

第二章 實驗一：微帶共振器

1. 目的

設計及製作微帶共振器，由所量測之共振頻率，計算微波基板之介電常數。

2. 設計原理

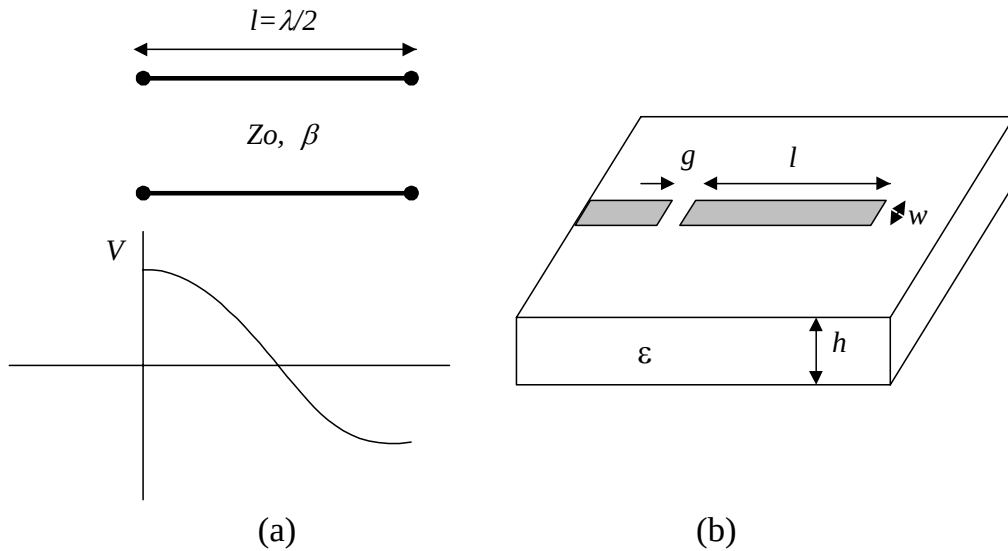


圖 2.1 半波長開路(a)傳輸線共振器及(b)微帶共振器結構。

(1) 半波長開路傳輸線共振器（見圖 2.1(a)）

對一半波長開路 TEM 傳輸線共振器，於共振時

$$l + l_{oc} = \frac{\lambda_o}{2} = \frac{c}{2f_o\sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (1-1)$$

其中 l_{oc} ：開路端之等效長度， f_o ：共振頻率， ϵ_{eff} ：傳輸線之等效介電常數(effective dielectric constant)， c ：光速。因此可由量得之共振頻率及共振器長度，計算傳輸線之 ϵ_{eff} 值。

$$\epsilon_{eff} = \left[\frac{c}{2f_o(l + l_{oc})} \right]^2 \quad (1-2)$$

(2) 微帶共振器

半波長開路微帶共振器之結構如圖 2.1(b) 所示，左端為輸入端，經一間隙 g ，耦合至一長度為 l 之微帶共振器，因此於共振時

$$l + l_{oc} + l_g = \frac{\lambda_1}{2} = \frac{c}{2f_1\sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (1-3)$$

其中 l_g ：微帶線間隙之等效長度， f_1 共振頻率較 f_o 略低，因此

$$\epsilon_{eff} = \left[\frac{c}{2f_1(l + l_{oc} + l_g)} \right]^2 \quad (1-4)$$

然而，上式中 $l_{oc} + l_g$ 為未知數，因此須設計兩個相同 w 及 g 之微帶共振器，如圖 2.2 所示，其中 l_2 長度約為 l_1 的兩倍，用以解得 ϵ_{eff} 值。

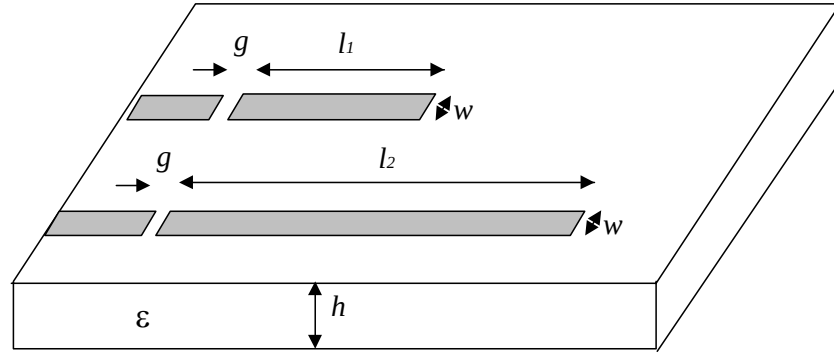


圖 2.2 長度分別為 l_1 及 l_2 之微帶共振器。

對應於此二共振器之共振頻率 f_1 及 f_2 ($f_1 \sim f_2$) 之表示式，分別為

$$l_1 + l_{oc} + l_g = \frac{\lambda_1}{2} = \frac{c}{2f_1\sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (1-5)$$

$$l_2 + l_{oc} + l_g = \lambda_2 = \frac{c}{f_2\sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (1-6)$$

因此，如量得 f_1, f_2, l_1, l_2 ，則由此二式可解得

$$\epsilon_{eff} = \left[\frac{c}{l_2 - l_1} \left(\frac{1}{f_2} - \frac{1}{2f_1} \right) \right]^2 \quad (1-7)$$

以及

$$l_{oc} + l_g = \frac{f_2 l_2 - 2 f_1 l_1}{2 f_1 - f_2} \quad (1-8)$$

3. 模擬

(1) 使用 Libra 分析微帶傳輸線之參數為

$\epsilon_r = 4.0$ (正確值由本實驗量得之共振頻率推算)

$h = 1.45\text{mm}$ (金屬厚度 0.05mm , 應以游標尺量測)

w (由 Linecalc 計算 $50\text{ }\Omega$ 微帶線寬度, 或給定某值, 於實驗報告中討論)

$\tan \delta = 0.01$ (正確值將由實驗二結果修正)

l_1, l_2 (l_1 取共振頻率 $\sim 4\text{GHz}$ 之長度, $l_2 = 2 l_1 + l_{oc} + l_g \sim 2 l_1$)

$g \sim 0.3h$ (自行決定, 並以 ADS 分析)

模擬電路應包含開路及間隙之不連續性。

(2) 模擬時使用頻率掃描計算 S_{11} , 以得到共振頻率。

4. 電路製作

按下列之程序製作電路, 下週實驗課將示範製作程序。

(1) 使用 Autocad 繪製電路光罩, 由雷射印表機印出, 注意各組及以後實驗之電路光罩, 需使用同一廠牌之影印紙, 不要用投影片製作光罩, 印出之電路光罩以奇異筆補黑, 並於旁邊註明學號, 兩共振器之光罩安排, 以可容納接頭寬度為原則。

(2) 紫外線曝光約 120 秒(不同厚度之影印紙曝光時間不同)後, 以顯像液顯像, 約 60 秒可見電路形狀, 須待其清楚定義, 以清水清洗。

(3) 置於自動蝕刻槽內, 沖洗約 3 分鐘, 檢視電路完成後, 以清水清洗, 裁切並整修電路板至合適尺寸。

(4) 操作電路顯像及蝕刻槽, 需戴橡皮手套, 並按 506/507 室之蝕刻室之安全使用規定使用, 見附錄二。506/507 室外裝有沖洗及洗眼裝置, 如眼部不慎沾有化學液, 立即沖洗並告知, 送醫務室治療。如機器有問題或任何異常, 務必立即報告。

(5) 焊接 SMA 接頭。

5. 量測

(1) 由網路分析儀之 S_{11} 值, 量得共振頻率。

(2) 根據(1-7) 式計算 ϵ_{eff} 值。

(3) 以游標尺準確量測完成之電路板尺寸 (w, h, g , 等), 修正模擬電路, 藉 ADS 最佳化功能, 調整 ϵ_r 值以與量測結果相符。

(4) 網路分析儀之 1-埠校準反射係數(S_{11} 或 S_{22})校準

圖 2.3 (a) 為網路分析儀量測反射係數之示意圖, 其中 $\Gamma_A = a_1/b_1$ 為待測元件之反射係數, 網路分析儀量得之反射係數則為 $\Gamma_M = b_0/a_0$, 係 a_1 與 b_1 信號經一雙向耦合器之輸出信號, 其相互關係如

圖 2.3 (b) 所示，係以一 2-埠誤差網路表示。圖 2.4 為反射係數誤差模式之信號流程圖，其中 e_{00} , e_{10} , e_{01} , e_{11} 為誤差參數，因此

$$\Gamma_M = \frac{b_o}{a_o} = e_{oo} + \frac{e_{10}e_{01}\Gamma_A}{1-e_{11}\Gamma_A} \quad (1-9)$$

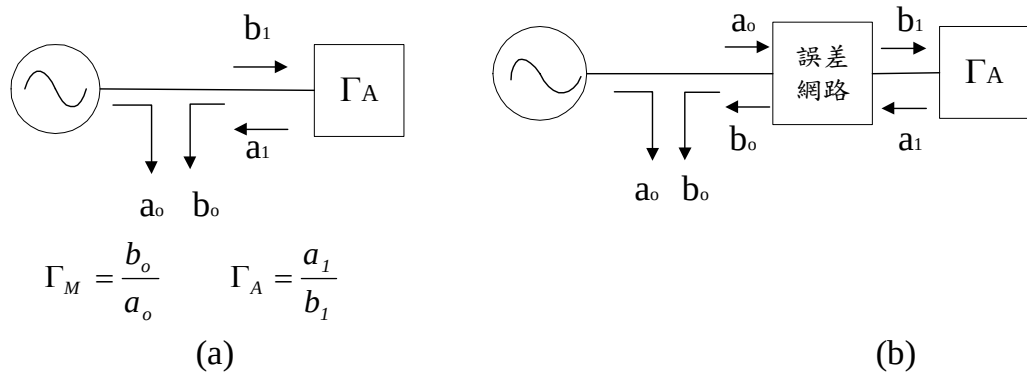


圖 2.4 反射係數量測(a)示意圖及(b)包含誤差網路之示意圖。

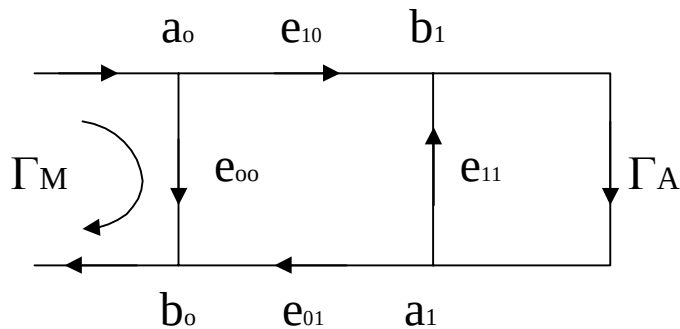


圖 2.4 反射係數量測之誤差模式。

由量測 Γ_M 值，計算反射係數 Γ_A ，則必須經由校準得知誤差參數，即量測標準元件，通常包含開路 ($\Gamma_A = 1$)，短路 ($\Gamma_A = -1$)，以及 50 歐姆 ($\Gamma_A = 0$)，三個校準元件，由其量測值，據以計算誤差參數。由此，可將量測元件之反射係數 Γ_M ，轉算得 Γ_A 。

(5) 經由本實驗，了解網路分析儀反射係數量測原理、面板操作、以及 1-埠校準程序。

6. 傳輸線共振器之 Q 值

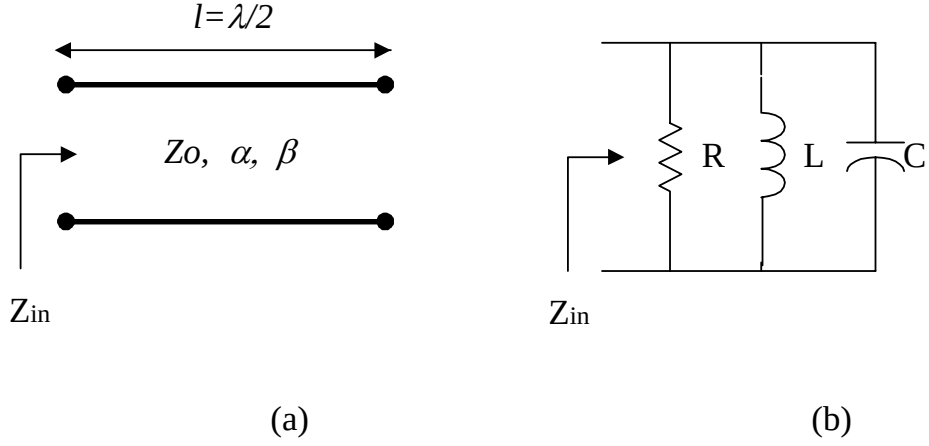


圖 2.5 (a)半波長傳輸線共振器及(b)等效電路。

圖 2.5 之開路共振器之輸入阻抗為

$$\begin{aligned}
 Z_{in} &= Z_o \frac{Z_L + Z_o \tanh \gamma l}{Z_o + Z_L \tanh \gamma l} \bigg|_{Z_L = \infty} \\
 &= \frac{Z_o}{\tanh(\alpha + j\beta)l} \\
 &\approx Z_o \frac{1 + j \tan \beta l \tanh \alpha l}{\tanh \alpha l + j \tan \beta l}
 \end{aligned} \tag{1-10}$$

當 $\alpha l \ll 1$ 時， $\tanh \alpha l \approx \alpha l$ ，而 $l = \lambda_o / 2 = \pi v_p / \omega_o$ ，因此

$$\beta l = \frac{\omega}{v_p} l = \frac{\omega_o + \Delta \omega}{v_p} \frac{\pi v_p}{\omega_o} = \pi + \frac{\Delta \omega}{\omega_o} \pi \tag{1-11}$$

(1-10)則可表示成

$$Z_{in} \approx \frac{Z_o}{\alpha l + j \frac{\Delta \omega}{\omega_o} \pi} \tag{1-12}$$

而對圖 2.5(b) 並接結構之 RLC 共振器，其輸入阻抗為

$$Z_{in} = \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{j\omega L} + j\omega C \right)^{-1} = \frac{R}{1 + j2Q_u \frac{\Delta \omega}{\omega_o}} \tag{1-13}$$

其中 $Q_u = w_o RC$ ，由比較 (1-12) 及 (1-13)，可得半波長傳輸線共振器之等效電路元件分別為

$$R = \frac{Z_o}{\alpha l}, C = \frac{\pi}{2w_o Z_o}, L = \frac{2Z_o}{\pi w_o} \quad (1-14)$$

因此

$$Q_u = w_o RC = w_o \frac{Z_o}{\alpha l} \frac{\pi}{2w_o Z_o} = \frac{\pi}{2\alpha l} = \frac{\beta}{\alpha l} \quad (1-15)$$

7. 實驗報告討論

應討論

- 本實驗之電路設計參數如何決定。
- 量測共振器 Q （包含 Q_u 、 Q_e 、 Q_L ）值之方法。
- 共振器特徵阻抗 Z_o 、間隙 g 對共振頻率及 Q 值之影響。
- 推導反射係數校準公式，即由(1-9)反求 Γ_A ，以及如何由開路、短路及 50 歐姆負載，求得誤差參數 e_{00} , e_{10} , e_{01} , e_{11} 。
- 解釋於校準模式中各誤差參數之物理意義及其產生原因。
- 如何修正網路分析儀反射係數 S_{11} 之基準面(reference plane, $\theta=0^\circ$)，至共振器之輸入端。