀以及負載之繁複操作動作。

降埠法主要依據之概念如圖 2 所示，若將負載  $\Gamma_k$  連接至一  $n$  埠網路之第  $k$  埠，則該  $(n-1)$  埠  $S$  參數  $S_{ij}^{(k)}$ ，與原  $n$  埠之  $S$  參數  $S_{ij}$  關係為<sup>(7)</sup>。

$$S_{ij}^{(k)} = S_{ij} + \frac{S_{ik} S_{kj} \Gamma_k}{1 - S_{kk} \Gamma_k} \quad (1)$$

參考文獻 (8) 中敘述兩種降埠法，其中第一種降埠法係將某一埠連接三個不同已知負載，則該  $n$  埠之  $S$  參數，可由此三個  $(n-1)$  埠  $S$  參數求得。不過為求得唯一解，此一方法需將一未知之負載連接至另一埠，用以判斷正確解之正負號。第二種降埠法，則將某一埠連接兩個已知不同之負載，另一埠則連接第三個負載，則  $n$  埠  $S$  矩陣可由此三個  $(n-1)$  埠  $S$  矩陣求得。此第一種及第二種降埠法均可適用於

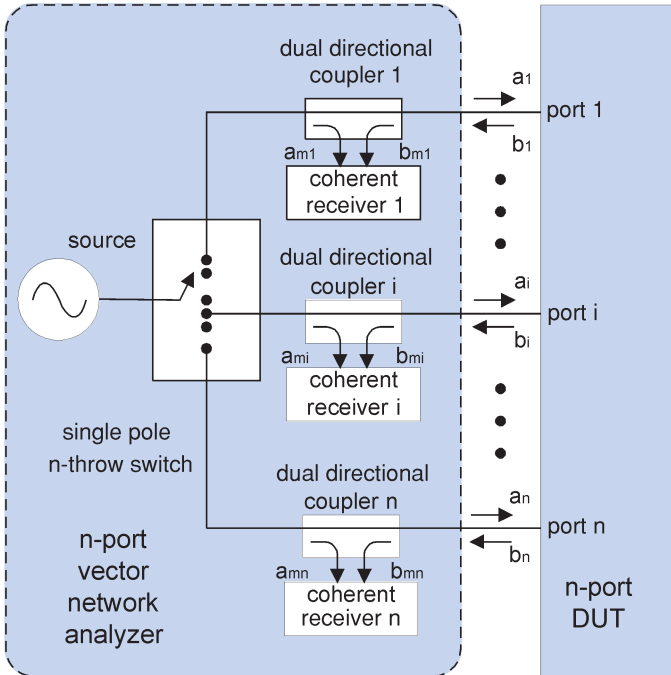


圖 1.  $n$  埠向量網路分析儀之基本架構。

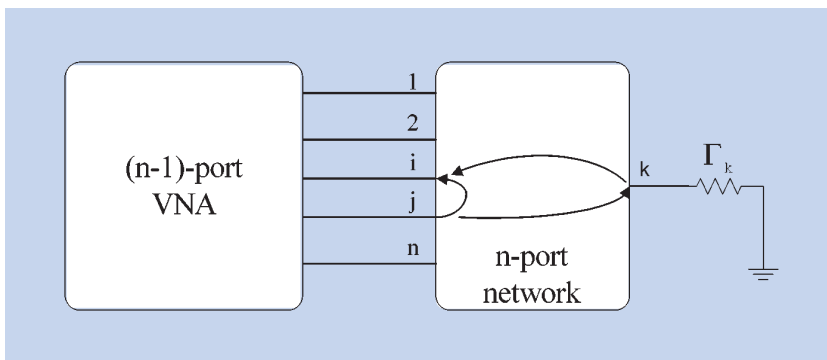
收機，量得各埠相關之反射係數及穿透係數。一般而言，使用多埠向量網路分析儀量測  $S$  矩陣之困難度，在於量測系統建立與校準程序之複雜性與有效性。

如圖 1 所示， $a_1, b_1, \dots, a_n, b_n$  分別為待測之  $n$  埠微波網路之各埠輸入、輸出信號，其  $S$  矩陣  $[b] = [S][a]$ ，為一  $n \times n$  矩陣。然而實際上，由各個調諧接收機所得各埠之輸入、輸出信號量測值，分別為  $a_{m1}, b_{m1}, \dots, a_{mn}, b_{mn}$ 。因此該多埠向量網路分析儀之系統校準，係經由適當之校準器與校準步驟，得到以  $2n$  埠表示之系統誤差網路，用以由量測信號之  $S$  矩陣，求得該多埠微波網路之  $S$  矩陣。

Speciale<sup>(1,2)</sup> 提出將 2 埠 TSD (through-short-delay) 校準方法，延伸至  $n$  埠 TSD 的校準方法，使用三個  $n$  埠校準器，求得該  $2n$  埠誤差網路  $S$  矩陣。Ferrero 等<sup>(3)</sup> 繼之提出，以 2 埠向量網路分析儀架構為考量，將各埠間之洩漏 (leakage) 誤差忽略，因此該  $2n$  埠誤差網路，可簡化為  $n$  個 2 埠誤差網路。使用三個 1 埠校準器，及一個已知之 2 埠校準器，經  $n+2$  次校準量測，直接求得多埠網路之  $S$  矩陣。不過因係使用  $n$  埠向量網路分析儀，其經濟效益須予以考量。

圖 2.

於  $n$  埠網路之第  $k$  埠連接一負載  $\Gamma_k$ ，使用  $(n-1)$  埠向量網路分析儀 (VNA) 量測  $S$  參數，繼之由降埠法求得原  $n$  埠之  $S$  參數  $S_{ij}^{(k)}$ 。



互異性 (reciprocal) 或非互異性 (non-reciprocal)  $n$  埠微波網路，且可將  $n$  埠網路之量測埠數降至最低階 2 埠，因此可使用 2 埠向量網路分析儀及其相關之 2 埠校準<sup>(9)</sup>，準確量得該  $n$  埠網路之  $S$  矩陣。

#### 四、結論

本文概述使用多埠向量網路分析儀及 2 埠向量網路分析儀，量測一多埠微波網路  $S$  矩陣之相關技術。使用多埠向量網路分析儀量測  $S$  矩陣之困難度，主要在於量測系統建立與校準程序之複雜性與有效性，而其校準可由忽略各埠間之洩漏誤差予以簡化。使用 2 埠向量網路分析儀量測多埠微波網路之  $S$  矩陣，對於所連接之非理想 50  $\Omega$  負載，以及繁複連接與拆卸動作造成之重複性問題，降埠法可提供一可行之解決方法。而近日有關多埠微波網路之量測研究，則已進一步由  $S$  矩陣量測，引申至混成 (mixed mode)  $S$  矩陣量測<sup>(10)</sup>，以及多埠雜訊參數量測<sup>(11)</sup> 等問題。

#### 參考文獻

1. R. A. Speciale, *Microwave Syst. News.*, **10** (6), 67, June (1980).
2. R. A. Speciale, *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, **25** (12), 1100, Dec. (1977).
3. A. Ferrero, U. Pisani, and K. J. Kerwin, *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, **40** (11), 2078, Nov. (1992).
4. J. C. Tippet and R. A. Speciale, *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, **30** (5), 661, May (1982).
5. D. Woods, *Proc. IEEE*, **124**, 198, Mar. (1977).
6. J. C. Rautio, *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, **31** (5), 407, May (1983).
7. W. Lin and C. Ruan, *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, **37** (4), 734, April (1989).
8. H. C. Lu and T. H. Chu, *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, **48** (6), 959, June (2000).
9. K. J. Silvonon, *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, **40** (4), 754, April (1992).
10. D. E. Bockelman and W. R. Eisentadt, *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, **43** (7), 1530, July (1995).
11. J. Randa, *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, **49** (10), 1757, Oct. (2001).