



RRPB88030782

(4.P)

PB8803-076

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

校正開口同軸線的新方法-4 位置法 A NEW SCHEME TO CALIBRATE A FLANGED OPEN-ENDED COAXIAL AIR-LINE PROBE

計畫類型：個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 88-2213-E-032-022

執行期間：87年8月1日至88年7月31日

計畫主持人：李慶烈

處理方式：

可立即對外提供參考

一年後可對外提供參考

兩年後可對外提供參考

執行單位：淡江大學電機系

中華民國 88 年 7 月 31 日

校正開口同軸線的新方法-4 位置法

A NEW SCHEME TO CALIBRATE A FLANGED OPEN-ENDED COAXIAL AIR-LINE PROBE

計劃編號：NSC 88-2213-E-032-022

執行期限：87/08/01~88/07/31

主持人：李慶烈 淡江大學電機系副教授

一、中文摘要

本報告提出一種新的校準方法(4 位置法)來校正一開口同軸線。開口同軸線常用來非破壞性地量測一個未知待測物的電磁特性。正確的量測奠基於精確的校準，但由於開口槽孔處並無商用接頭可用來校正該 probe 的[S]參數，而且現存的各種可能的校準方法皆各有其優缺點與適用範圍；因此，吾人引進一個稍具彈性的 dielectric spacor，將之插入同軸線中，藉由移動此 spacor 至 4 個不同位置以達到校正的目的；由於吾人選取稍具彈性的介電質，dielectric spacor 及同軸線間不會存在空氣間隙，因而得以提高校正精度，且此法將可適用於相當寬頻的微波頻率。

英文摘要：(Keywords: Open-Ended Coaxial Probe, Calibration Method, Dielectric Spacor)

In this project we propose a new method (called 4-position method) to calibrate an open-ended coaxial air line probe. An open-ended probe is usually used to measure the electromagnetic properties of unknown materials. In order to obtain satisfactory results, the probe has to be well calibrated first. Since there are no commercial terminators suited for the open end of the probe, and existing calibration methods for the probe have their own disadvantages/advantages and limitation, thus, we introduce an elastic dielectric spacor and insert it into the coaxial air line. By moving the spacor to 4 different positions inside the line, we are able to achieve the calibration for the probe.

Because the dielectric spacor choosed exhibit some elastivity, we have avoided possible air gap between the spacor and the coaxial air line. Thus the calibration will be highly accurate and suited for a wide range of microwave frequency.

二、計劃目的與緣由：

材料的電磁特性(含介電特性，導磁率)的量測，在很多方面皆有其重要應用，且多年來一直吸引著電磁領域研究人員與學者的興趣[1,2]。早期，將受測物切削加工以置入波導或共振腔的結構中，藉由量測波導或共振腔某些特定參數的變化，便可推之受測物的介電係數，但這方法有很明顯的缺點，即為破壞性量測或只對少數頻率做量測。

近二十年來，如何以非破壞性且寬頻地量測一未知物體電磁特性的課題一直吸引大量研究人力的投入，這期間，雖然利用天線直接把電磁波投射在受測物體再量測其透射與反射波的自由空間法(free space method)也可達到上述的優點，但其頻率範圍則僅限於毫米波至光波之間，當頻率降低，天線及待測物的體積將迅速增加，以至此方法將變的窒礙難行。因此，這其中便以開口(open-ended)同軸線受到最多的關注[3,4]，因其確實具有簡單迅速(非破壞性)及寬頻(1MHz-毫米波或更高)量測的優點。

利用網路分析儀(NWA)及同軸開口纜線來量測時，下述因子皆會對介電數的量測產生誤差。這包括(a)NWA 在頻率,反射係數相角及幅度的不準度(b)校準具的好壞(c)空氣間隙(d)介質厚度等。由於同軸開

口纜線並無傳統校準接頭可使用,本報告乃針對實際各種校準具的好壞做一評估,並發展一種新的技巧來針對 air-line 做校正。雖然利用此 probe 的技術已漸趨成熟,但卻仍甚少有 paper 討論如何有效校準該 probe 的精確方法,而這卻是一個實用的工具必須面對的最後問題。

三、研究方法與成果

如圖1所示,第二埠的反射係數 R_2 與網路分析儀量測面處的反射係數 R_1 之間有下列的關係

$$R_2 = \frac{R_1 - S_{11}}{(R_1 - S_{11})S_{22} + S_{12}S_{21}} \quad (1)$$

或

$$R_1 = S_{11} + \frac{S_{12}S_{21}R_2}{1 - S_{22}R_2} \quad (2)$$

只要雙埠間的 S 參數能準確校正出來,則公式(1)再配合 S₁₁ 參數便可以進一步用來逆求電磁係數,其中 S₁₁ 參數所描述的微波網路包含三段同軸傳輸線,因此可輕易以 dielectric spacer 的介電係數表示。由於開口同軸線右端槽孔處無法接上網路分析儀,所以其間 S 參數的校正得經由三次反射係數的量測來完成,其過程如下:

設吾人能找到三個已知的 aperture termination, 其對應的槽孔反射係數為 $R_2^\alpha, \alpha=a,b,c$, 且由網路分析儀量測而得的反射係數為 $R_1^\alpha, \alpha=a,b,c$, 則 S 參數可計算如下:

$$S'_{22} = \frac{(R_1^c - R_1^b)(R_2^a - R_2^b) - (R_1^a - R_1^b)(R_2^c - R_2^b)}{(R_1^c - R_1^b)(R_2^a - R_2^b)R_2^c - (R_1^a - R_1^b)(R_2^c - R_2^b)R_2^a}$$

$$S'_{12}S'_{21} = \frac{R_1^c - R_1^b}{R_2^c - R_2^b} (1 - S'_{22}R_2^c)(1 - S'_{22}R_2^a) \quad (3)$$

$$S'_{11} = R_1^c - \frac{S'_{12}S'_{21}R_2^c}{1 - S'_{22}R_2^c}$$

由於並無商用的接頭來提供適當的 R_2^α 以校正 S 參數,因此,實際上便有各種可能的校正方法以提供 $R_2^\alpha, \alpha=a,b,c$ 。大致上可歸納如下:(1)利用三個已知標準材料並將之緊置於槽孔上;(2)利用二個標

準材料加上槽孔直接短路;(3)利用一個標準材料(通常是空氣),一個短路片,加上槽孔直接短路;(4)利用兩個短路片,加上槽孔直接短路;(5)利用三個插入式短路金屬棒(stub)。

方法(1)及(2)的精確度將和標準介電材料 ϵ 的精度有關。方法(3)及(4)的優點是不須用標準介電材料(空氣 $\epsilon = \epsilon_0$),但短路板至槽孔平面的距離 d 須非常精確;而且,須注意的是,當 $d \geq 2b$ 時,短路片將漸失去其作用。此方法的缺點是由於實際的結構中,金屬接地面不會無窮大,因此在高頻時,將有嚴重誤差。其物理原因乃是由於高頻時,幅射波及表面波將被激發〔7〕。因此在邊緣的反射及散射效應將形成一共振腔的結構,不能再被忽略。方法(5)也不須要標準材料,但由於金屬棒,須插入同軸線內,因此方法(5)只適用 air-line。此方法的缺點是由於空氣間隙的存在,因此,此法在低頻時將有嚴重誤差。

除了上述幾種方法外,尚有利用 cavity 來做校正的〔9〕,但由於 cavity 在高頻共振頻率附近的校正精度較差,因此,此法也只適用於低頻非共振範圍,故可用方法(5)予以取代。

本校正方法的特性分析:

由於 dielectric spacer 引進,爲了完整性,吾人可將 dielectric spacer 的介電係數 ϵ_d 視爲未知數,則此時待校正的未知數一共有 $S_{11}, S_{12}(= S_{21}), S_{22}$ 以及 ϵ_d 等四個,此時吾人可移動此 spacer 至 4 個不同位置以達到校正的目的。本校正方法的特性詳細探討如下。

1. 如圖 2,若開口處的反射係數大小 $|G_a|$ 愈大(例, $|G_a| \sim 1$)則移動 spacer 造成反射係數 R_2 角度的變動將愈小($|R_a|$ 不變)。此將不利校正。吾人知,在低頻時 ($< 2\text{GHz}$) $|G_a| \sim 1$, 這如圖 3 所示。因此在低頻時校正精度不易提高。

2. 如圖 4 所示,只要 $|G_a| = 0.9 < 1$,則移動 spacer 將造成 $|R_a|$ 的變化,這點有利於校正。

3. 如圖 5 所示,當 $|G_a|$ 愈小,和圖 4 比較,吾人發現,移動 spacer 將造成 $|R_a|$ 更大的變化,這將更有利於校正。

4. 由於上述原因,吾人可於校正時將內導體延

長,使開口同軸線形成一個單極(monopole)天線,使 $|G_s| < 1$ 以提高校正精度,並於校正後取下即可。

利用上述的探討,吾人最後利用此一校準方法進一步量測介電板塊的介電係數,如圖6所示,吾人發現,此一校正方法確實能改善先前利用塞入金屬短路棒到 coaxial air-line 的校準精度,特別是在低頻部份。

四、結論：

本報告詳細探討以 4 位置法校正開口同軸線的技巧,並研究其特性,吾人發現利用 coaxial air-line 結構配合 4 位置法的校正技巧,將可以使開口同軸線在非破壞性量測上的應用更臻完美。

參考文獻

- [1] M. N. Afsar, J. Birch, and R. Clarke, "The measurement of properties of materials," Proc. IEEE, vol. 74, pp. 183-199, Jan. 1986.
- [2] A. C. Lynch, "Precise measurements on dielectric and magnetic materials," IEEE Trans. Instrum. Meas., vol. 23, no. 4, pp. 425-431, Dec. 1974.
- [3] M. A. Stuchly and S. S. Stuchly, "Coaxial line reflection method for measuring dielectric properties of biological substances at radio and microwave frequencies-A review," IEEE Trans. Instrum. Meas., vol. IM-29, pp. 176-183, 1980.
- [4] P. D. Langhe, L. Martens, and D. D. Zutter, "Design rules for an experimental setup using an open-ended coaxial probe based on theoretical modeling," IEEE Trans. Instrum. Meas., vol. 43, pp. 810-817, Dec. 1994.
- [5] A. Kraszewski, M. A. Stuchly, S. S. Stuchly, "ANA calibration method for measurements of dielectric properties," IEEE Trans. Instrum. Meas., vol. IM-32, No. 2, pp. 385-387, June. 1983
- [6] J. P. Grant, R. N. Clarke, G. T. Symm, and N. M. Spyrou, "A critical study of the open-ended coaxial line sensor for medical and industrial dielectric measurements," IEE Colloquium Digest, No. 1986/73, May, 1986.
- [7] C. L. Li and K. M. Chen, "Determination of electromagnetic properties of materials using flanged open-ended coaxial probe---full wave analysis," IEEE Trans. Instrum. Meas., vol. 44, pp. 19-27, Feb. 1995.
- [8] D. K. Misra, "A quasi-static analysis of open-ended coaxial line," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. MTT-35, pp. 925-928, Oct. 1987.
- [9] G. P. Otto and W. C. Chew, "Improved calibration of a large open-ended coaxial probe for dielectric measurements," IEEE Trans. Instrum. Meas., Vol. 40, no. 4, pp. 742-746, Aug. 1991
- [10] M. Brady, M. Symons, and S. Stuchly, "Dielectric behavior of selected animal tissues in vitro at frequencies from 2 to 4 GHz," IEEE Trans. Biomed. Eng., vol. BME-28, pp. 305-307, Mar. 1981.
- [11] D. K. Misra, M. Chhabra, B. R. Epstein, M. Mirotznik, and K. R. Foster, "Noninvasive electrical characterization of materials at microwave frequencies using an open-ended coaxial line: Test of an improved calibration technique," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. MTT-38, No. 1, pp. 8-14, January 1990.
- [12] J. P. Grant, R. N. Clarke, G. T. Symm, and N. M. Spyrou, "A critical study of the open-ended coaxial line sensor for medical and industrial dielectric measurements," IEE Colloquium Digest, No. 1986/73, May 1986.

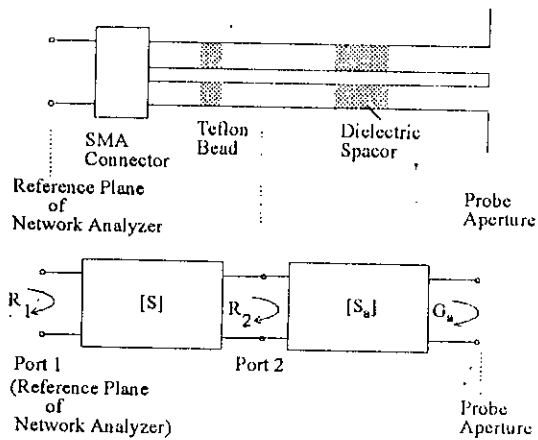


Figure 1 The structure of the coaxial air line probe setup and its equivalent tow-port network.

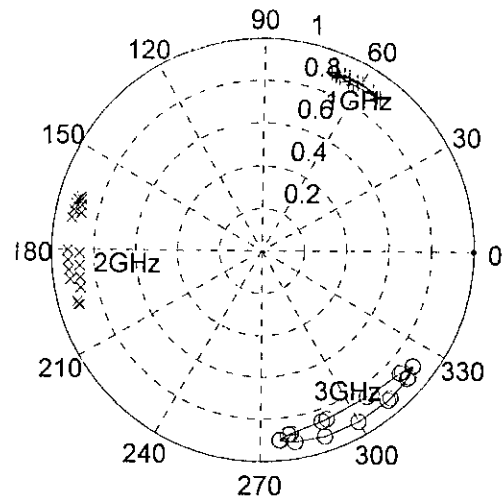


Figure 4 The variation of R_2 as the dielectric spacor moved along the coaxial air line ($G_a = -0.9$ case)

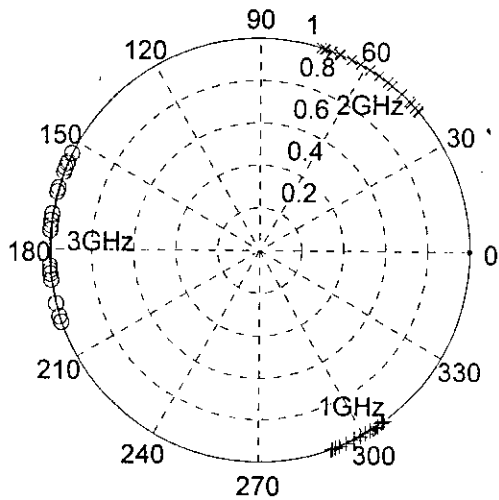


Figure 2 The variation of R_2 as the dielectric spacor moved along the coaxial air line ($G_a = -1$ case)

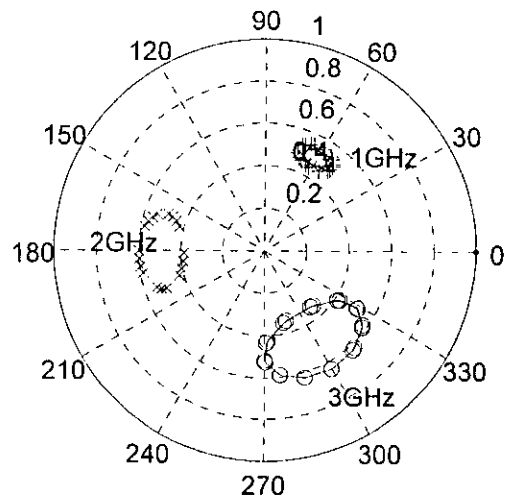


Figure 5 The variation of R_2 as the dielectric spacor moved along the coaxial air line ($G_a = -0.5$ case)

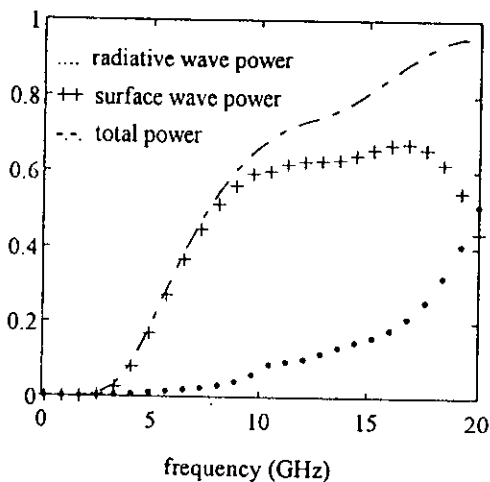


Figure 3 The radiated power of a 14mm open-ended coaxial air-line terminated by a material layer.

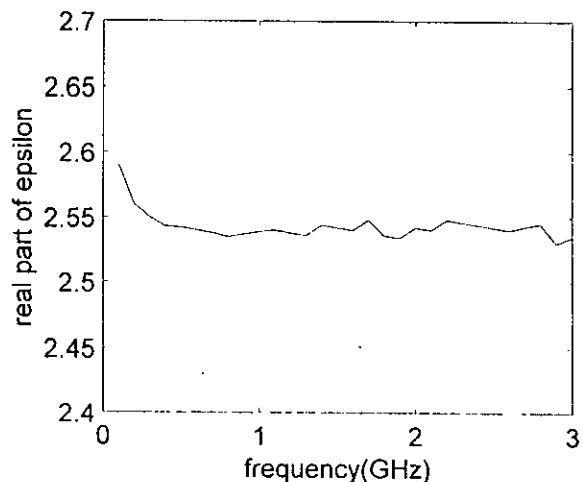


Figure 6 The permittivity of acrylic material measured using coaxial air line probe calibrated by 4-position method.