

可調頻帶與頻寬之匹配網路

李杰森、楊慶隆

國立成功大學電資學院電機所

簡介：

透過另一種匹配網路的詮釋概念，將由頻譜角度去看輸入阻抗，搭配可提供一個很大可用頻寬的超寬頻天線，在此頻寬內的訊號皆可接受。所以在想要操作頻率去做匹配，而其他的頻率點都會被衰減，只讓有匹配的頻率訊號通過。也就是由另一個方法去完成操作頻率可選擇的天線。在信號處理傳送或無線電天線接受訊號時，我們希望能夠收到最大信號，而不會有部分信號沿天線反射散射回空氣中。處理這種信號的電路稱為是阻抗匹配網路。透過阻抗匹配網路，使的由系統看入天線負載阻抗為本身的共軛複數，虛數部份互相抵消，實數相等，達到最大傳能效果。阻抗匹配網路的數學概念，可藉由阻抗串並聯電容電感在史密斯圖上的變化推得。實現匹配網路方法有 T、PI、L 型架構，各有各的優缺點。為達到方便與較佳可調功能，我們選用 PI 型架構來實現模擬。一般的可調匹配網路為在固定頻率下，去調整因環境變化或其他因素所造成阻抗改變，調回成系統共軛阻抗。而我們所提出的為是由頻率的角度來看。這是相同的概念。對一阻抗來說，不管在任何頻率下，只需提供正確的容抗感抗，經串並聯後達成共軛匹配，即有最大效能傳輸。所以由此可調匹配網路去選擇我們所要的操做頻帶。再由於選擇匹配時可用不同電容電感值，有不同的品質因數(Q factor)，即有不同的匹配頻寬。也就是說在相同的匹配頻率點，但由於所選用不同的電容電感值，可以去控制匹配實的頻寬大小。

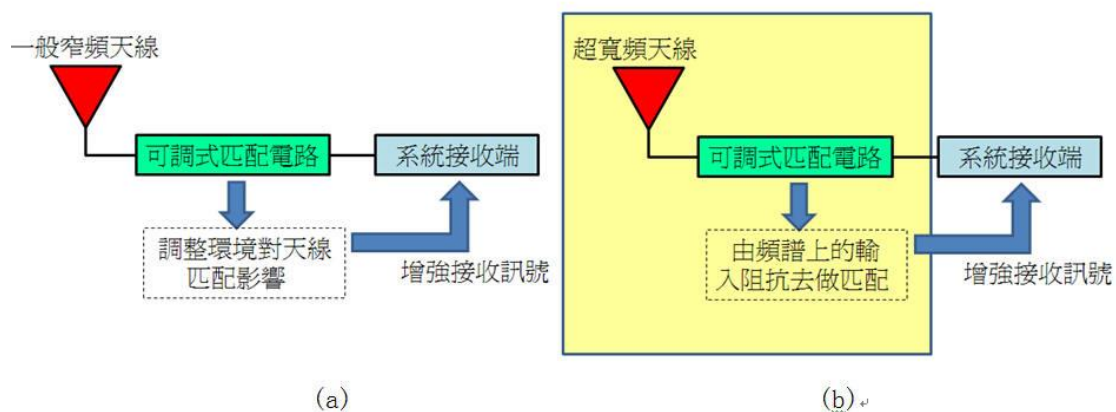


圖 1. 可調式匹配網路與天線 (a) 原始匹配網路設計概念 (b) 可調超寬頻匹配電路

數學原理：

藉由史密斯工具圖的幫助，我們可以了解到串並聯電容電感對輸入阻抗的變化。由三個自由度所構成的 PI 型架構，為我們驗證的型態。由阻抗匹配的概念去解釋在接受訊號為非匹配頻率時，會對訊號有大量的衰減。而在對有匹配的訊號會予以微量的損耗，所以相對於被衰減的信號，其選擇性就為匹配網路的優點。

可調式匹配電路在超寬頻的頻帶中去做選擇性的阻抗匹配，也可視為另一種可調式帶通超寬頻濾波器。但與之不同之處在於，其觀念較容易、架構簡單與低成本，還有最重要的是可調的多自由度。我們選用的PI型匹配網路，是以並聯電容、串聯電感、並聯電容等順序架構而成。除了可在想要的頻率點找到可匹配電容電感值外，理論上其有無限多組電容電感值匹配解，但由於每組解對於匹配後的頻寬大小(Q值不同原故)有不同結果，所以可藉由不同的匹配電容電感值，去選擇所要的頻寬大小。

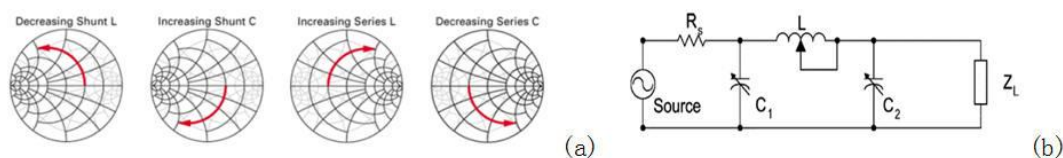


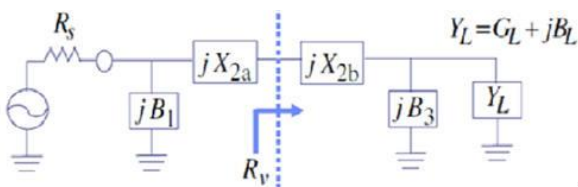
圖 2. (a) 不同串並聯電容電感在阻抗史密斯圖上的變化 (b) 可調式電容電感於 PI 型匹配電路

$$R = \frac{R_s}{(1 - \omega^2 LC_2)^2 + (\omega C_1 R_s + \omega C_2 R_s - \omega^3 LC_1 C_2 R_s)^2}$$

$$X = \frac{\omega^3 LC_1^2 R_s^2 + 2\omega^3 LC_1 C_2 R_s^2 + \omega L - \omega C_1 R_s^2 - \omega C_2 R_s^2 - \omega^3 L^2 C_2 - \omega^5 L^2 C_1^2 C_2 R_s^2}{(1 - \omega^2 LC_2)^2 + (\omega C_1 R_s + \omega C_2 R_s - \omega^3 LC_1 C_2 R_s)^2}$$

$$Z_L = R + jX$$

此公式為 PI 型匹配架構、操作頻率為 $\omega = 2\pi f$ 的負載與各個電容電感值所對應的方程式，就是可計算出再想要匹配的頻率時或同一頻率下，所需要的確切電容電感值。Q 值的決定方式如下。



$$Q_1 = \sqrt{\frac{R_s}{R_v} - 1} \quad , \quad Q_2 = \sqrt{\frac{1}{R_v G_L} - 1}$$

$$Q \cong \max(|Q_1|, |Q_2|)$$

可調方式：

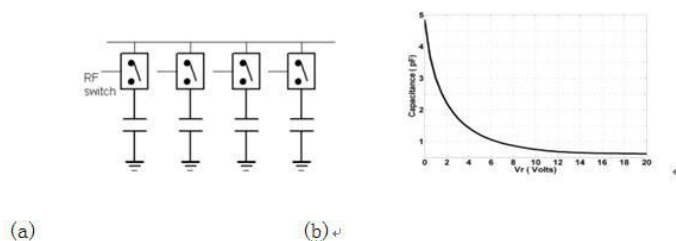


圖 3. 電容值改變的方式 (a) 開關 (b) 可變電容

可調的方法有很多，有用電壓控制可變電容(Varactor)，用一偏壓壓在二極體上使電容值改變或射頻開關(GaAs switch)，用切換的方式使訊號看見到不同的電容值，完成電路上的電容電感改變的方法。我們可把兩者搭配使用，開關為粗調，可變電容為細調，達成我們想要的更高彈性自由度。

UWB 天線設計：

本次 UWB 天線設計，是採用較基本簡單幾何形狀。而主要比較設計重點在於後端匹配電路的加入後，所對天線輸入阻抗的變化情形。先將天線量測出其在各個頻率時的輸入阻抗，再匯入模擬軟體去做模擬

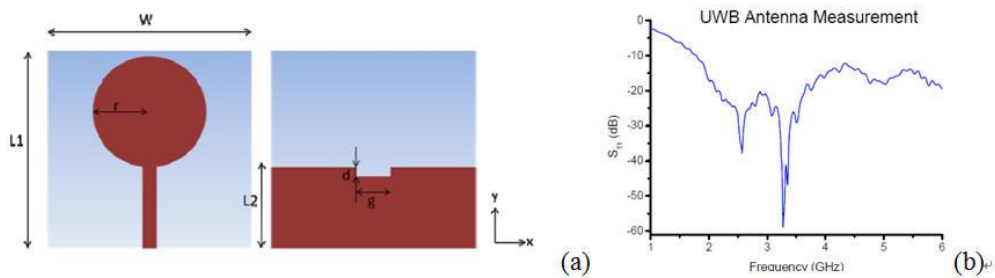


圖 4. UWB 天線架構與量測反射係數 (a) 架構尺寸 $[r/d/g/wf] = 21.3/1/10/2.7$ mm; $[L1/L2/W] = 62/19/64$ mm; 1.6-mm FR4 (b) 實際量測反射係數

模擬：

我們這次是主要模擬驗證三個頻帶，1.8 GHz、2.4GHz 與 3.5GHz。用的是 ADS 模擬軟體。其中傳輸傳輸是為模擬開關(RF Switch)元件導通時的情形。藉由模擬可知在想要的頻率匹配時，所需要的確切電容電感值。並有各個狀況模擬結果圖。

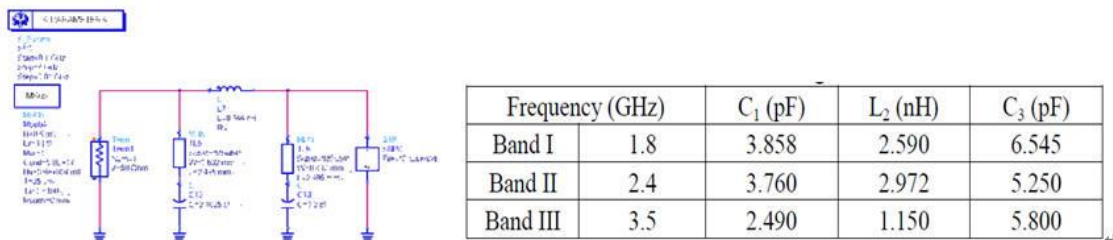


圖 4. 三組匹配於不同頻率時電容電感值

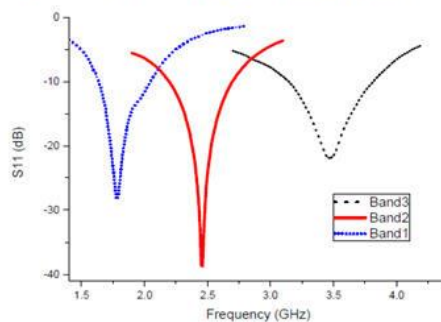


圖 5. 三組匹配於不同頻帶結果

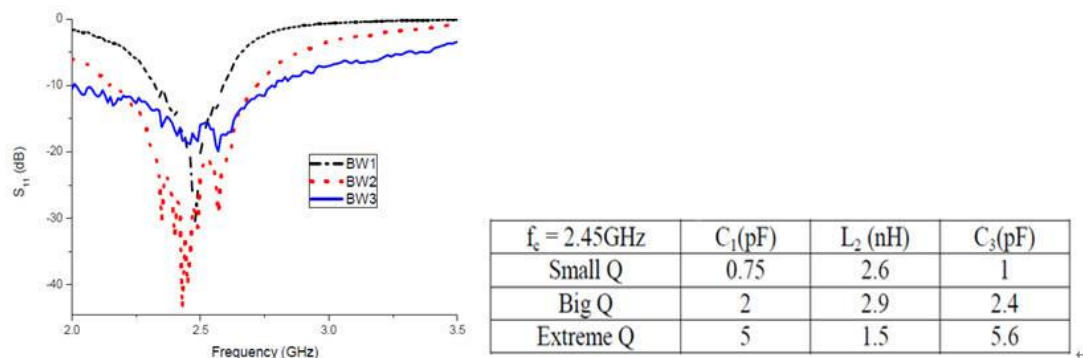


圖 6.對 2.4GH 匹配時調整不同的 Q 有不同的頻寬大小

結論：

理論上只要有能有正確可得的電容電感值，不論多細小的頻率點皆可匹配到且可以控制頻寬。但實際使用上的集總式元件其值皆有誤差。或在到更高頻使用時，容抗感抗特性會交換。此皆為實作上考量限制。但還有另一更重要的點需考慮，就是損耗部份。對原來天線來說，匹配電路為額外加入的，一定會造成部分損耗。甚至加了匹配時效能變差。且未來實做往更高頻的發展或再增加其他元件以增加自由度時，損耗的考量更加重要。