

第四章 超寬頻(UWB)天線設計(II) —— 具二項式曲線邊緣結構之印刷式單極天線

本章的內容是介紹兩之寬頻天線，這兩支天線的匹配頻寬與尺寸不同，但是設計的想法是相同的（如標題），天線的設計細節、量測數據，分別在 4.2 節及 4.3 節有詳細的說明介紹。

由第三章的內容可知，天線的邊緣曲線對天線的特性是一個很重要的參數；在本章中，利用二項式函數，可以有系統性的瞭解曲率變化對天線的影響。

4.1 二項式(binomial)函數

二項式的數學表示如下：

$$f(x) = \begin{cases} 1 & x = 0 \\ 1 + k \left(\frac{x}{x_0} \right)^N & 0 < x < x_0 \\ 1 + k & x = x_0 \end{cases} \quad (4-1)$$

其中 k：大於零的常數

N：階數(1,2,3,...)

因為方便天線設計，將(4-1)式重新整理成(4-2)式

$$y = f(x) = \begin{cases} G & x = 0 \\ G + k \left(\frac{x}{x_{\max}} \right)^N & 0 < x < x_{\max} \\ G + k & x = x_{\max} \end{cases} \quad (4-2)$$

其中 y：天線的長度

G：饋入端間隙大小

x：天線 1/2 寬度

N：階數(1,2,3,...)

圖 4-1 所示為 1 到 31 階的二項式曲線，橫軸代表一半的天線寬度，縱軸表示天線的長度；從圖中尺寸可之天線的寬是 $2 \times 15 = 30$ mm ($x_{\max} = 15$)，長度是 20 mm ($k = 20$)，饋入間隙 1 mm ($G = 1$)，在此為了尺寸表達的方便，將 A 點定義成 $A \equiv (x_{\max}, y_{\max} - G)$ 或 (x_{\max}, k) ，以圖 4-1 為例 $A(w/2, l) = (15, 20)$, $G = 1$, $N = 1 \sim 31$ 。

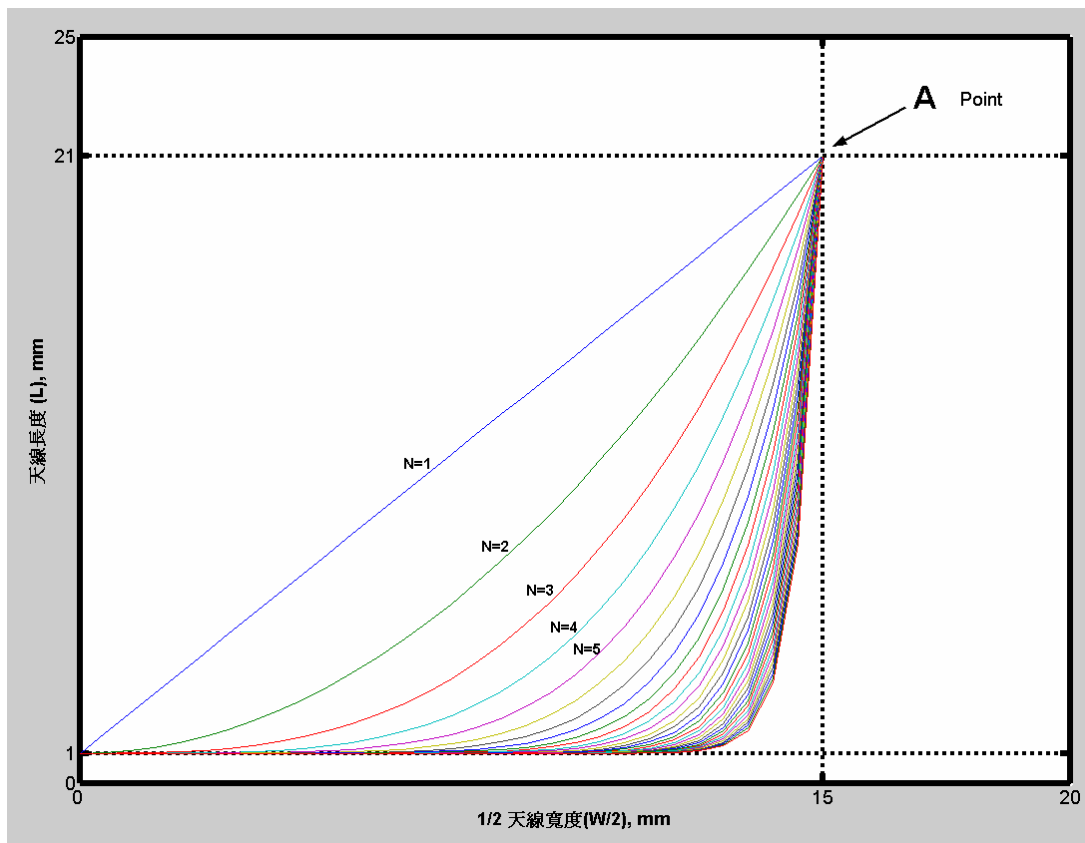


圖 4.1 二項式(binomial)函數曲線

4.2 二項式超寬頻天線設計

本節所使用的板材是 FR4，介電常數 4.4，板厚 0.8 mm；天線尺寸分別是寬 $W = 30\text{mm}$ ，長 $L = 20\text{mm}$ ，地面(Grounding plane) = $50\text{mm} \times 46\text{mm}$ 。

圖 4-2 天線外型示意圖，圖(a)是階數 $N = 1$ ，饋入間隙 $G = 0\text{mm}$ 的二項式天線。

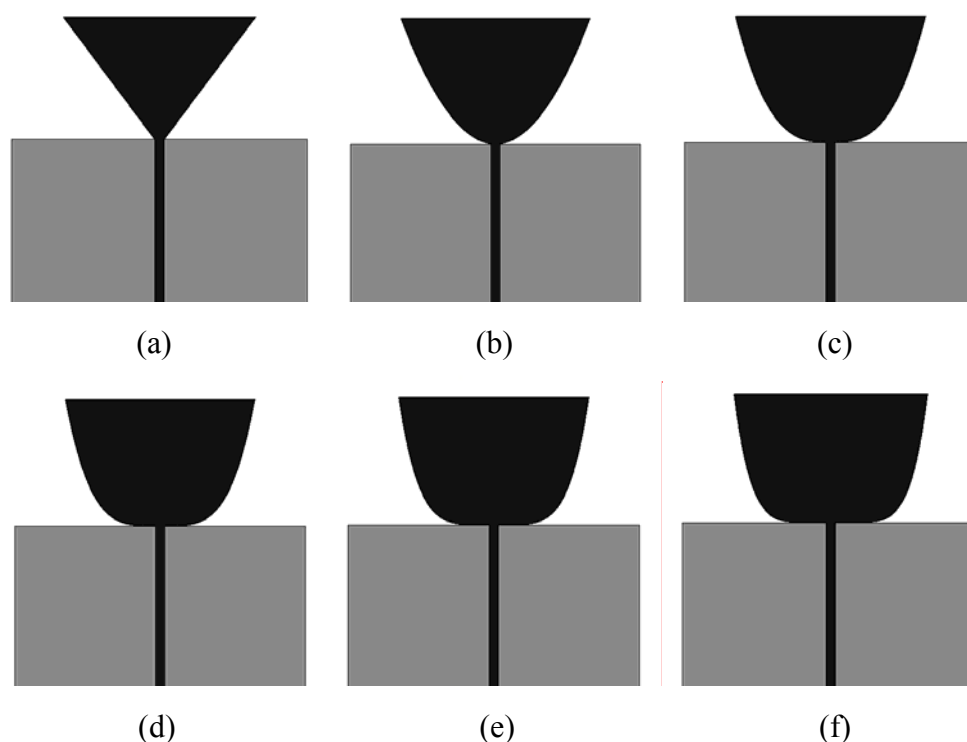


圖 4.2 天線外型示意圖。(a) $N = 1$ ，(b) $N = 2$ ，(c) $N = 3$ ，(d) $N = 4$ ，(e) $N = 5$ ，(f) $N = 6$ 。

黑色區域是位於 PCB 的正面(TOP Side)，灰色區域是位於 PCB 的背面(Bottom Side)

同樣的，圖(b)~(f)依序是階數 $N = 2 \sim 6$ ，饋入間隙 $G = 0\text{mm}$ 的二項式天線外型。

在設計的過程中，試著將 1 到 12 階的二項式曲線分別地搭配不同的饋入間隙長度 G ，利用模擬軟體計算出反射損失的大小，在觀察階數 N 及間隙長度 G 對天線匹配的影響。

分析數筆反射損失，發現二項式曲線大約在 6 階之後隨階數愈高，反射損失愈大。所以圖 4.3 中只放入 $G = 0.45\text{mm}$ ，階數 $N = 1 \sim 6$ 階的反射損失對頻率的響應。

4.2.1 二項式曲線的階數對反射損失的影響

觀察圖 4.3 頻帶 3 GHz~7 GHz 之間，反射損失隨著二項式曲線的階數 N 增加而減少，其中 4 階之後的反射損失小於 -10dB，頻帶 7~8 GHz 之間，除了 $N=3, 4$ 兩個階數值之外，其他 $N=1, 2, 5, 6$ 的二項式曲線，它們的反射損失大小在這個頻段由遞減轉變為遞增，甚至在 8 GHz 之後反射損失會超過 -10 dB 以上。頻帶 8 GHz~12 GHz 之間，除了 $N=2, 4$ 之外，其餘階數的二項式曲線，對應反射損失皆超過 -10 dB，不過 $N=2, 4$ 在 10.5 GHz 左右，反射損失在 -10 dB 的邊界上。綜觀 3 GHz~12 GHz 之間，具備最佳匹配是二項式曲線階數 $N=2$ ，只有在 10.4 GHz 時，反射損失為 -9.89 dB，在其餘頻段，反射損失皆小於 -10 dB。

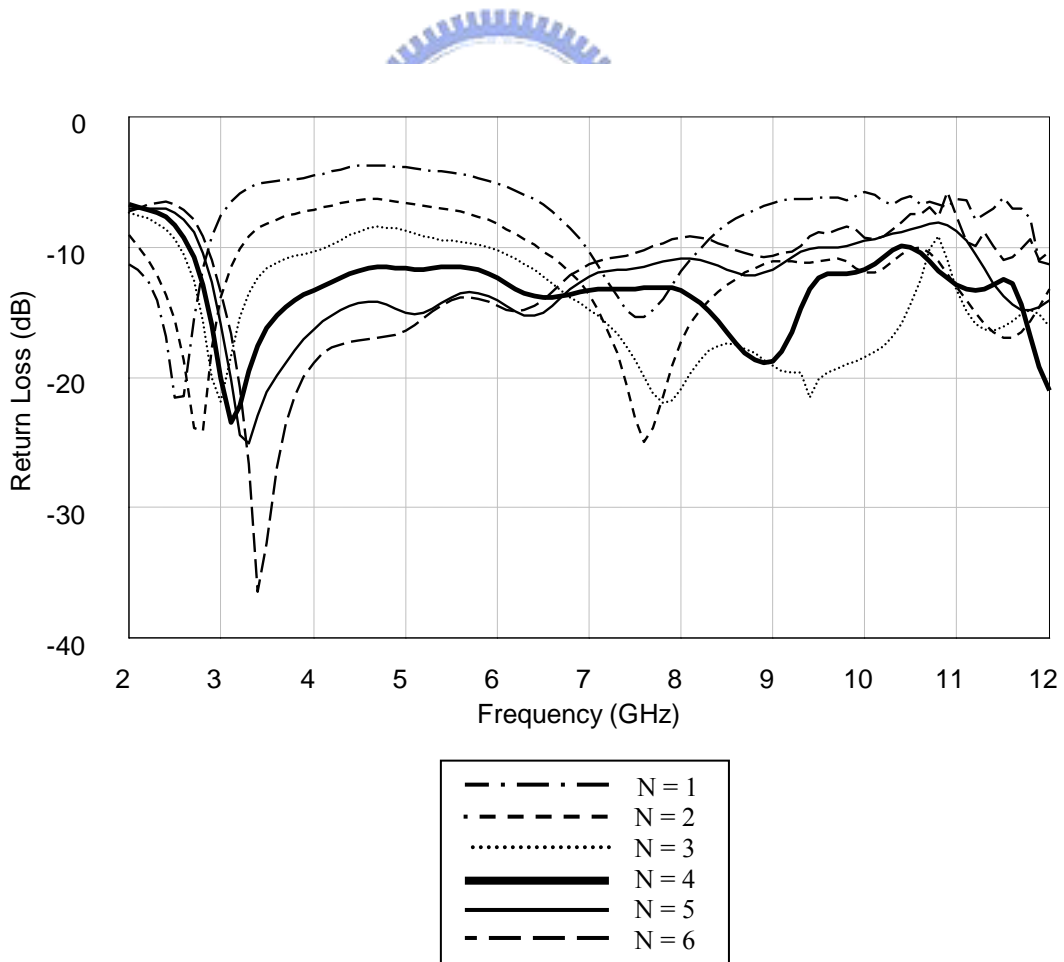


圖 4.3 不同二項式階數 N 之天線反射損失比較圖

4.2.2 饋入間隙 G 對反射損失的影響

圖 4.4 所示為觀察不同的饋入間隙 G，反射損失的變化，首先觀察的是最低匹配頻率 (f_L) 和間隙 G 的關係，由圖可知最低的 f_L 是在 $G = 0.75$ mm，隨著 G 值減少 f_L 愈增加。在頻帶 3 GHz~9 Hz，只有 $G = 0$ mm 的反射損失大於 -10 dB，其他 G 值對應的反射係數皆小於或等於 -10 dB；9 GHz~11 GHz 之間， $G = 0$ mm 時，反射損失值皆小於 -10 dB，反射損失最差的間隙是 $G = 0.375$ mm，其他 $G = 0.45, 0.6, 0.3$ mm 反射損失還是有小部分在 -10 dB 上下。所以當 $G = 0.45$ mm 在 3 GHz~11 GHz 是最佳的匹配結果，以 $G = 0.45$ mm 為分界，在 8 GHz 前以 $G = 0, 0.3$ mm 低頻帶匹配差，高頻帶匹配較佳；G 值 0.65, 0.75 恰好相反低頻帶匹配佳，高頻帶匹配較差。

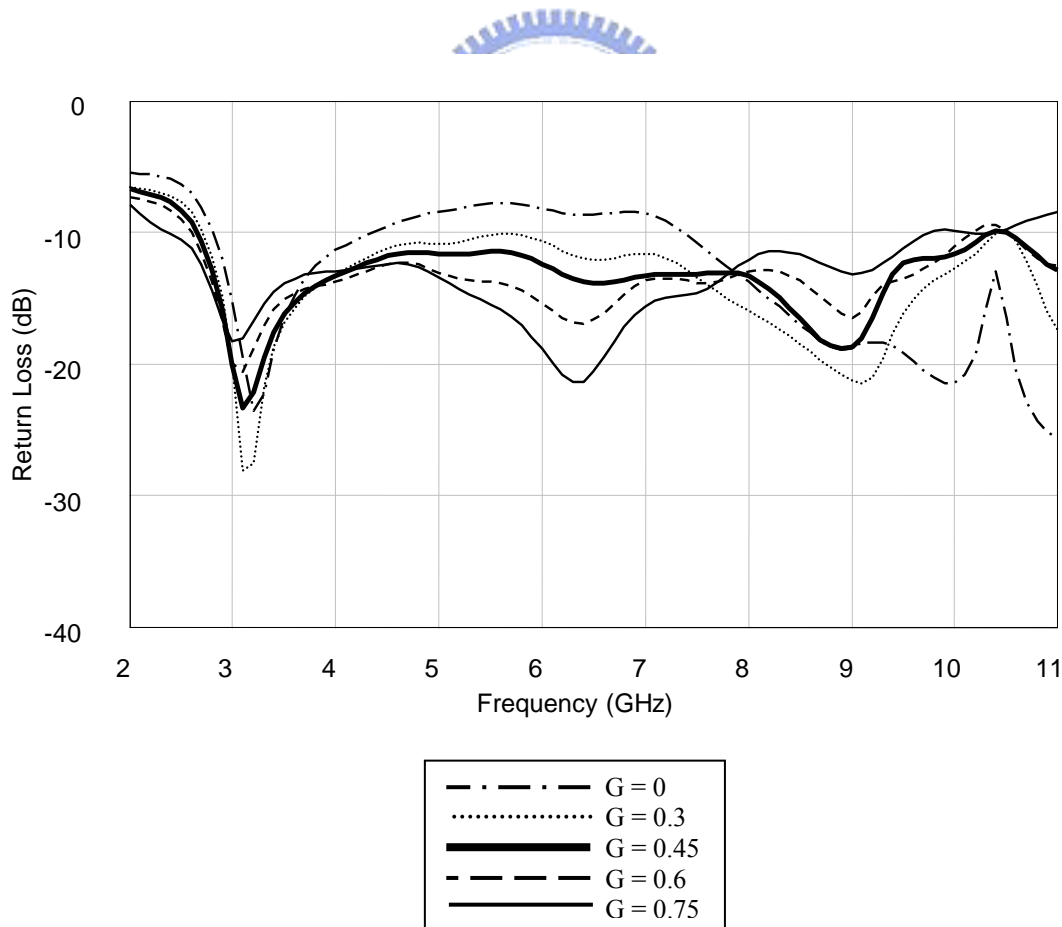


圖 4.4 不同饋入間隙長度(G)之天線反射損失比較圖。單位：mm

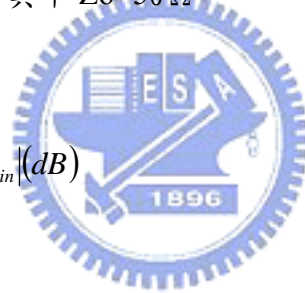
4.2.3 天線之輸入阻抗分析

針對二項式曲線 $N = 4$, $G = 0.45$ mm 時，天線的輸入阻抗分析。

圖 4.5 (a) 表示輸入阻抗的實部電阻，圖 4.5 (b) 表示輸入阻抗的虛部電抗。由圖(a) 可知，在頻帶 3 GHz ~ 11GHz 之間，實部電阻的最小值是 32 Ω ，最大值是 95.2 Ω ，圖(b) 可知虛部電抗在相同的頻帶內，最大值是 23.03 Ω ，最小值是 -26.8 Ω ，在頻率 3.36 GHz, 6.54 GHz, 10.28 GHz 時虛部電抗值為 0 Ω ，表示天線在以上三個頻率時，有共振行為發生。由前面二小節討論可知 10.4 GHz 反射損失最大，在頻率 10.4 GHz 時，圖 4.5(a) (b) 可知天線的輸入阻抗 Z_{in} 為 $95.2 - j11.74 \Omega$ 。

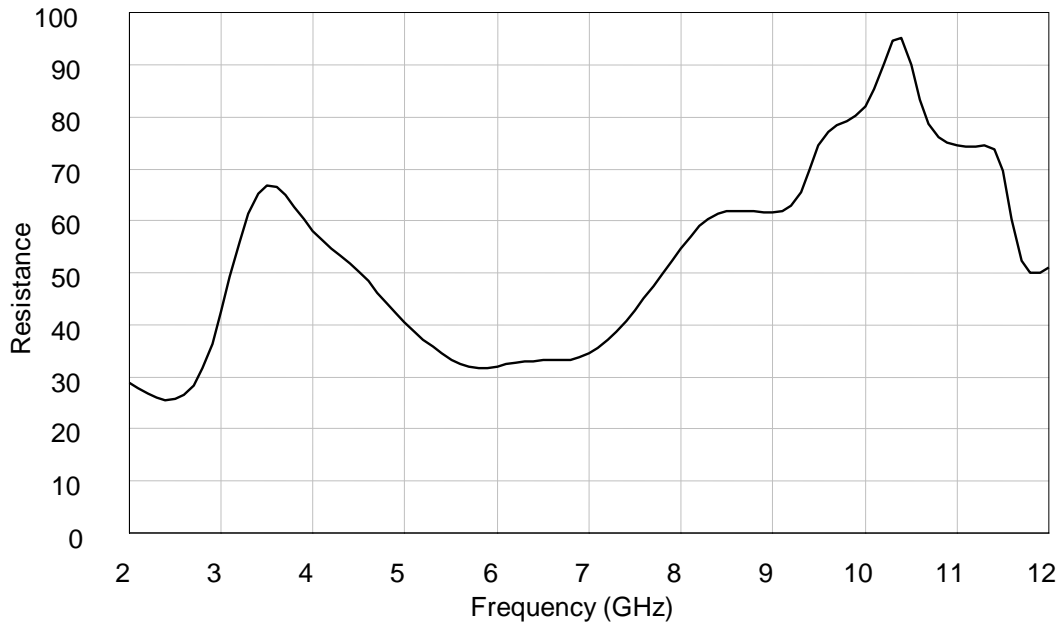
$$\Gamma(\text{反射係數}) = \frac{Z_{in} - Z_o}{Z_{in} + Z_o} \quad \text{其中 } Z_o = 50 \Omega \quad (4-3)$$

$$RL(\text{反射損失}) = 20 \log |Z_{in}| \quad (dB) \quad (4-4)$$

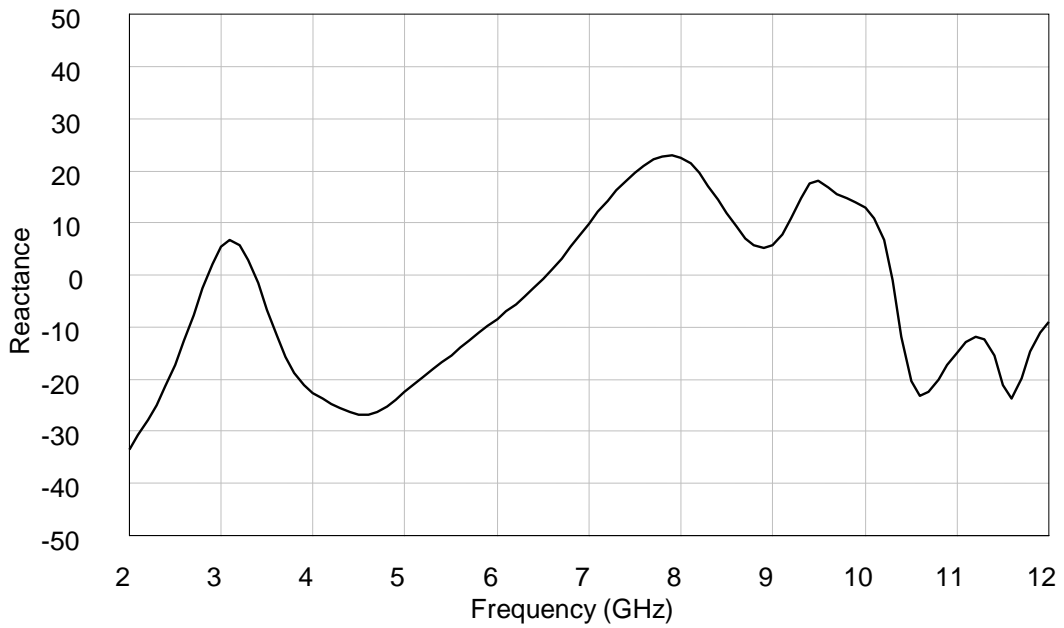


將 Z_{in} 代入 (4-3) 可得 $\Gamma(\text{反射係數}) = 0.32$ ，再將 Γ 值帶入 (4-4) 可得 $RL(\text{反射損失}) = -0.987$ dB，由可知反射損失的模擬結果和輸入阻抗的模擬結果是一致的。

由前述實部電阻，虛部電抗變化範圍可知，在頻率 3 GHz ~ 11 GHz 之間，阻抗的變化對應頻率變化，其變化量並不大，也就是阻抗值對頻率改變的敏感度並不高。



(a)



(b)

圖 4.5 天線之輸入阻抗圖。(a)實部電阻，(b)虛部電抗。

4.2.4 天線之電流分佈

圖 4.6 (a)~(d)是天線在頻率 8 GHz 時的電流分佈，以圖(a)的電流相位為基準 0° ，圖(b)的電流相位 60° ，圖(c)的電流相位 120° ，圖(d)的電流相位 180° ；由圖 4.6 電流隨饋

入點相位的改變，電流類似行進波方式向天線末端流動。

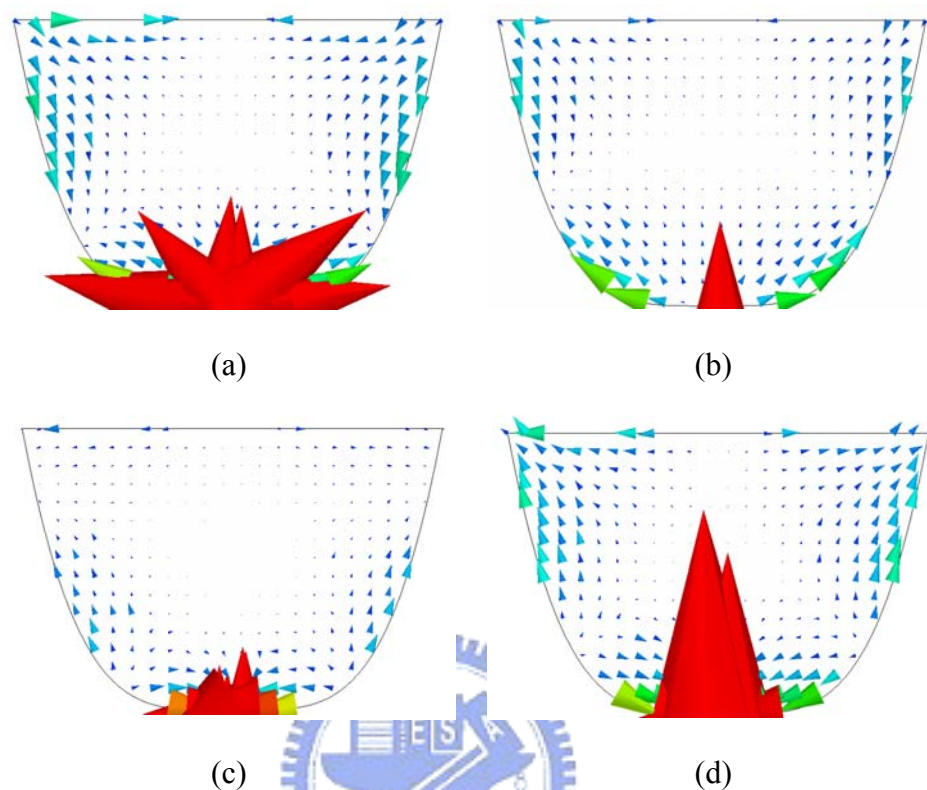


圖 4.6 天線電流分佈圖。(a)饋入電流相位 0° ，(b) 饋入電流相位 60° ，(c) 饋入電流相位 120° ，(d) 饋入電流相位 180° 。

4.2.5 天線之反射損失測量結果

圖 4.7 表示 $N = 4$ 階， $G = 0.45 \text{ mm}$ 時的二項式天線的反射損失模擬結果與量測結果比較圖。

圖 4.7 地面(Grounding plane)長度是 50 mm ，實測和模擬比較圖。圖中所示，最低匹配頻率(f_L)模擬值是 2.65 GHz ，量測值為 2.59 GHz ，兩者差距非常小，而最高的匹配頻率(f_H)，模擬值在 10.4 GHz 約 -9.8 dB ，而量測值的 f_H 為 10.97 GHz 。 10.4 GHz 量測的反射損失小於在 -10 dB ，總匹配頻寬較模擬的結果稍微大了一點，尤其是高頻部分。

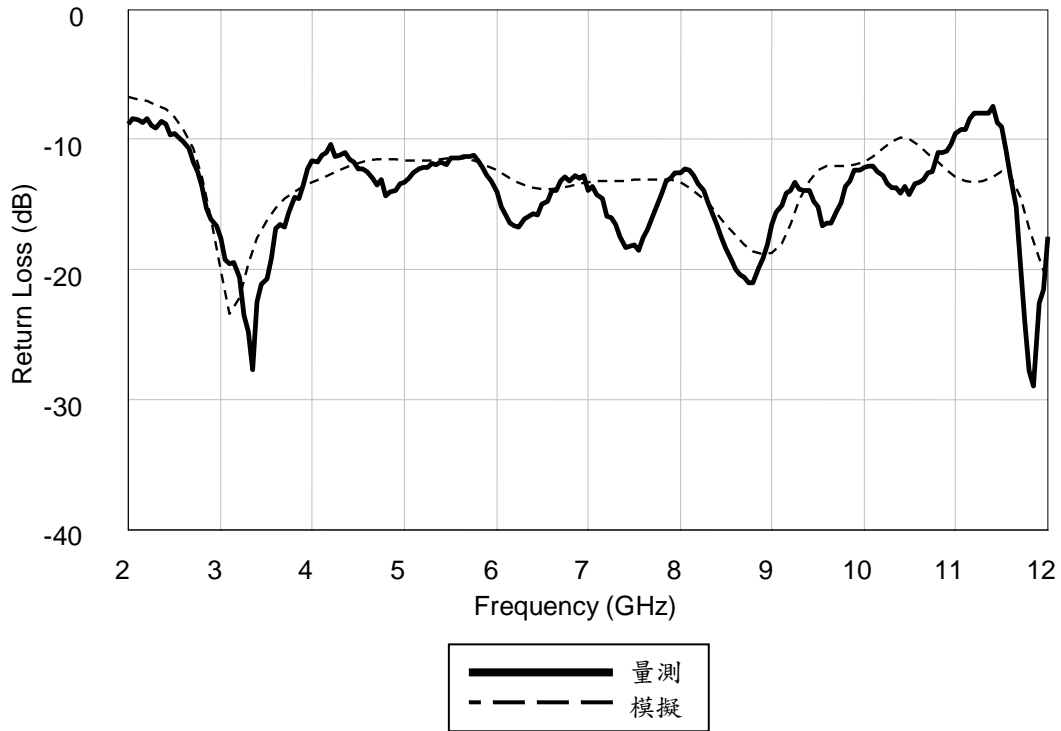
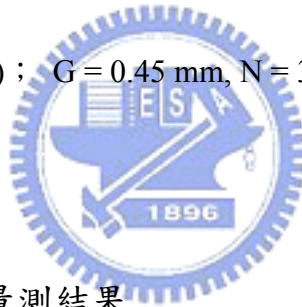


圖 4.7 天線 (A(10, 10) ; $G = 0.45 \text{ mm}$, $N = 3$) 反射損度量測及模擬結果。



4.2.6 天線之輻射場型的量測結果

本節內容是二項式天線($N = 4$, $G = 0.45 \text{ mm}$, $L = 50 \text{ mm}$ ，請參考圖 4.8)，在頻率 3.2 GHz, 4 GHz, 5 GHz, 5.8 GHz, 7 GHz, 8.2 GHz, 9 GHz, 10 GHz 等頻率之下量測得到的輻射場型，因為量測實驗室並無 3 GHz~4 GHz 及 6 GHz~8 GHz 的標準天線可提供量測前的校正，所以頻率 3.2 GHz, 7 GHz 無法測得實際天線增益，但是輻射場型是正確的，且因為無法量得天線增益值，所以在這兩個頻率下的輻射場型，只提供共平面電場極化的輻射場型，如圖 4.9 和圖 4.13 所示。

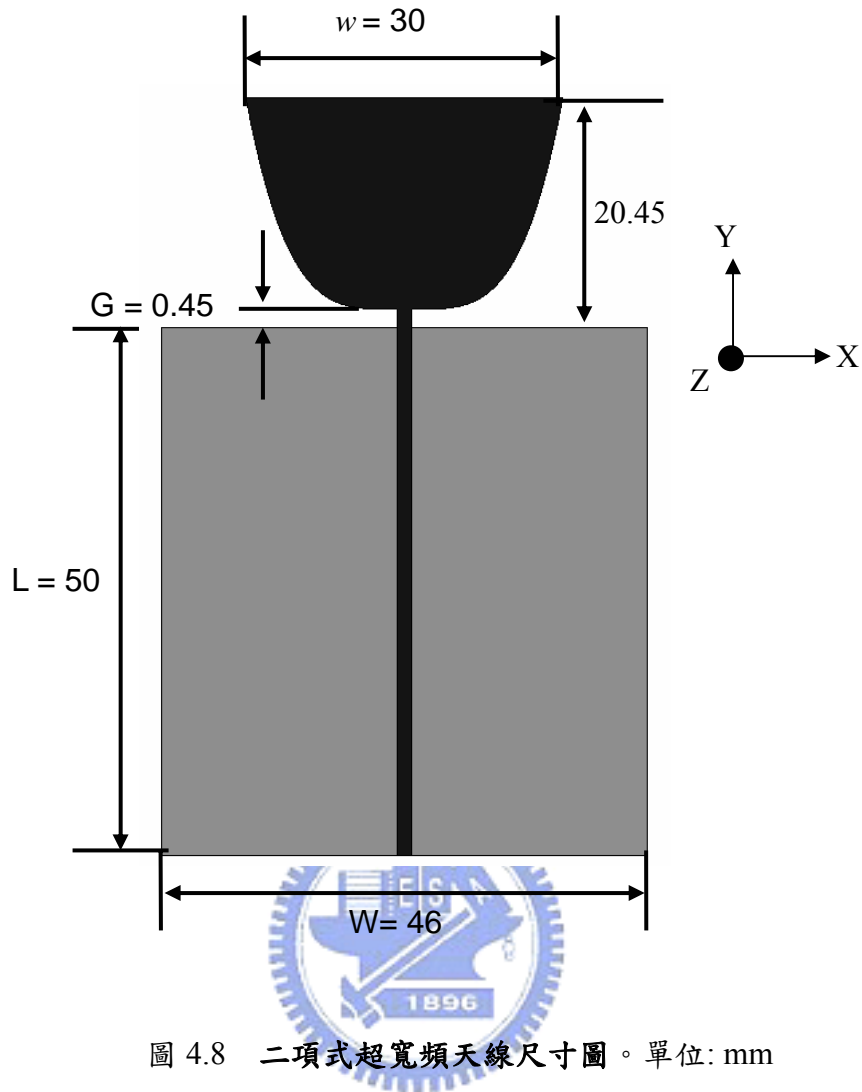


圖 4.8 二項式超寬頻天線尺寸圖。單位: mm

黑色區域是位於 PCB 的正面(TOP Side), 灰色區域是位於 PCB 的背面(Bottom Side)

圖 4.9 是天線在 3.1 GHz 測得的輻射場型, (a)是 X-Z 平面, (b)是 Y-Z 平面, (c) X-Y 平面, 因上述提及的量測校正問題, 所以每個平面場型只提供共平面電場極化下所接收的輻射場型; 觀察圖 4.9(a) X-Z 平面, 發現最大天線增益和天線最小增益的差值(maxGain - minGain)為 2.77 dBi(E-total), 這樣的差值不大所以 XZ 平面上是一個接近全向性 (Omnidirectional)輻射場型, 而圖(b) (c)類似 8 字形的場型也和一標準單極天線類似, 其中在一此角度有一些場型的抖動, 應該是天線製作的誤差及量測環境的非理想因素。

圖 4.10 是天線在 4 GHz 測得的輻射場型, 和圖 4.9 一樣有三個平面, X-Z, Y-Z, X-Y 平面, 不同的是每一個平面有三個場型, 包含天線在 E-phi, E-theta 兩個電場極化方向, 還有前兩極化的向量加成總和 E-total。

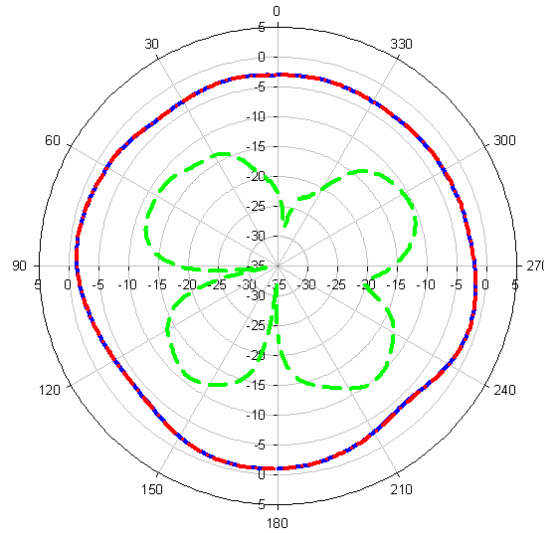
相同地 X-Z 平面仍具有近似全向性的輻射場型。頻率 4 GHz 及 5 GHz 這兩個頻率下的輻射場型非常相似，在 6 GHz 時 X-Z 平面最大增益和最小增益的差值為 6.42 dBi，平均增益為 0.21 dBi (E-total)。約在角度 105°及 225°之間天線增益明顯的降低。(請參考圖 4.10 ~ 圖 4.12)

圖 4.13 是天線在頻率 7GHz 時的輻射場型，和頻率 3.2GHz 時的原因一樣，在此可由 4.13(a)可知 X-Z 平面的場型，最大增益和最小增益的差值為 4.51 dBi (E-total)。

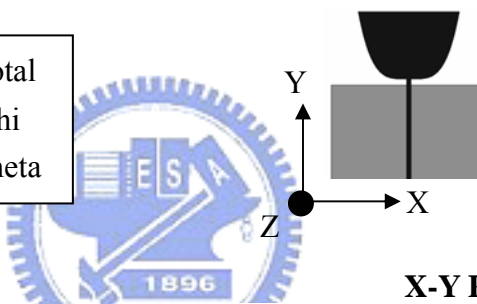
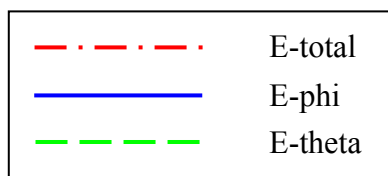
當頻率在 8 GHz，X-Z 平面，E-total 的方向極化下所得的場型最大增益和最大增益差值已經超過了 9 dBi 到了頻率 9 GHz 後，三個平面的場型已經不是很規則了(圖 4.16 ~ 4.17)，研判是因為高頻率時，在相同物理長度下因為波長變短，產生了一破碎不規則的電流分佈在天線及地面間，而造成一些輻射的抵消及不規則的輻射場。



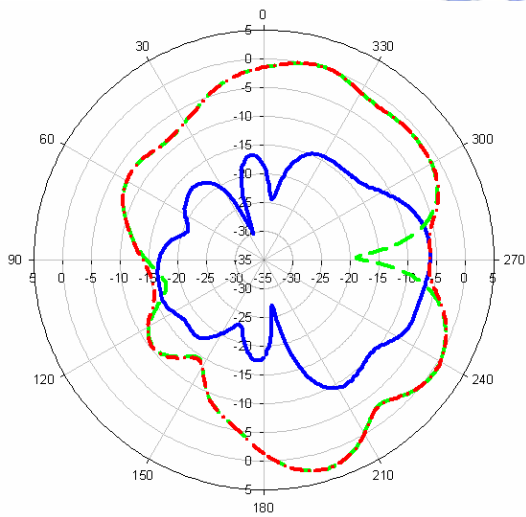
X-Z Plane



(a)

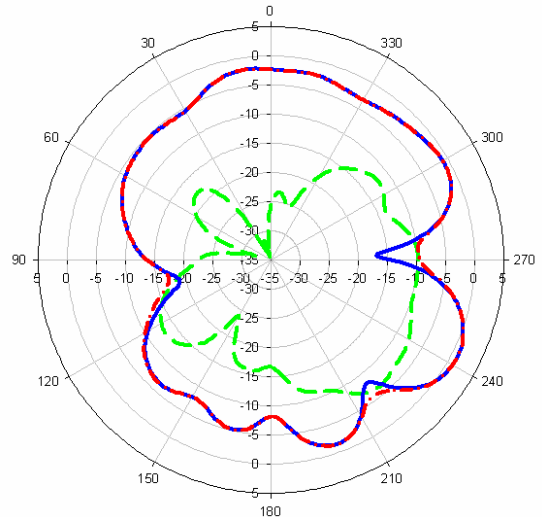


Y-Z Plane



(b)

X-Y Plane

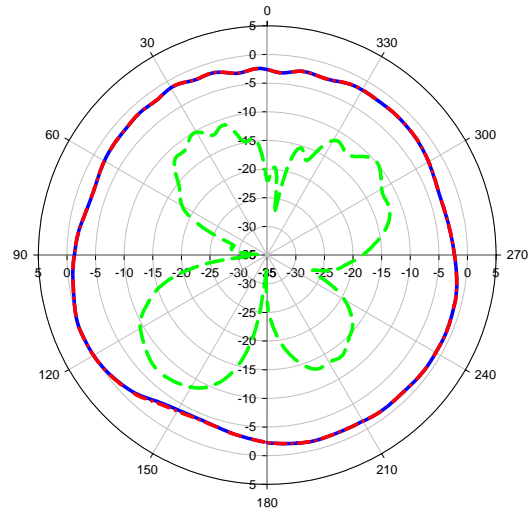


(c)

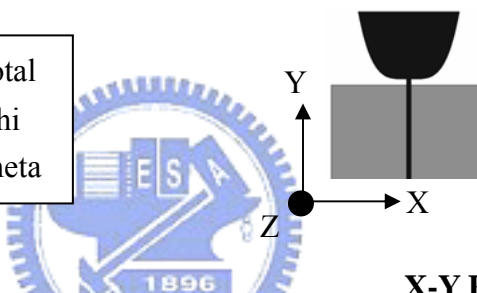
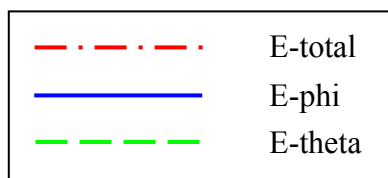
圖 4.9 超寬頻二項式天線在頻率為 3.1 GHz 時的輻射場型。

(a)X-Z 平面，(b) Y-Z 平面，(c) X-Y 平面。

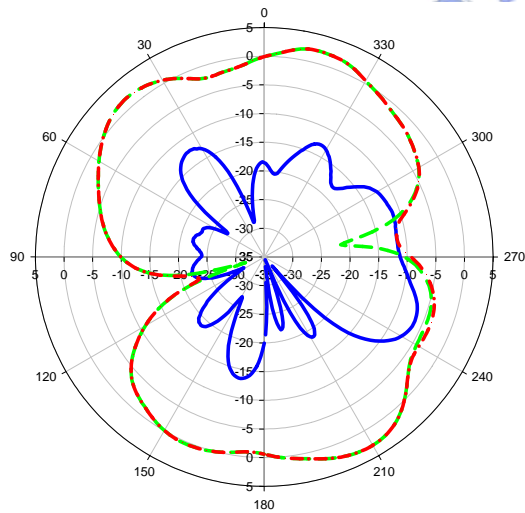
X-Z Plane



(a)

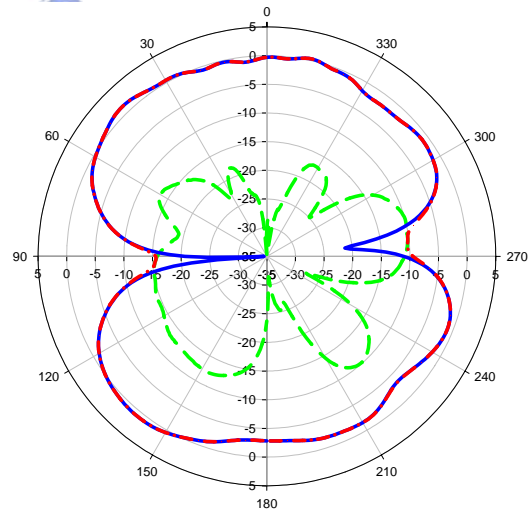


Y-Z Plane



(b)

X-Y Plane

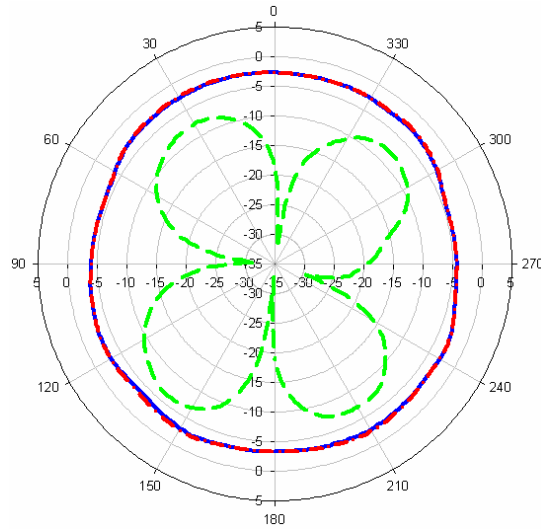


(c)

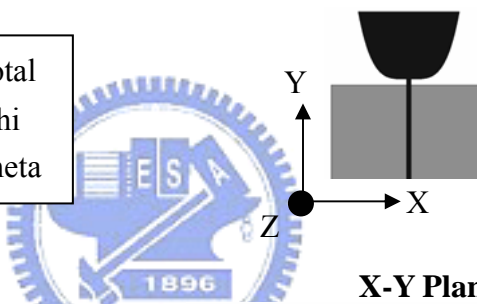
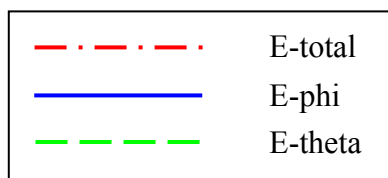
圖 4.10 超寬頻二項式天線在頻率為 4 GHz 時的輻射場型。

(a)X-Z 平面，(b) Y-Z 平面，(c) X-Y 平面。

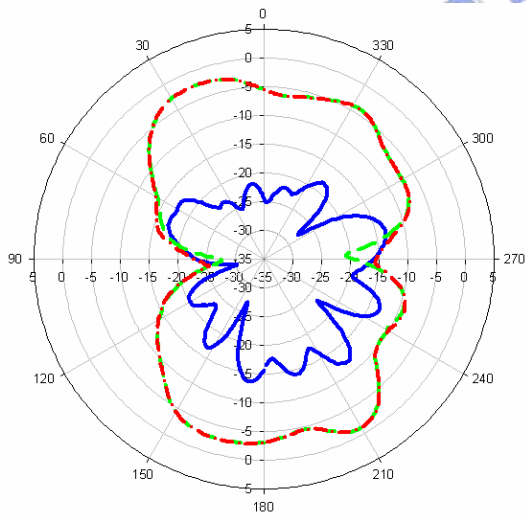
X-Z Plane



(a)

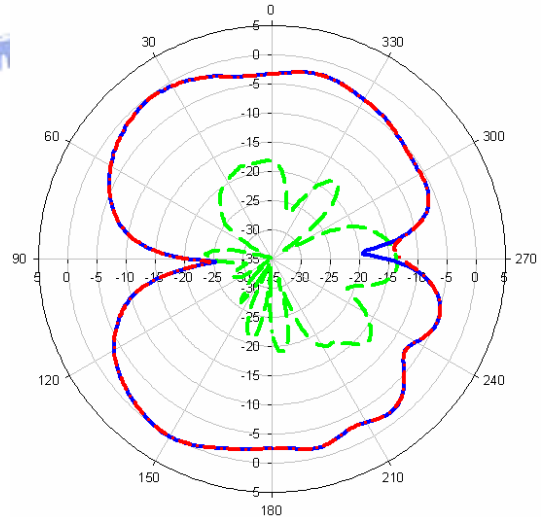


Y-Z Plane



(b)

X-Y Plane

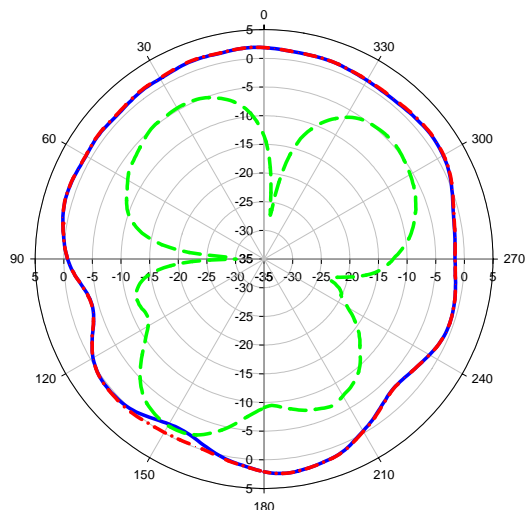


(c)

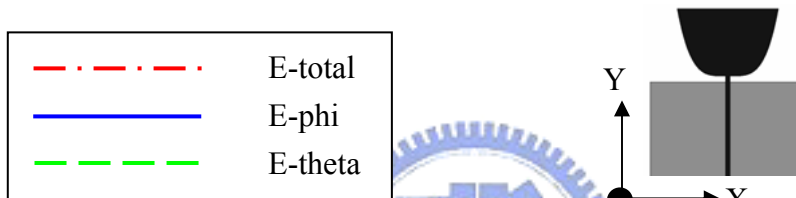
圖 4.11 超寬頻二項式天線在頻率為 5GHz 時的輻射場型。

(a)X-Z 平面，(b) Y-Z 平面，(c) X-Y 平面。

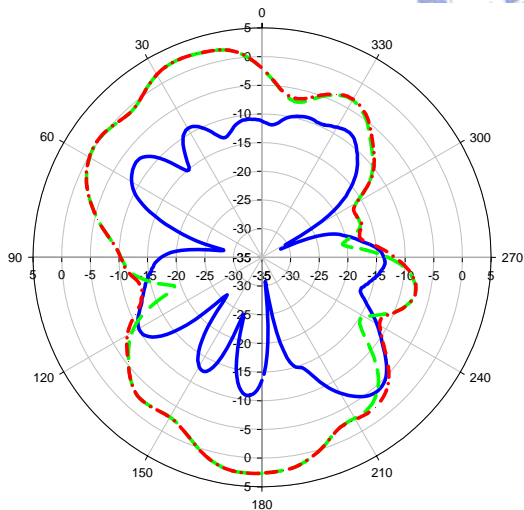
X-Z Plane



(a)

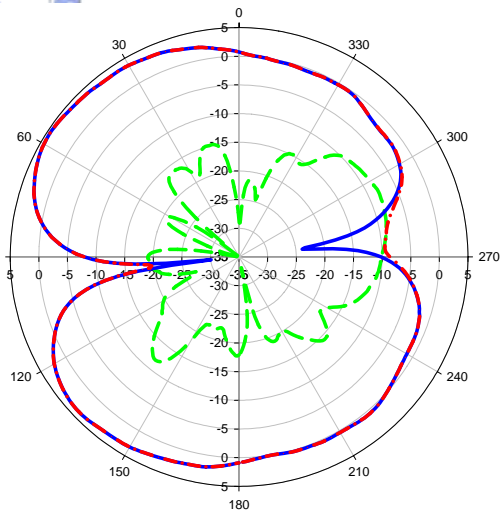


Y-Z Plane



(b)

X-Y Plane

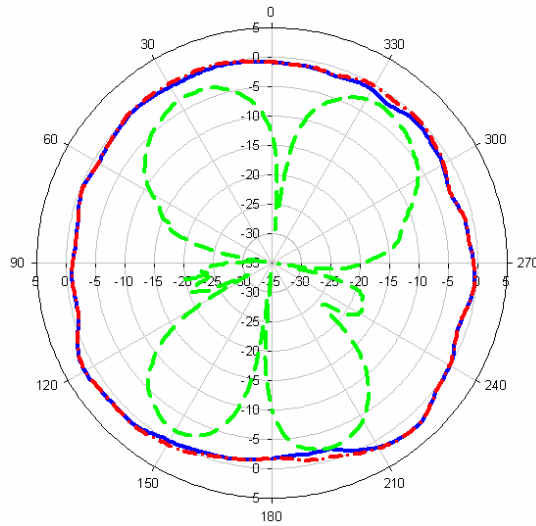


(c)

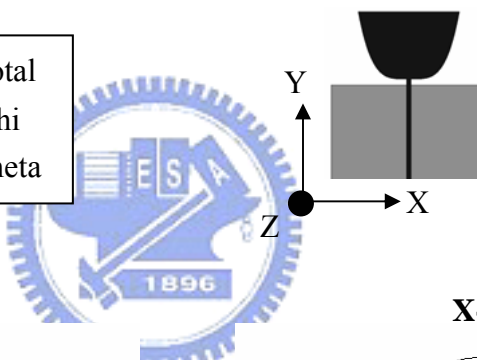
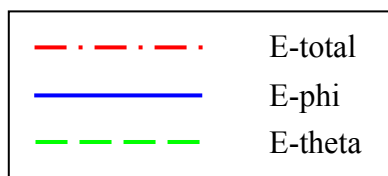
圖 4.12 超寬頻二項式天線在頻率為 6GHz 時的輻射場型。

(a)X-Z 平面，(b) Y-Z 平面，(c) X-Y 平面。

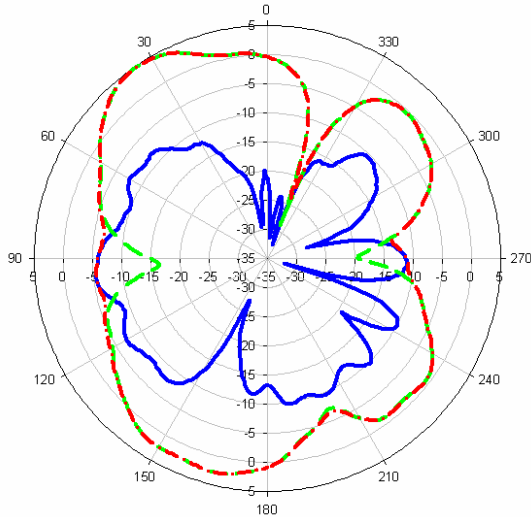
X-Z Plane



(a)

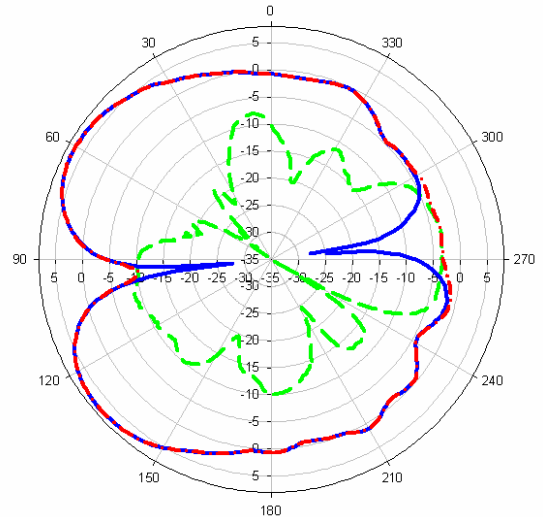


Y-Z Plane



(b)

X-Y Plane

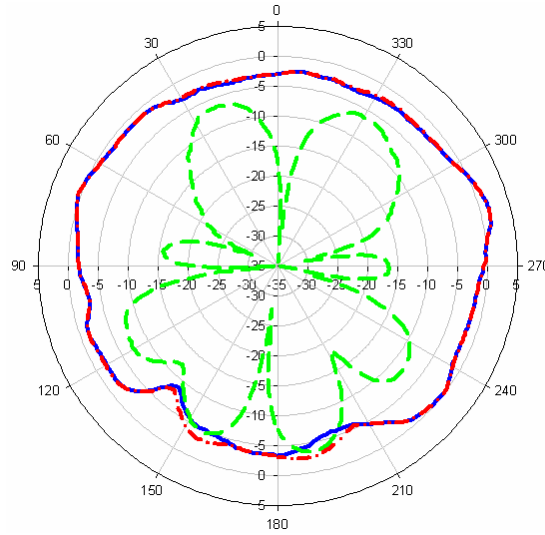


(c)

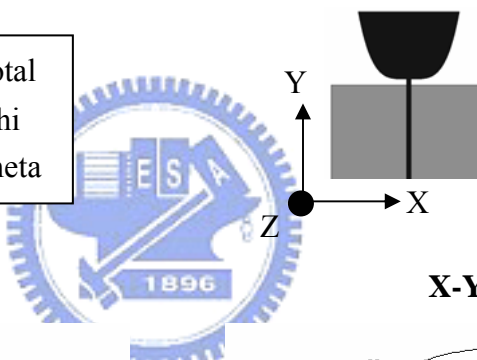
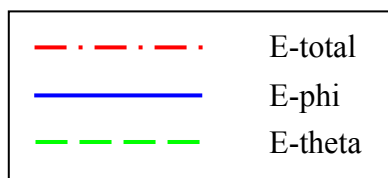
圖 4.13 超寬頻二項式天線在頻率為 7GHz 時的輻射場型。

(a)X-Z 平面，(b) Y-Z 平面，(c) X-Y 平面。

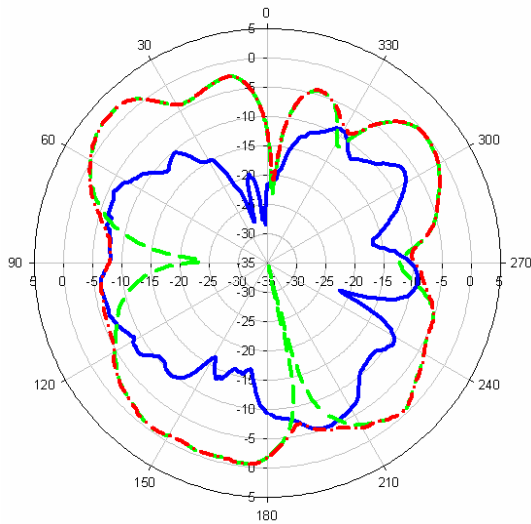
X-Z Plane



(a)

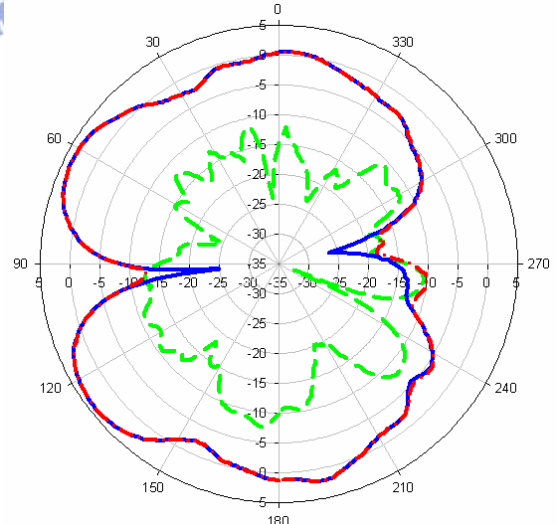


Y-Z Plane



(b)

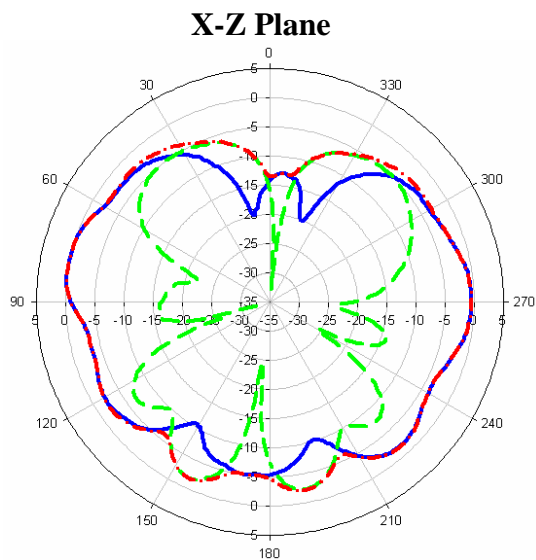
X-Y Plane



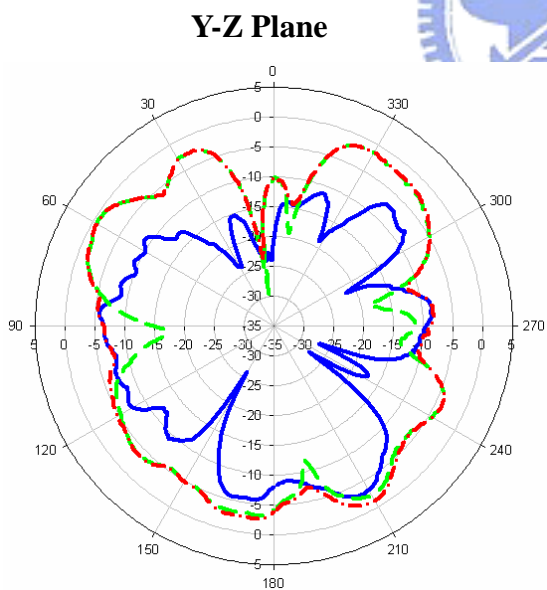
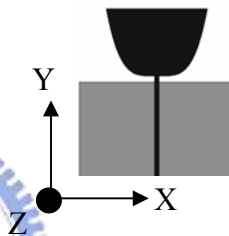
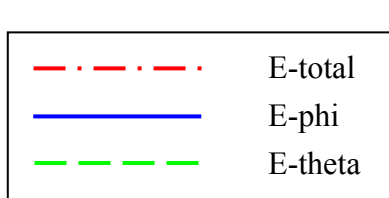
(c)

圖 4.14 超寬頻二項式天線在頻率為 8GHz 時的輻射場型。

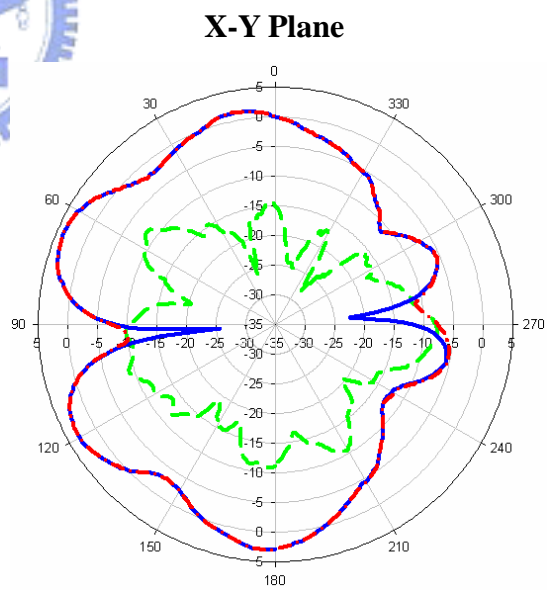
(a)X-Z 平面，(b) Y-Z 平面，(c) X-Y 平面。



(a)



(b)

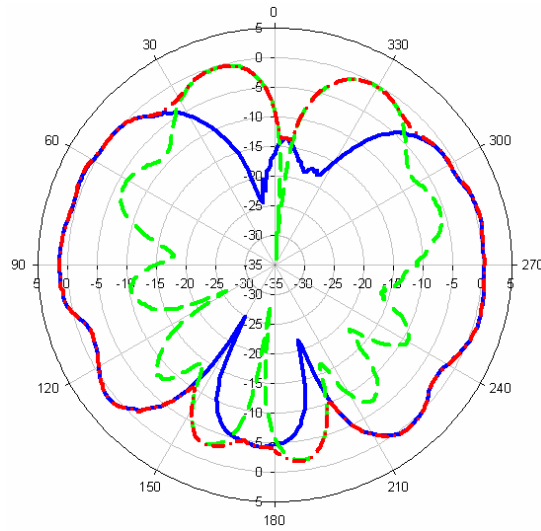


(c)

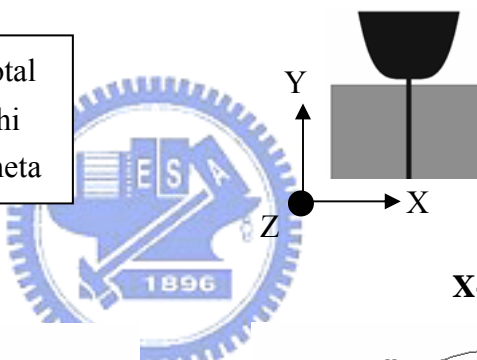
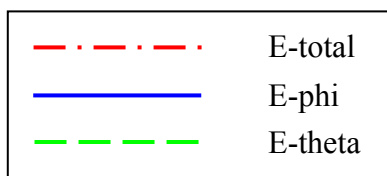
圖 4.15 超寬頻二項式天線在頻率為 9GHz 時的輻射場型。

(a)X-Z 平面，(b) Y-Z 平面，(c) X-Y 平面。

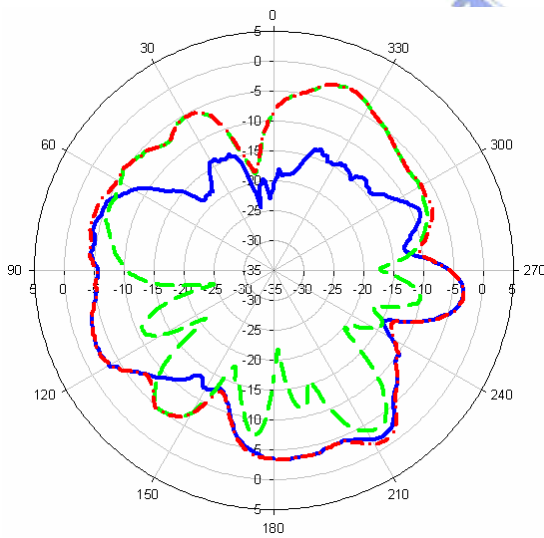
X-Z Plane



(a)

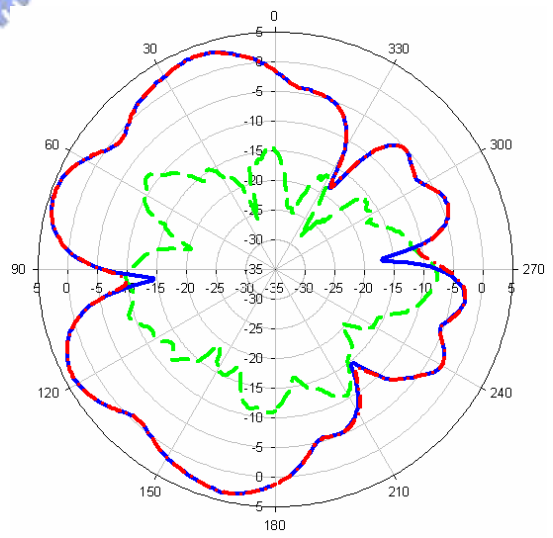


Y-Z Plane



(b)

X-Y Plane

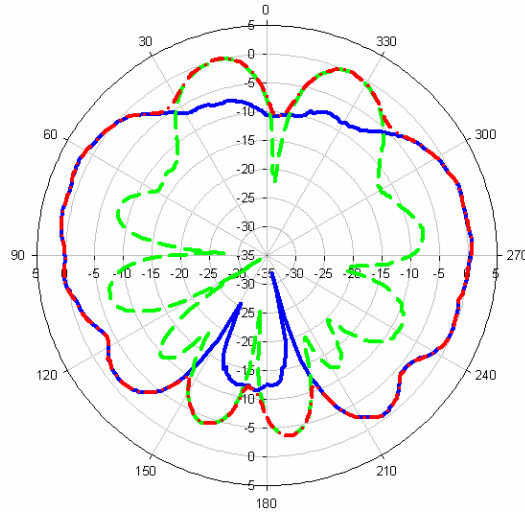


(c)

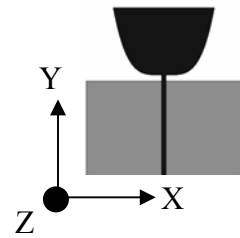
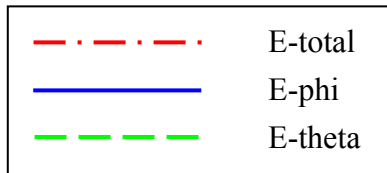
圖 4.16 超寬頻二項式天線在頻率為 10GHz 時的輻射場型。

(a)X-Z 平面，(b) Y-Z 平面，(c) X-Y 平面。

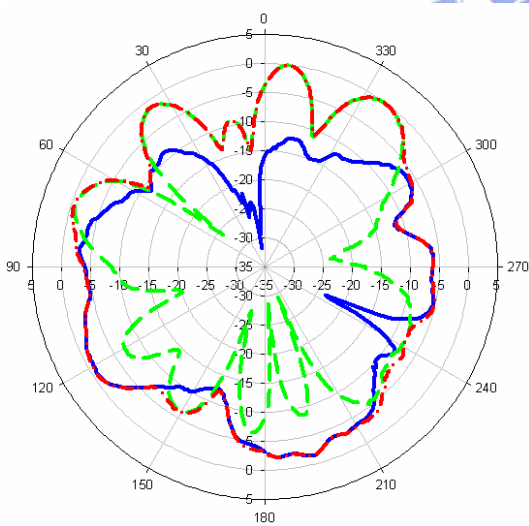
X-Z Plane



(a)

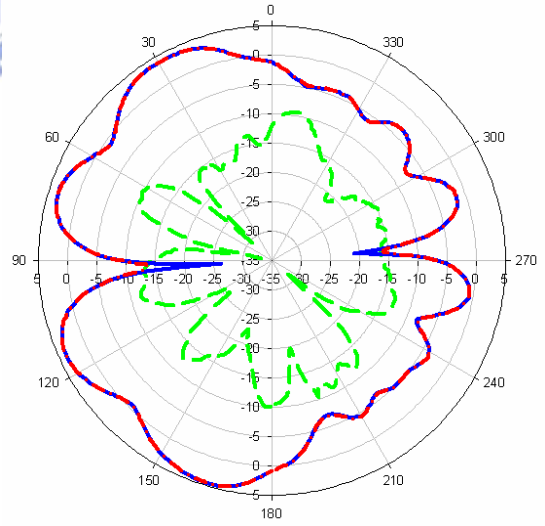


Y-Z Plane



(b)

X-Y Plane



(c)

圖 4.17 超寬頻二項式天線在頻率為 10.6GHz 時的輻射場型。

(a)X-Z 平面，(b) Y-Z 平面，(c) X-Y 平面。

	X-Y Plane		X-Z Plane		Y-Z Plane	
	peak gain(dBi)	average gain(dBi)	peak gain(dBi)	average gain(dBi)	peak gain(dBi)	average gain(dBi)
3.1 GHz	1.13	-5.42	-0.88	-3.65	2.94	-5.31
4 GHz	1.32	-2.60	0.22	-1.90	2.95	-3.30
5 GHz	0.13	-4.73	-2.36	-4.51	-1.10	-8.54
6 GHz	4.46	-0.41	2.57	0.21	2.72	-5.13
7 GHz	7.08	0.54	2.15	-0.31	4.92	-2.887
8 GHz	4.17	-2.71	1.54	-2.11	2.15	-3.94
9 GHz	3.91	-3.03	3.18	-0.734	-0.58	-5.42
10 GHz	4.37	-2.44	1.36	-1.71	-1.02	-6.04
10.6 GHz	4.55	-1.66	1.64	-2.44	-0.03	-5.01

表 4.1 超寬頻二項式天線在 3.1GHz~10.6GHz 之輻射場型的最大增益和平均增益

圖 4.18 為二項式天線在 X-Z 平面測得的輻射場型，圖 (a) 表示天線在 3.1GHz、4 GHz、5 GHz，圖 (b) 表示天線在 6 GHz、7 GHz、8 GHz 的場型。相同地，天線在 Y-Z 及 X-Z 平面的輻射場型對應頻率變化，也有相同的擺置，請參閱圖 4.19 及 4.20。

為了方便觀察不同的天線方位，輻射功率增益的頻響應，在圖 4.22 中在天線的 X-Z 平面、Y-Z 平面、X-Y 平面，分別選擇 $\theta/\phi=0^\circ, 90^\circ, 180^\circ, 270^\circ$ ，四個方位繪製輻射功率隨頻率改變的變化量；請參閱圖 4.22。

X-Z Plane

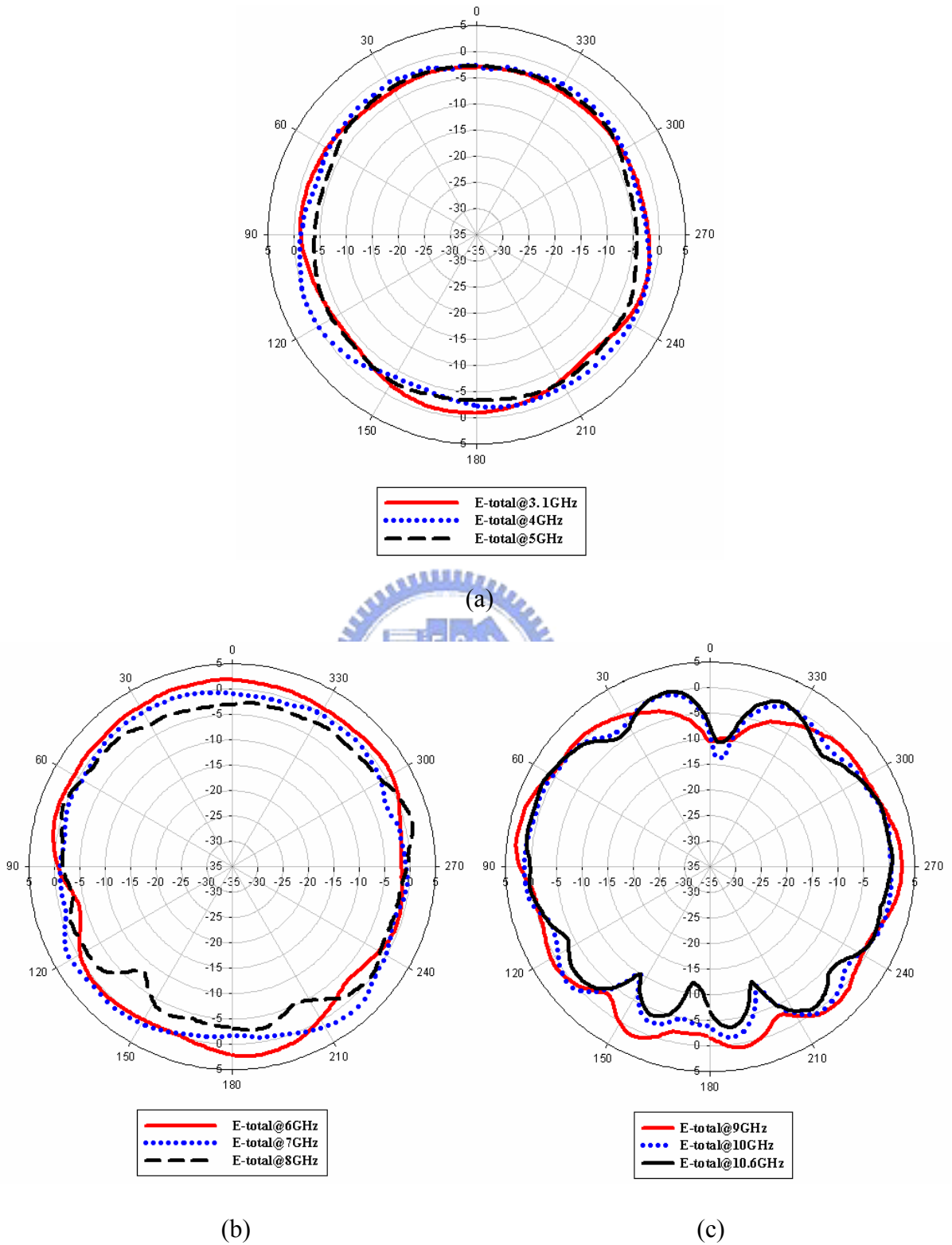
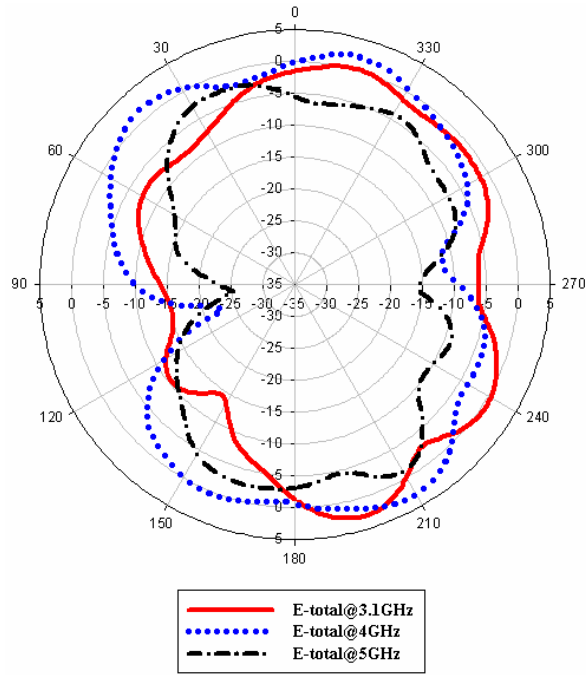


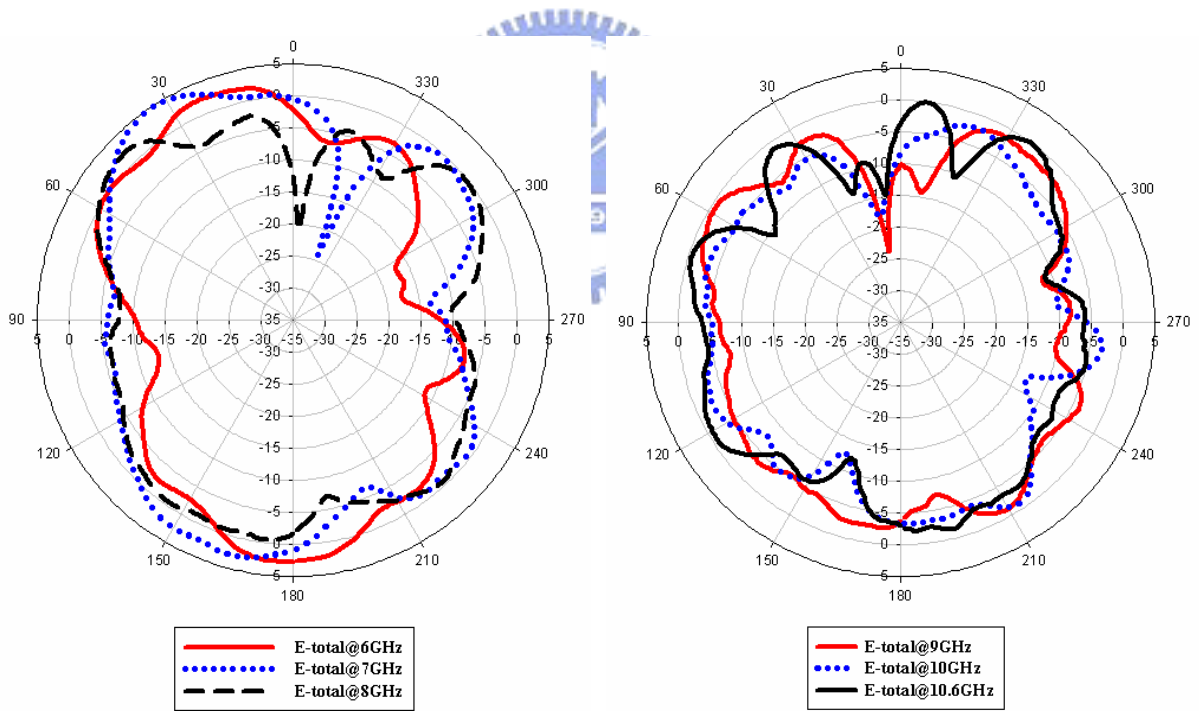
圖 4.18 超寬頻二項式天線 X-Z 平面 3.1GHz~10.6GHz 輻射場型比較圖

(a)E-total@3.1、4、5GHz。(b)E-total@6、7、8GHz。(c)E-total@9、10、10.6GHz。

Y-Z Plane



(a)



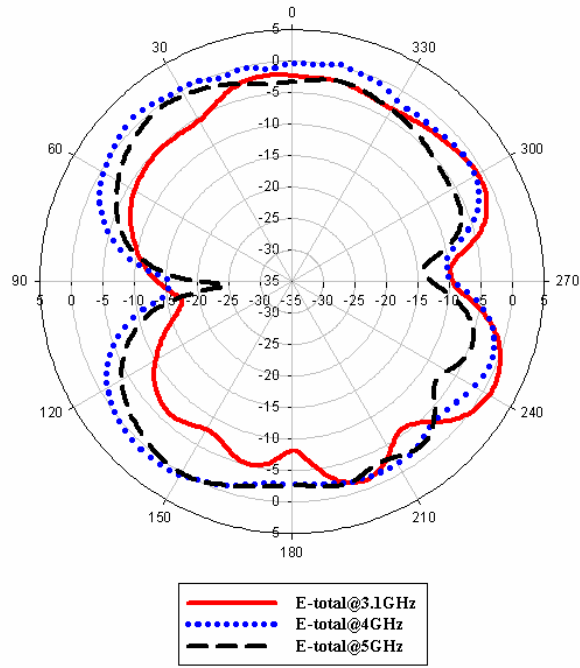
(b)

(c)

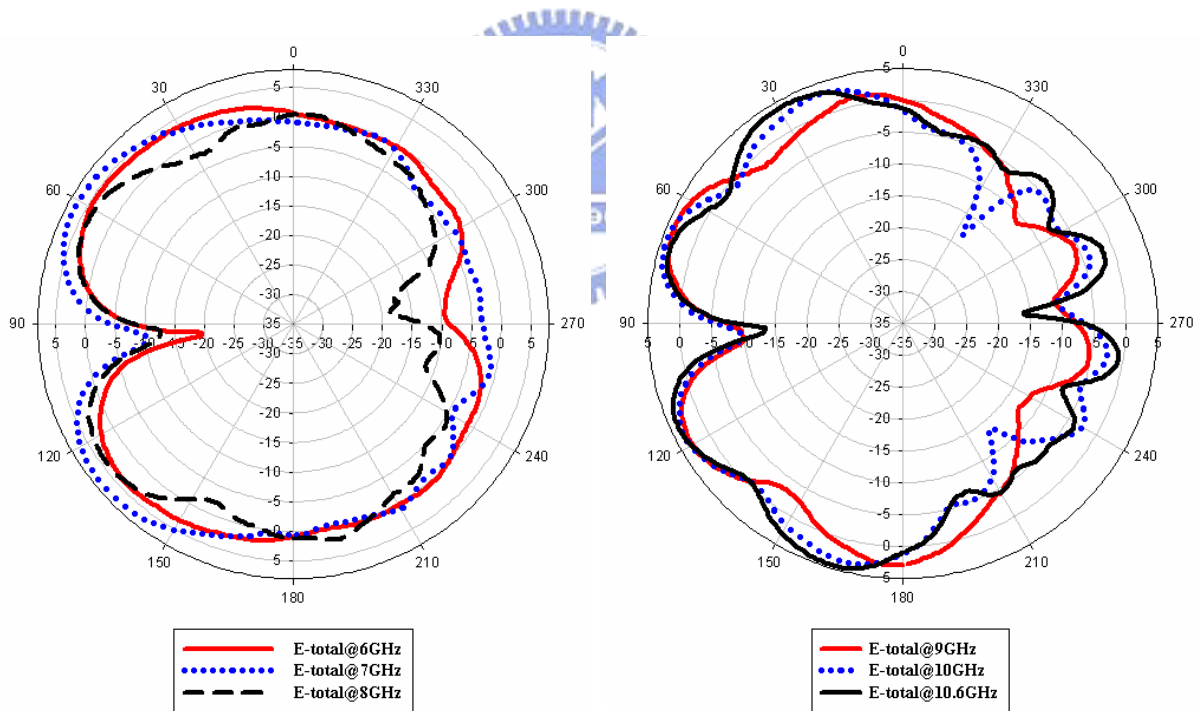
圖 4.19 超寬頻二項式天線 Y-Z 平面 3.1GHz~10.6GHz 輻射場型比較圖

(a)E-total@3.1、4、5GHz。(b)E-total@6、7、8GHz。(c)E-total@9、10、10.6GHz。

X-Y Plane



(a)



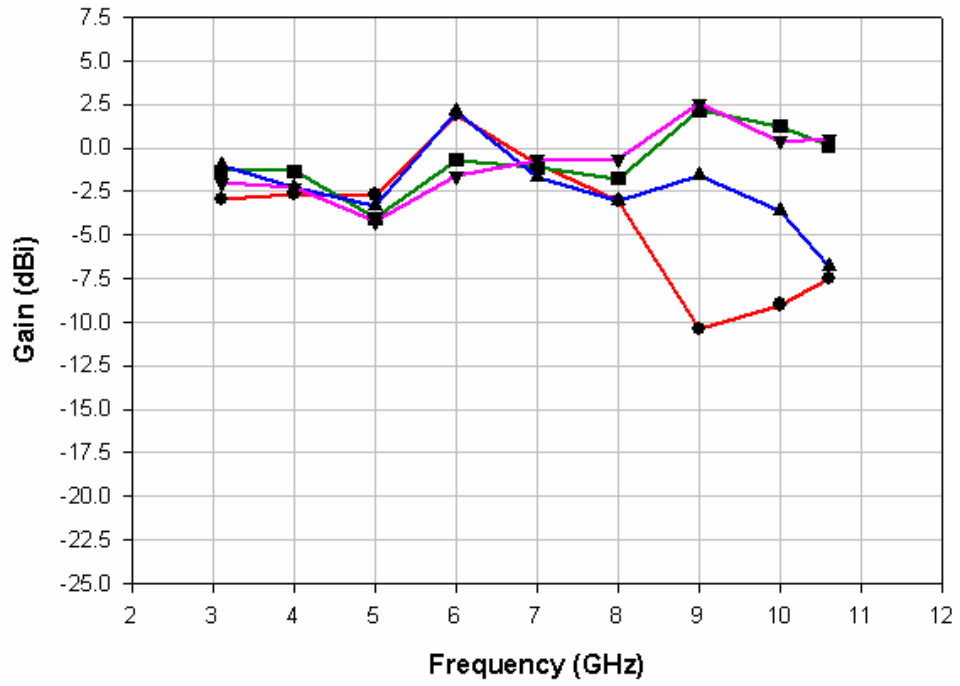
(b)

(c)

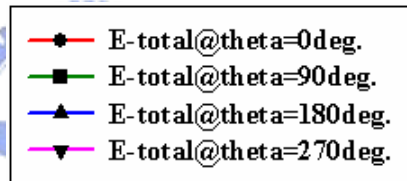
圖 4.20 超寬頻二項式天線 X-Y 平面 3.1GHz~10.6GHz 輻射場型比較圖

(a)E-total@3.1, 4, 5GHz。 (b)E-total@6, 7, 8GHz。 (c)E-total@9, 10, 10.6GHz。

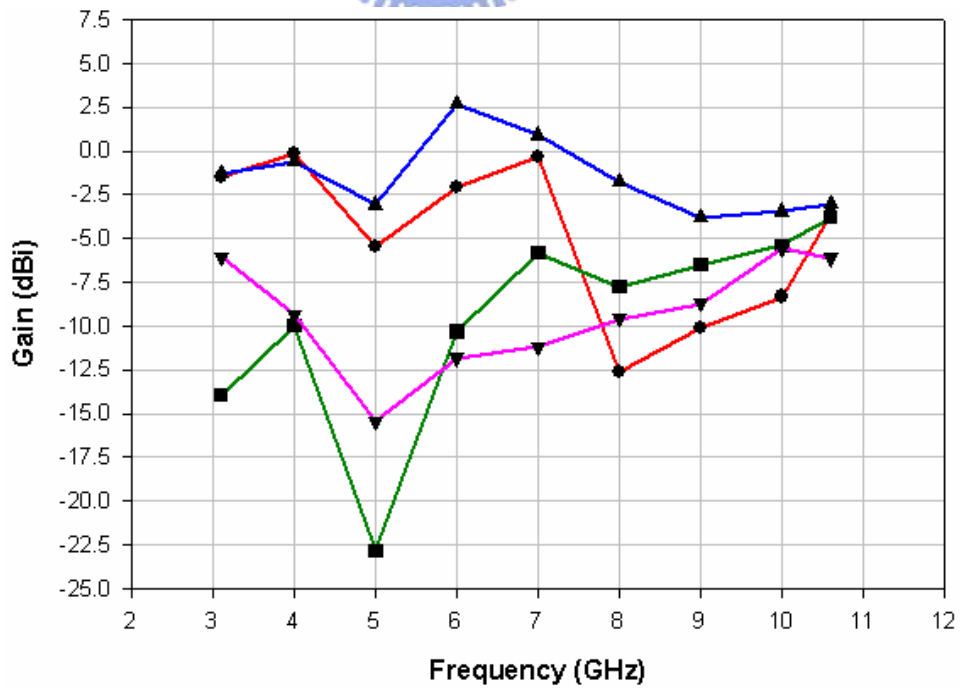
X-Z Plane



(a)



Y-Z Plane



(b)

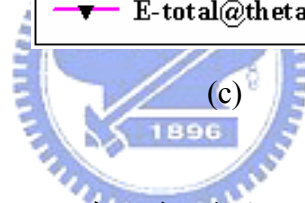
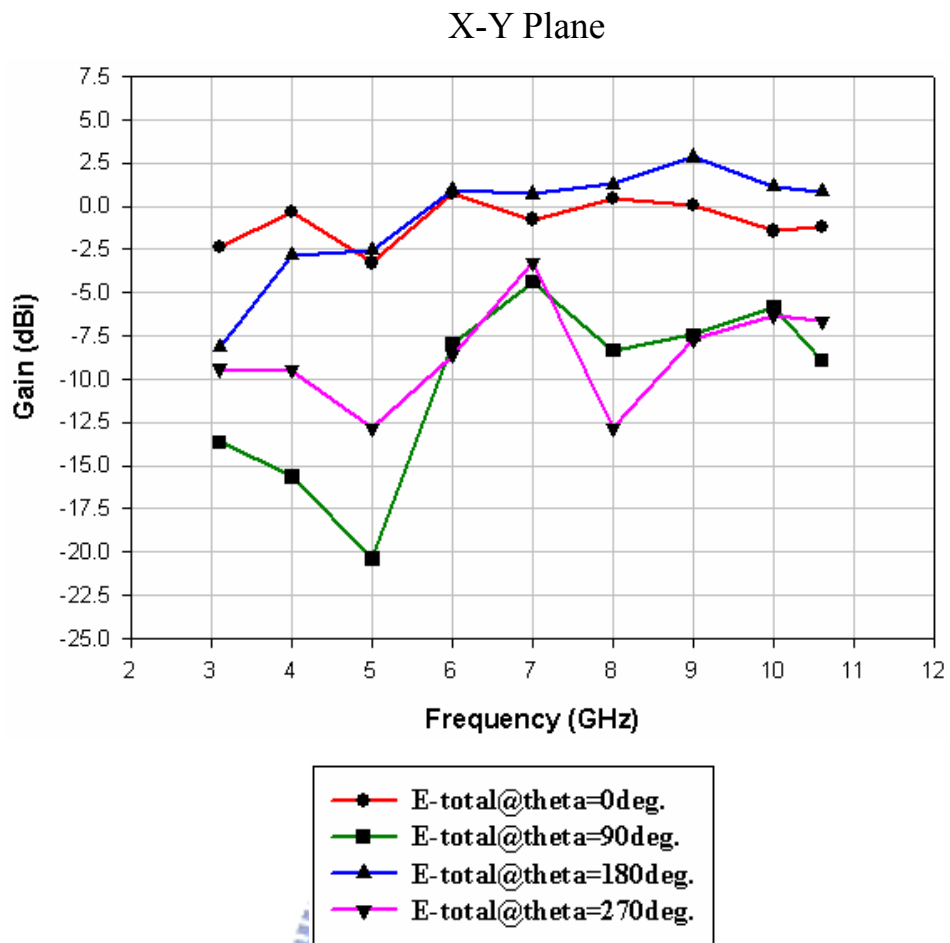


圖 4.21 超寬頻二項式天線之輻射功率增益頻率響應圖。

(a)X-Z 平面，(b) Y-Z 平面，(c) X-Y 平面。

4.3 二項式寬頻(3GHz~5 GHz)天線設計

本節也和 4.2 節一樣是利用二項式函數來設計天線結構，不過這節中介紹的天線，「地面」(Grounding plane)面積是 $20\text{ mm} \times 20\text{ mm}$ ($L \times W$)，天線部分(含 Grounding plane)也在 $20\text{ mm} \times 25\text{ mm}$ 之內。天線的匹配使用頻段範圍 3 GHz 至 5 GHz，也就是超寬頻帶的低頻帶(Low Band)，相關的介紹請參考 1.2 節。

設計天線的板材是 FR4，介電常數為 4.4，板材的厚度為 0.8 mm。

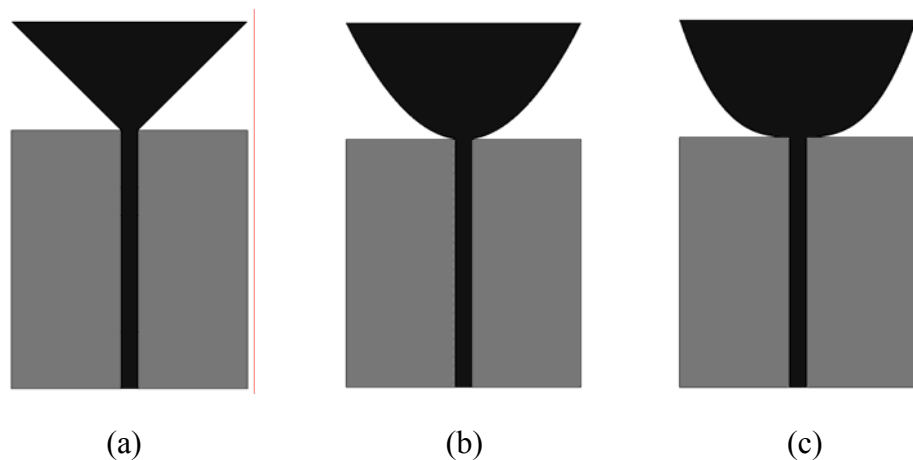
本節內容大致為 4.3.1~4.3.3 是關於二項式曲線的階數 N 、 A 點(請參考圖 4.1)和天線饋入間隙長度 G ，三個參數對天線反射損失的影響；4.3.4 是天線實際量測的反射損失並和模擬的結果作比較，最後一小節 4.3.5 是天線輻射場型的實測與討論。



4.3.1 二項式曲線階數 N 對反射損失的影響

本小節要討論階數 N 改變對反射損失的影響，所以將 A 點固定在 $A(10, 10)$ ，間隙 $G = 2\text{ mm}$ 。

圖 4.22(a)~(f)是六支天線的外型由不同階數的二項式曲線組成。



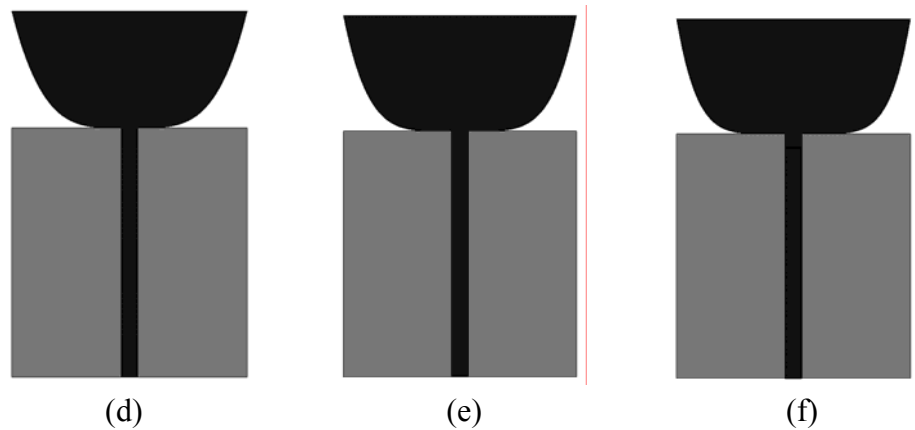


圖 4.22 二項式天線外型示意圖。

(a) $N = 1$, (b) $N = 2$, (c) $N = 3$, (d) $N = 4$, (e) $N = 5$, (f) $N = 6$ 。

黑色區域是位於 PCB 的正面(TOP Side)，灰色區域是位於 PCB 的背面(Bottom Side)

圖 4.23 是 $N = 1 \sim 8$ 階的二項式天線反射損失模擬曲線；在圖中 $N = 1$ 的頻寬是 2.94 GHz ~ 5.77 GHz； $N = 2$ 的頻寬是 2.98 GHz ~ 6.17 GHz， $N = 3$ 的頻寬是 3 GHz ~ 6.36 GHz， $N = 4$ 的頻寬為 3.05 GHz ~ 6.3 GHz， $N = 5$ 的頻寬為 3.07 GHz ~ 6.25 GHz， $N = 6$ 的頻寬為 3.095 GHz ~ 6.15 GHz，由上述的頻寬數據可知，頻寬最寬的階數是 3 階。隨著 1 階到 3 階的改變，頻寬有向高頻方向移動的趨勢，且頻寬也隨著階數增加而增加。但是 4 階到 6 階的天線匹配，頻寬卻隨著階數增加而降低。

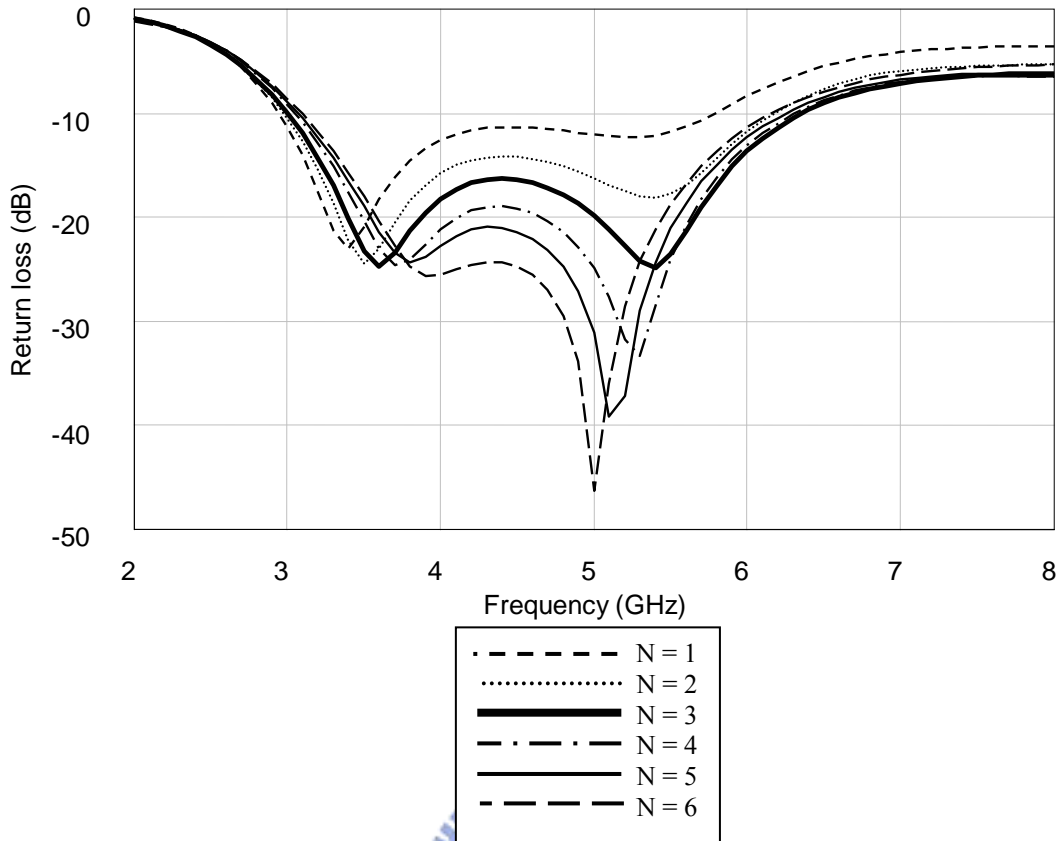


圖 4.23 不同階數(N)之天線反射損失比較圖。

4.3.2 饋入間隙長度 G 變化對反射損失的影響

在 $A(10, 10)$ 及階數 $N=3$ 情況下，改變 G 值觀察匹配頻寬的改變。由圖 4.24 可知， $G=1.2$ mm 的頻寬範圍是 3.18 GHz ~ 7 GHz， $G=1.6$ mm 的頻寬範圍是 3.08 GHz ~ 6.6 GHz， $G=2$ mm 的頻寬範圍是 3 GHz ~ 6.36 GHz， $G=2.4$ mm 的頻寬範圍 2.94 GHz ~ 6.16 GHz， $G=2.8$ mm 的頻寬範圍 2.85 GHz ~ 5.95 GHz。由上述的數據可以發現在， $G=1.2$ mm 依序增加至 2.8 mm，天線匹配頻寬有往頻率增加的方向移動(Shift)，而且頻寬也略有增加。在 A 及 N 參數固定的情況下，可以藉改變 G 值來調整匹配頻寬，和匹配最低頻率(f_L)及最高頻率(f_H)。

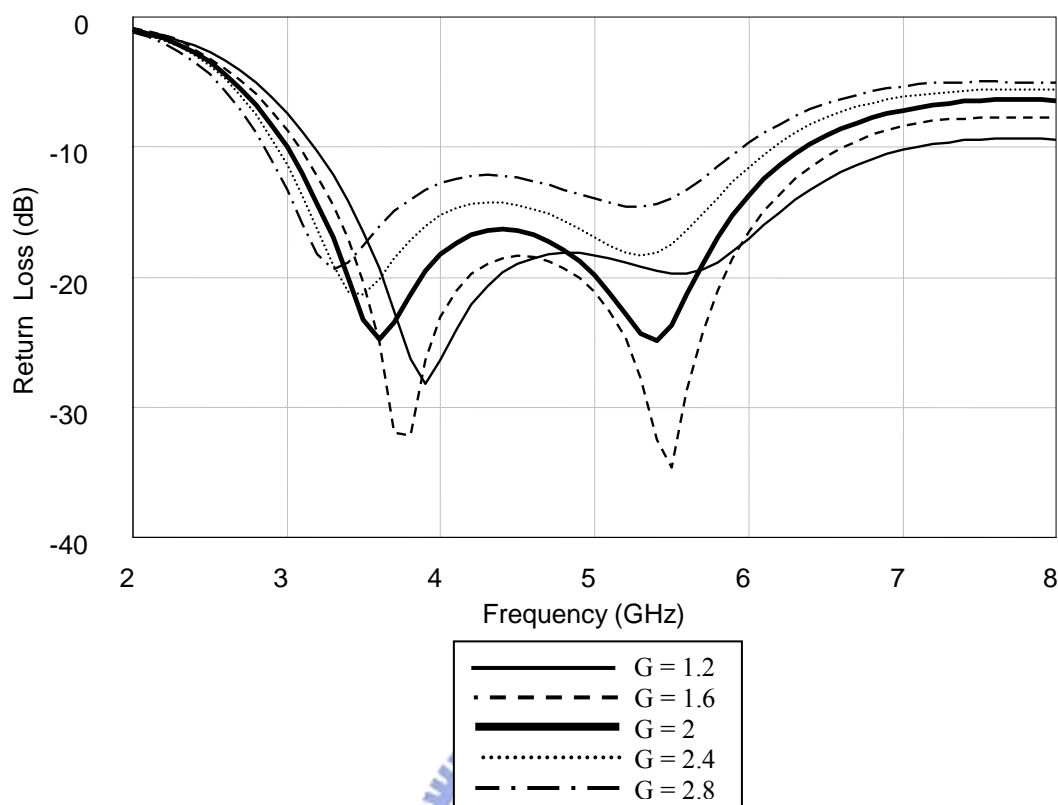


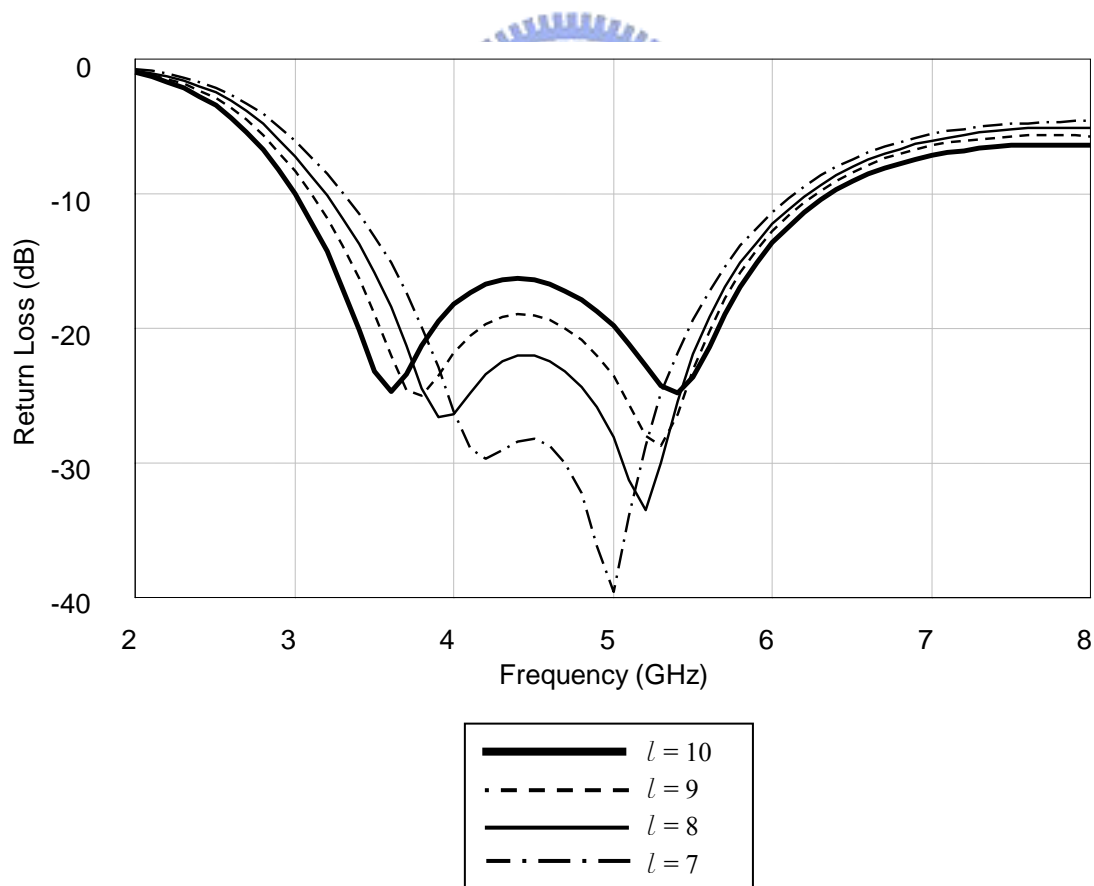
圖 4.24 不同饋入間隙長度(G)之天線反射損失比較圖。單位：mm

4.3.3 二項式曲線頂點(A point)對天線匹配的影響

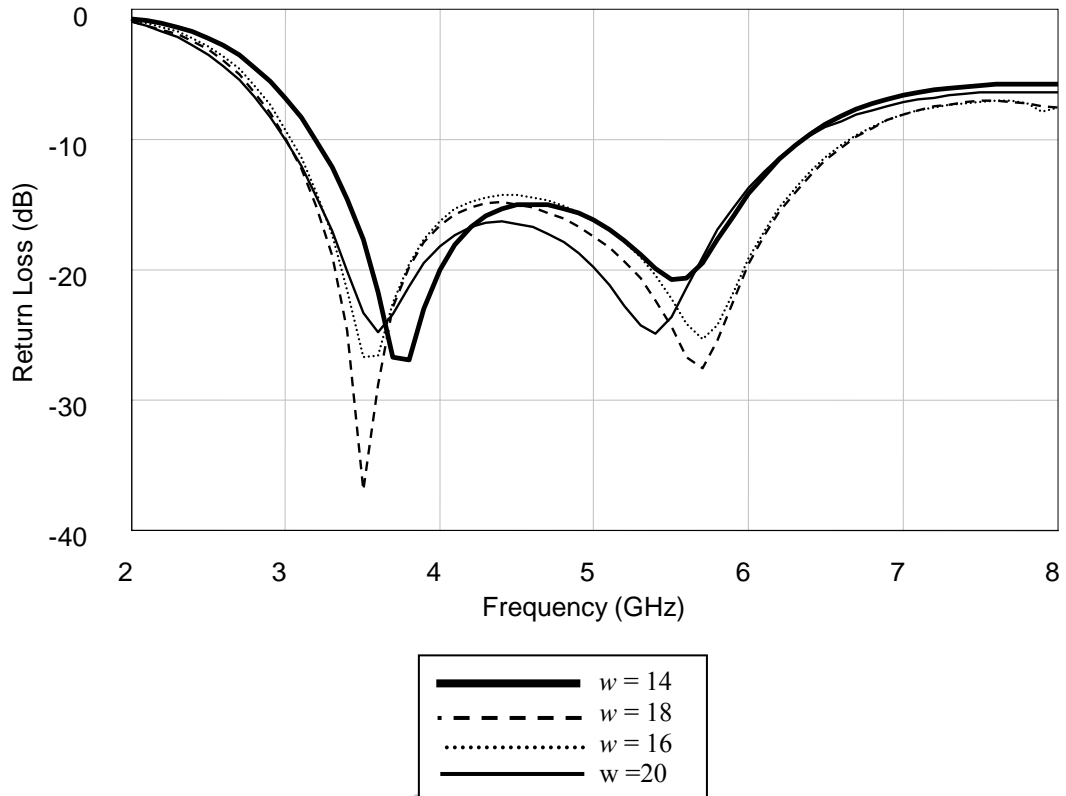
本節內容討論 A 點的位置變動對天線匹配影響。因本節的研究重點在於 A 點參數的改變，所以將固定階數 $N = 3$ 及 $G = 2$ mm。圖 4.25(a) $A(w/2, l) = A(10, 10 \sim 7)$ ，也就是天線在寬度($2w$)不變，長度 l 由 10 mm ~ 7 mm 以 1mm 遞減，觀察 A 點的改變，天線匹配頻寬受到的影響變化。圖 4.20(b)表示 $A(w/2, l) = A(10 \sim 6, 10)$ ，天線的寬度 w 分別是 10 mm, 9 mm, 8 mm, 6 mm，長度 l 則固定 10 mm。在圖中可以觀察到隨著 A 點的變化，對天線匹配的頻寬影響。由圖(a)可知 $A(10, 10)$ 的匹配寬頻範圍為 3 GHz ~ 6.36 GHz， $A(10, 9)$ 的匹配寬頻範圍為 3.105 GHz ~ 6.26 GHz， $A(10, 8)$ 的匹配寬頻範圍為 3.19 GHz ~ 6.21 GHz， $A(10, 7)$ 的匹配寬頻範圍為 3.31 GHz ~ 6.13 GHz。由上述的數據可知，隨著 l 由 10 mm 以每 1 mm 地減至 7 mm，匹配頻寬呈現遞減的現象。

由圖(b)可知 A(10, 10)的匹配頻寬範圍 3 GHz ~ 6.36 GHz, A(9, 10) 的匹配寬頻範圍為 3 GHz ~ 6.67 GHz, A(8, 10) 的匹配寬頻範圍為 3.04 GHz ~ 6.65 GHz, A(6, 10) 的匹配寬頻範圍為 3.2 GHz ~ 6.36 GHz。觀察上述的數據可發現當 A(10, 10) ~ A(8, 10)最低的匹配頻率(f_L)變動非常小(3 GHz ~ 3.04 GHz), 而最高的匹配頻率(f_H), $w = 8$ 或是 $w = 7$, f_H 幾乎相同, 此時特意將 w 改變為 6 mm, 觀察其匹配頻寬發現, 其頻寬明顯的變窄。

改變 w 並不像改變 l , 匹配頻寬有近似正比的增減, 在 A(10, 10)和 A(9, 10)時的 f_L 幾乎相同, 且後者的 f_H 比前者高, 而 A(9, 10)和 A(8, 10)的頻寬非常接近, 而當 A(6, 10) 時, 頻寬則明顯變小, 也變化也較劇烈; 所以在設計時要小心的變動天線的寬度, 如何應用得當, 可以降低天線寬度且增加匹配的頻寬。



(a)



(b)

圖 4.25 不同二項式曲線頂點($A(w/2, l)$)之天線反射損失比較圖。

(a)固定 $w = 20$ mm, 不同 l , (b) 不同 w , 固定 $l = 10$ mm。

4.3.4 天線的反射損失實際量測

圖 4.26 為實際天線尺寸圖，天線長 $l = 10$ mm，寬度 $w = 20$ mm，($A(w/2, l) = A(10, 10)$)；二項式階數 $N = 3$ ；天線饋入間隙 $G = 0.45$ mm。地面(Grounding plane)寬度 $W = 20$ mm，長度 $L = 20$ mm。

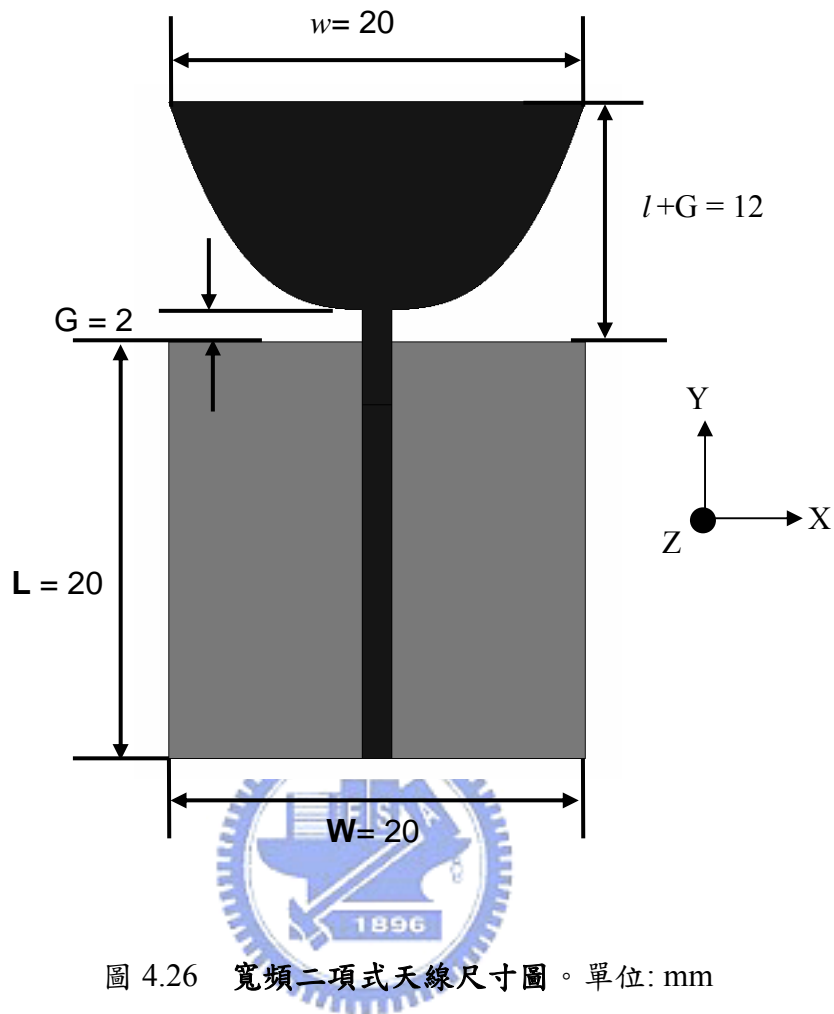


圖 4.26 寬頻二項式天線尺寸圖。單位: mm

黑色區域是位於 PCB 的正面(TOP Side)，灰色區域是位於 PCB 的背面(Bottom Side)

圖 4.27 二項式天線的反射損失量測及模擬及果(天線尺寸如圖 4.26 所示)。實線線段是實際量測的反射損失大小，虛線線段則是經由電磁模擬軟體模擬出的反射損失大小。實際量測的天線頻寬範圍 3.09 GHz ~ 6.49 GHz，比較模擬的頻寬 2.97GHz ~ 6.26 GHz 有往頻率增加的方向移動(Shift)的現象。不過上述的頻寬偏移不大，也經由實際量測的頻寬可知也符合預期的匹配頻寬(3.1 GHz ~ 5.15 GHz)。

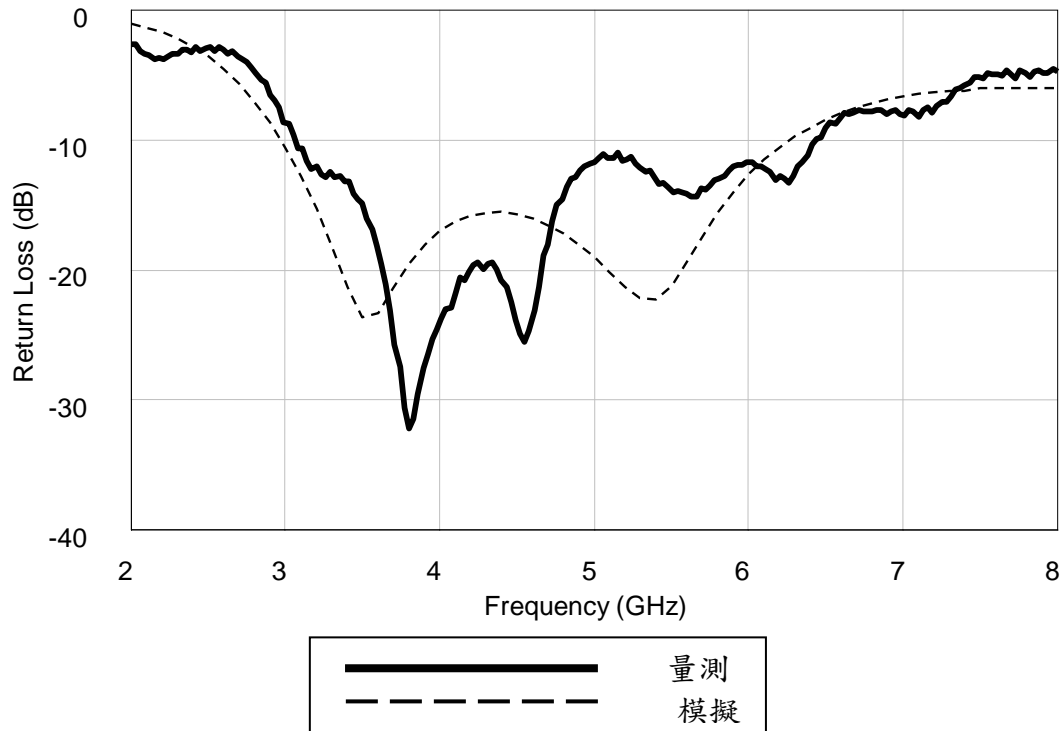


圖 4.27 二項式寬頻天線反射損失模擬與量測結果比較圖。

4.3.5 天線輻射場型(Radiation Pattern)量測結果

本節內容為寬頻二項式天線(如圖 4.28 至 圖 4.34 所示)的輻射場型量測結果，分別針對 3.1 GHz, 3.5 GHz, 4 GHz, 4.5 GHz, 5GHz, 5.5GHz, 6 GHz 等七個特定頻率下來量測天線的輻射場型。將天線分成三個平面(X-Z, X-Y, Y-Z 平面)，所以每頻率下需測得三個平面的輻射場型。每一個平面會展示三個輻射場型 (3.2 GHz 時的輻射場型除外)，分別是兩個互相垂直的電場極化(E-phi, E-theta)，另一個輻射場型是前兩者電場極化的加成總和(E-total)。

在圖 4.28 (b)所示為例，天線在 3.1 GHz 時 E-total 極化方向下量測得的場型，最大及最小天線增益差值 5.68 dBi，在三個平面測得輻射場型中最接近「全向性」的場型。

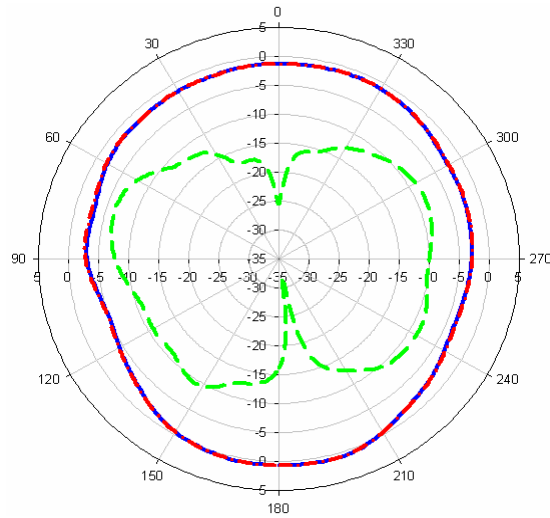
圖 4.29 所示為天線在 3.5 GHz 的輻射場型，圖 4.30 所示為天線在 4 GHz 的輻射場型，圖 4.31 所示為天線在 4.5 GHz 的輻射場型，圖 4.32 所示為天線在 5 GHz 的輻射場型圖 4.33 所示為天線在 5.5 GHz 的輻射場型，圖 4.34 所示為天線在 6 GHz 的輻射場型。以 3.5 GHz~5.8 GHz 在 X-Z 平面場型(E-total)做比較，最大增益和最小增益差值分別是

6.37 dBi (3.5GHz), 7.45 dBi (4 GHz), 7.87 dBi (4.5 GHz), 6.85 dBi (5 GHz), 5.30 dBi (5.5 GHz), 9.67 dBi (6 GHz), 。

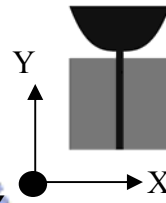
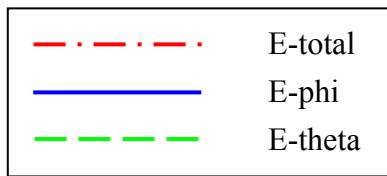
理論上天線結構是左右對稱地，而電流分佈也是對稱的，不應發生輻射場型不對稱扭曲，但由實測結果可觀察到一些不對稱的場型扭曲，其發生可能原因可能是天線製作的誤差，或是量測環境的一些非理想的因素造成的。



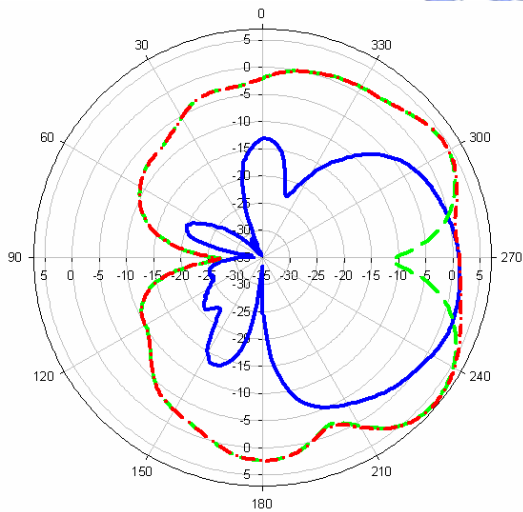
X-Z Plane



(a)

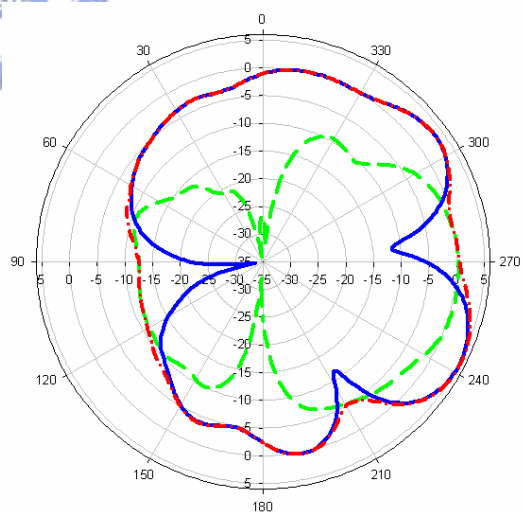


Y-Z Plane



(b)

X-Y Plane

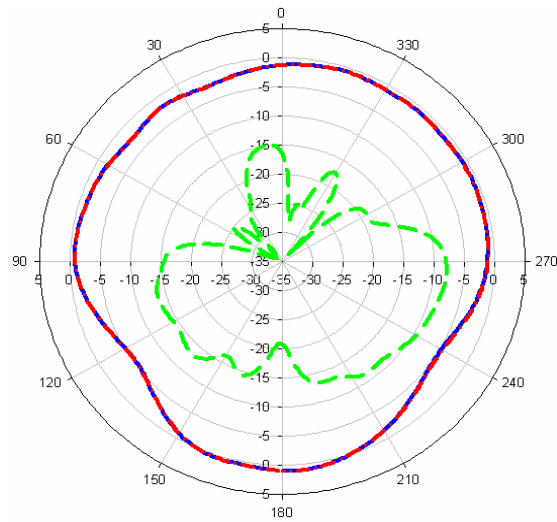


(c)

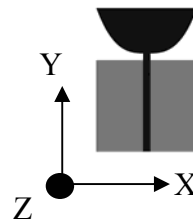
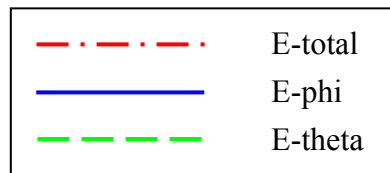
圖 4.28 寬頻寬頻二項式天線在頻率為 3.1GHz 時的輻射場型。

(a)X-Z 平面，(b) Y-Z 平面，(c) X-Y 平面。

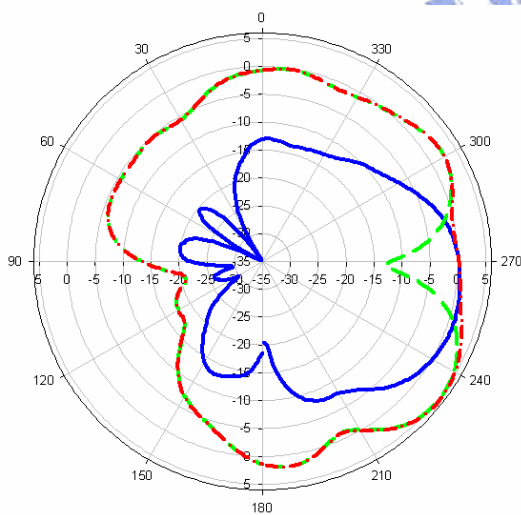
X-Z Plane



(a)

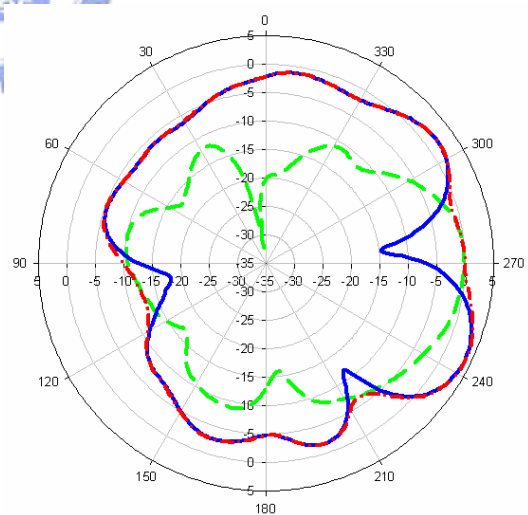


Y-Z Plane



(b)

X-Y Plane

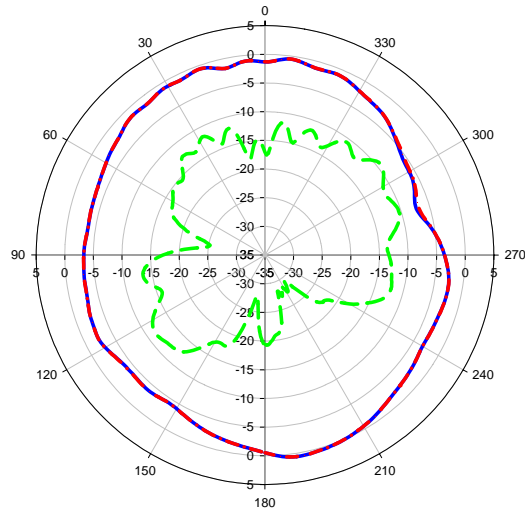


(c)

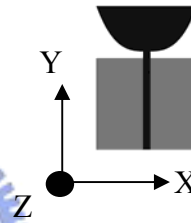
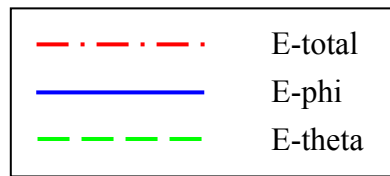
圖 4.29 寬頻二項式天線在頻率為 3.5GHz 時的輻射場型。

(a)X-Z 平面，(b) Y-Z 平面，(c) X-Y 平面。

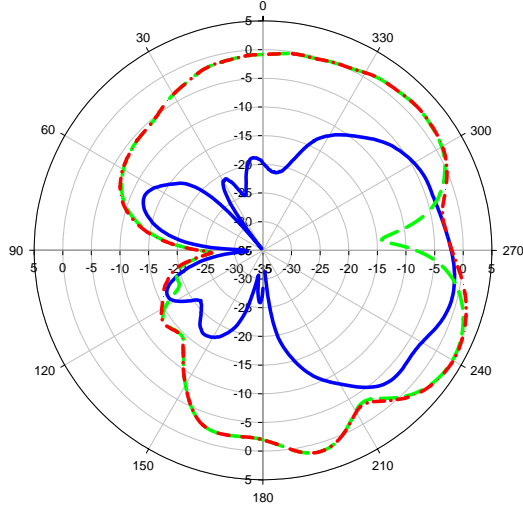
X-Z Plane



(a)

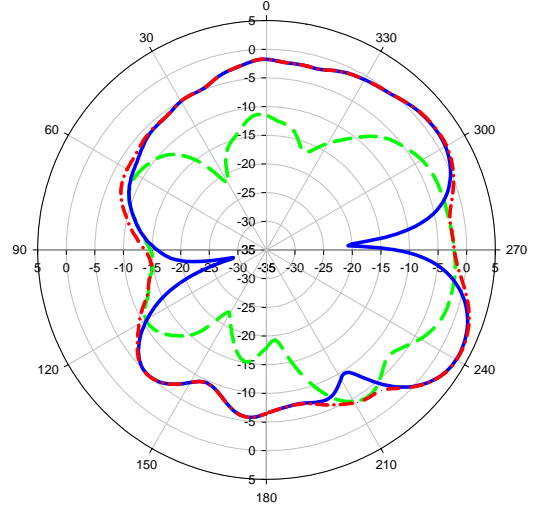


Y-Z Plane



(b)

X-Y Plane

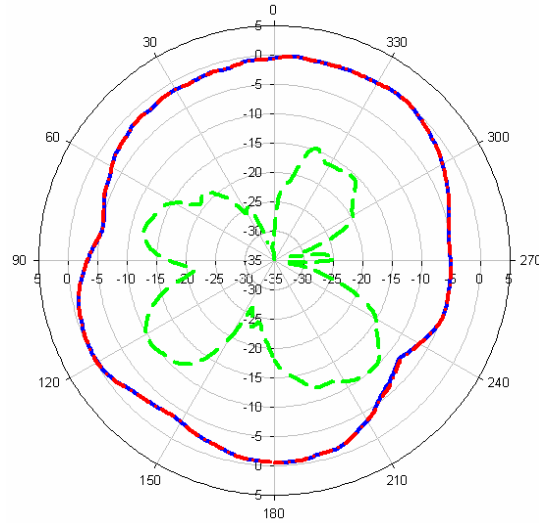


(c)

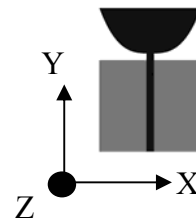
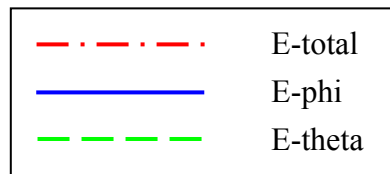
圖 4.30 寬頻二項式天線在頻率為 4GHz 時的輻射場型。

(a)X-Z 平面，(b) Y-Z 平面，(c) X-Y 平面。

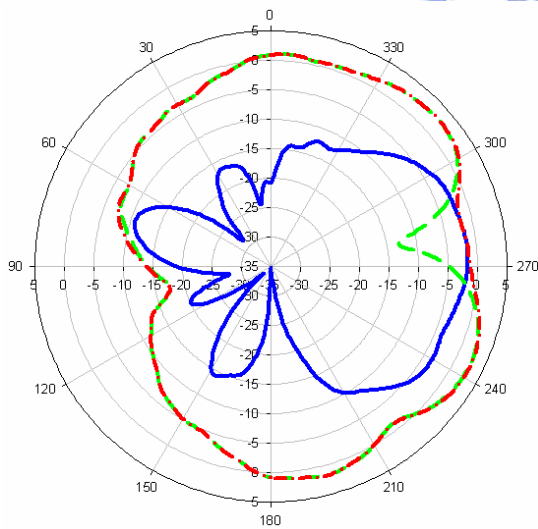
X-Z Plane



(a)

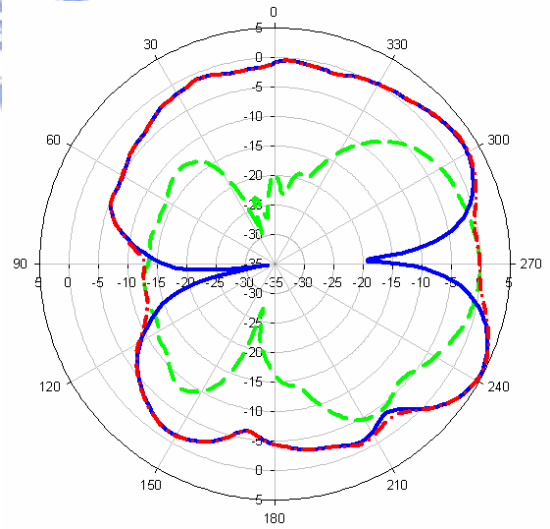


Y-Z Plane



(b)

X-Y Plane

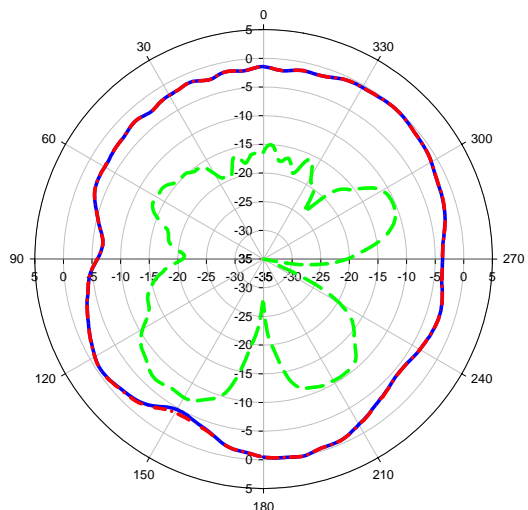


(c)

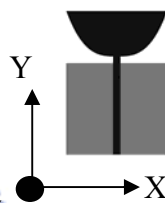
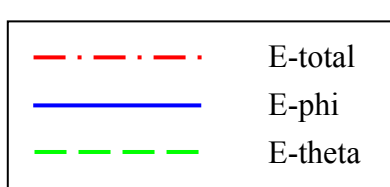
圖 4.31 寬頻二項式天線在頻率為 4.5GHz 時的輻射場型。

(a)X-Z 平面，(b) Y-Z 平面，(c) X-Y 平面。

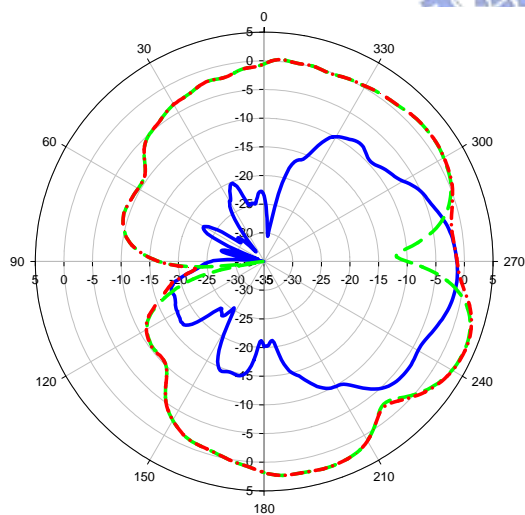
X-Z Plane



(a)

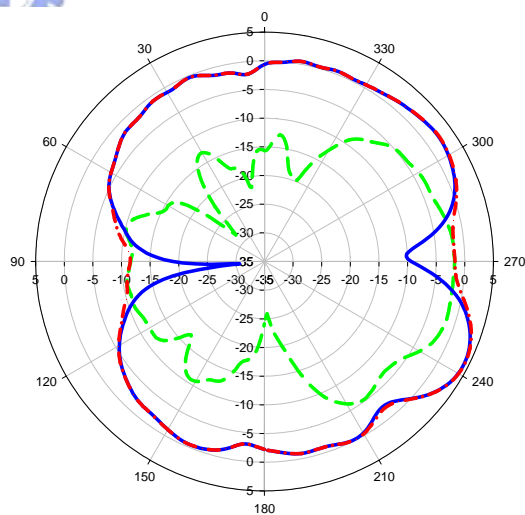


Y-Z Plane



(b)

X-Y Plane

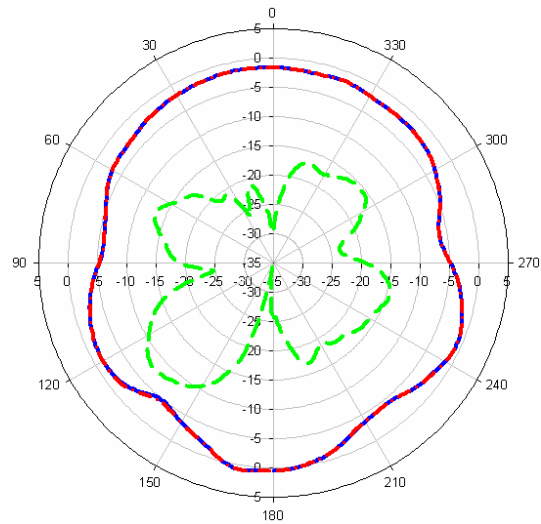


(c)

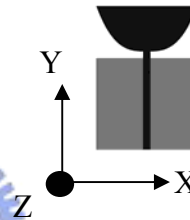
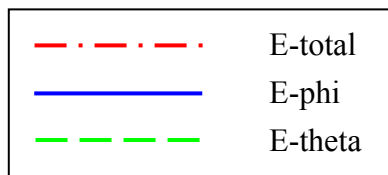
圖 4.32 寬頻二項式天線在頻率為 5GHz 時的輻射場型。

(a)X-Z 平面，(b) Y-Z 平面，(c) X-Y 平面。

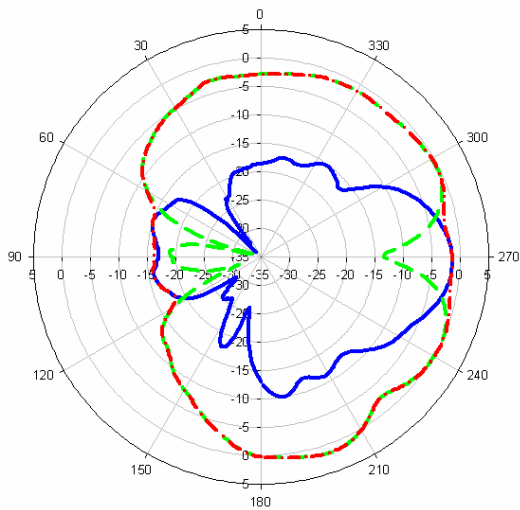
X-Z Plane



(a)

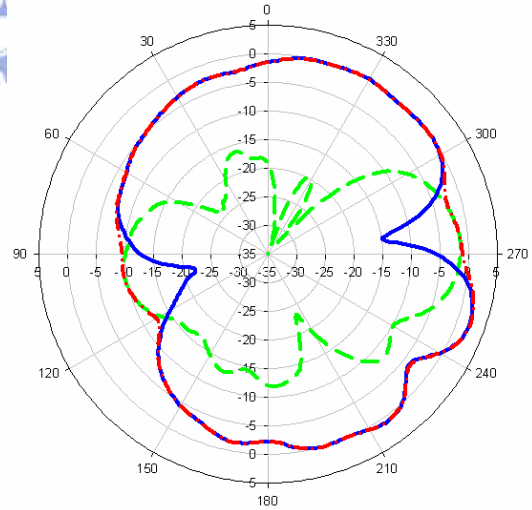


Y-Z Plane



(b)

X-Y Plane

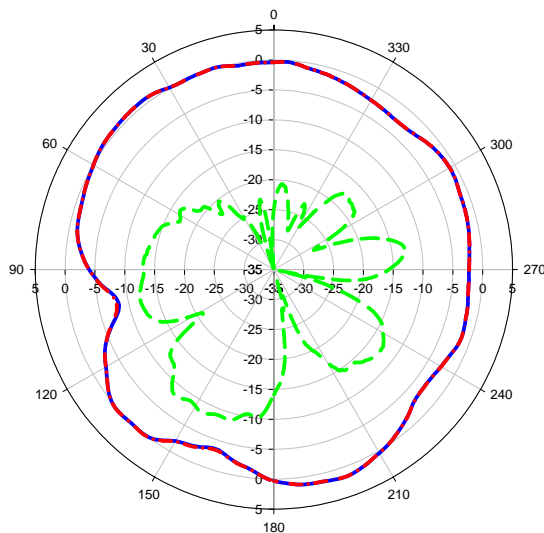


(c)

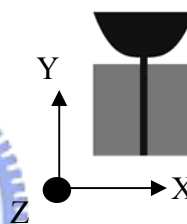
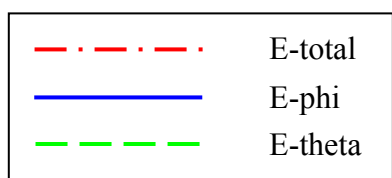
圖 4.33 寬頻二項式天線在頻率為 5.5GHz 時的輻射場型。

(a)X-Z 平面，(b) Y-Z 平面，(c) X-Y 平面。

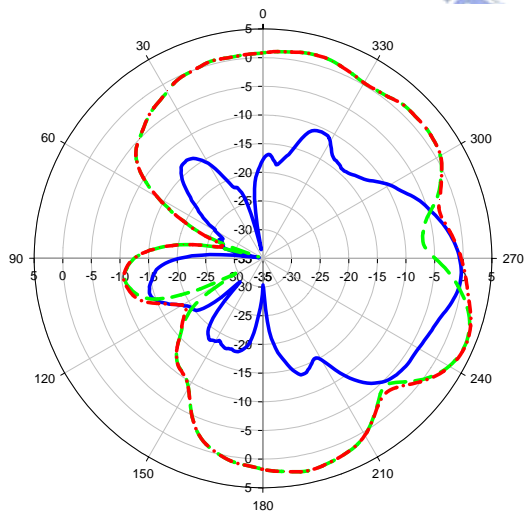
X-Z Plane



(a)

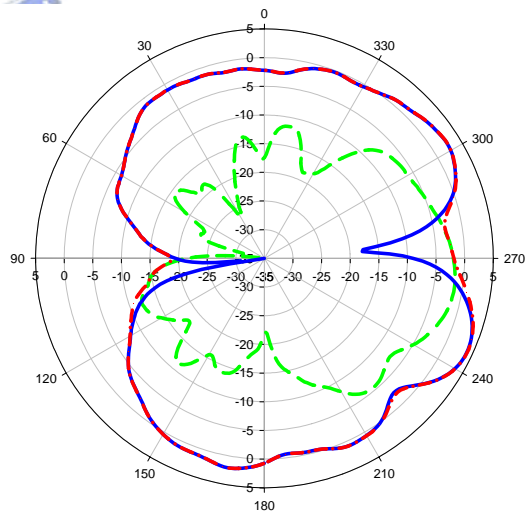


Y-Z Plane



(b)

X-Y Plane



(c)

圖 4.34 寬頻二項式天線在頻率為 6GHz 時的輻射場型。

(a)X-Z 平面，(b) Y-Z 平面，(c) X-Y 平面。

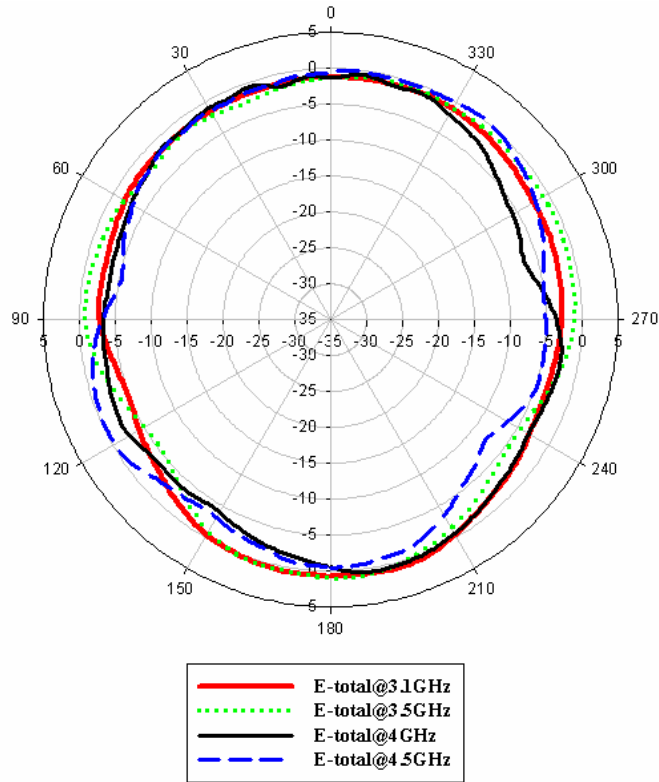
	X-Y Plane		X-Z Plane		Y-Z Plane	
	peak gain(dBi)	average gain(dBi)	peak gain(dBi)	average gain(dBi)	peak gain(dBi)	average gain(dBi)
3.1 GHz	5.17	-3.06	0.80	-1.80	6.54	-2.88
3.5 GHz	3.96	-3.63	1.04	-1.67	5.33	-3.56
4 GHz	3.41	-4.56	0.59	-2.56	3.41	-4.45
4.5 GHz	4.67	-2.50	0.22	-2.47	2.82	-2.98
5 GHz	4.28	-1.84	0.07	-2.32	3.40	-3.40
5.5 GHz	2.30	-3.23	0.80	-2.62	1.51	-5.25
6 GHz	4.08	-2.43	1.65	-1.42	3.56	-4.20

表 4.2 寬頻二項式天線在 3.1GHz~6GHz 之輻射場型的最大增益和平均增益

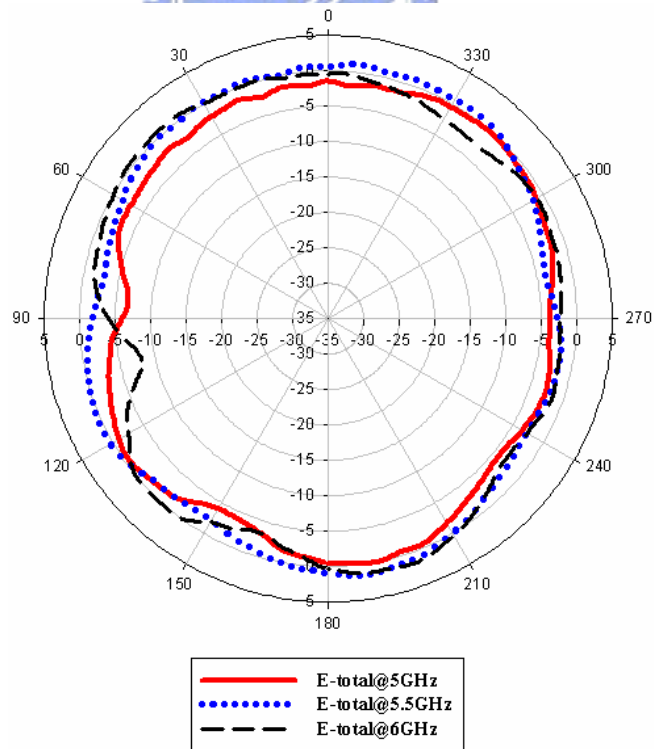
圖 4.35 為 X-Y 平面在 3.1GHz~6GHz 間，7 個頻率下的輻射場型，圖(a)所示為 3.1GHz，3.5GHz，4GHz 及 4.5GHz 的輻射場型。圖(b)則是 5GHz，5.5GHz，6GHz，三個頻率下輻射場型；至於 Y-Z 及 X-Y 平面請參閱圖 4.36 及圖 4.37。

圖 4.38 所示表示為天線分別在 theta/phi 0°，90°，180°，270°四個角度，功率增益的頻率響應其中圖(a)為 X-Y 平面，theta 變化的頻率響應。圖(b)為 Y-Z 平面，theta 變化的頻率響應。圖(c)為 X-Y 平面，phi 變化的頻率響應。

X-Z Plane



(a)

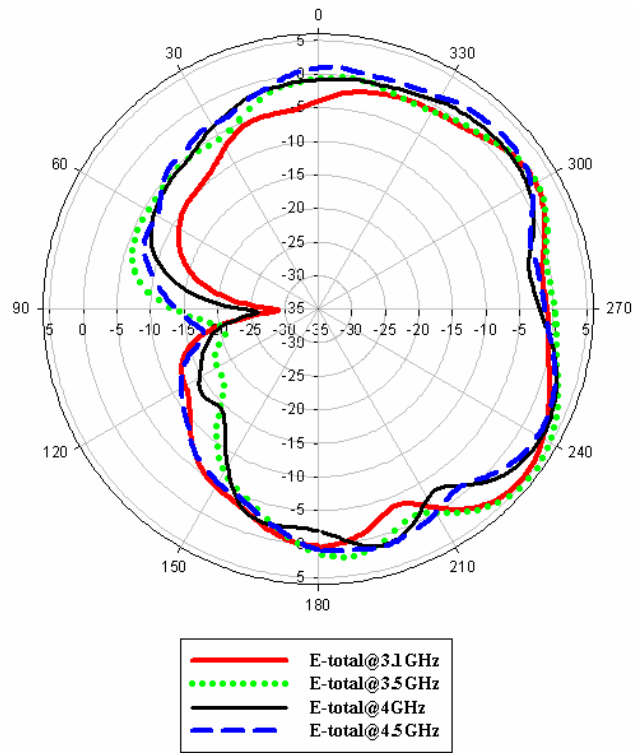


(b)

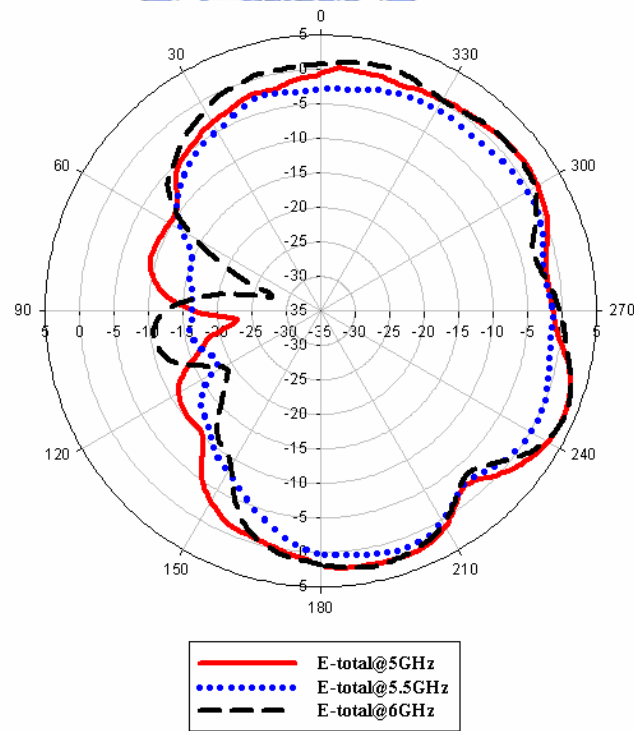
圖 4.35 寬頻二項式天線 X-Z 平面 3.1GHz~10.6GHz 輻射場型比較圖

(a)E-total@3.1、3.5、4、4.5GHz。(b)E-total@5、5.5、6GHz。

Y-Z Plane



(a)

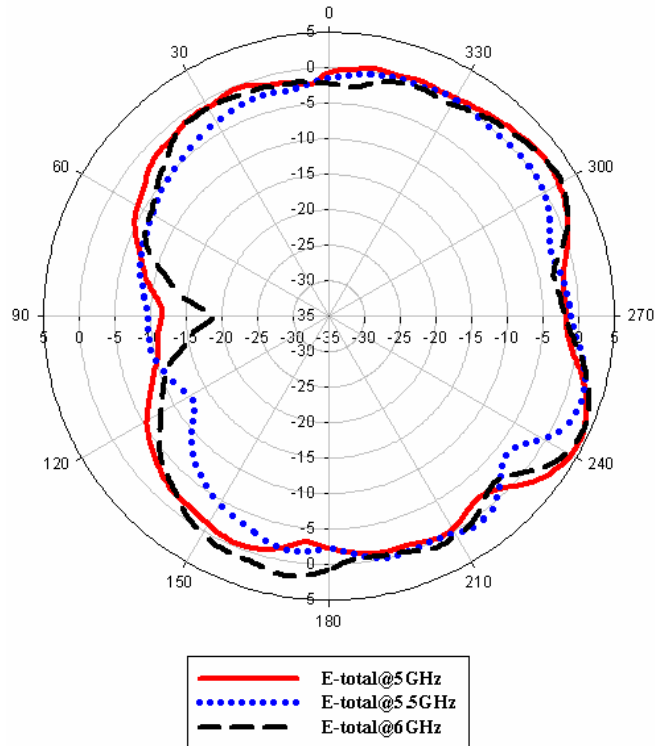
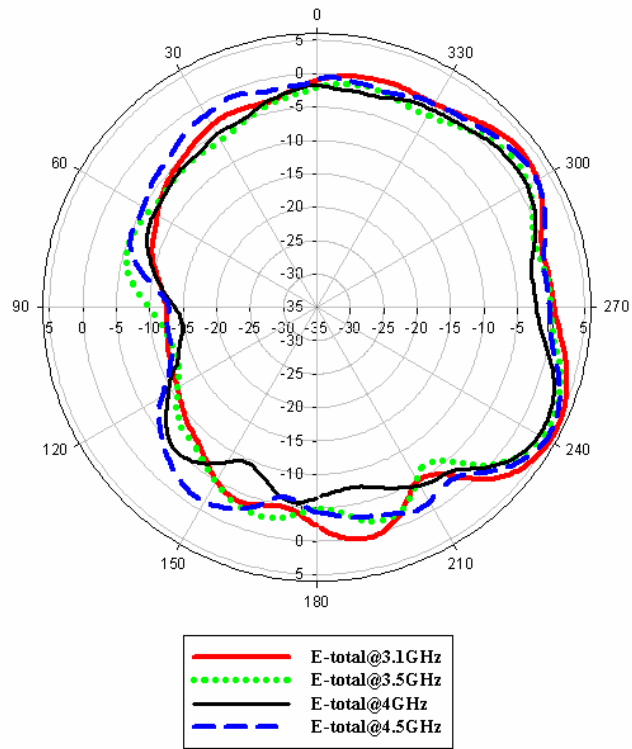


(b)

圖 4.36 寬頻二項式天線 Y-Z 平面 3.1GHz~10.6GHz 輻射場型比較圖

(a)E-total@3.1、3.5、4、4.5GHz。(b)E-total@5、5.5、6GHz。

X-Y Plane

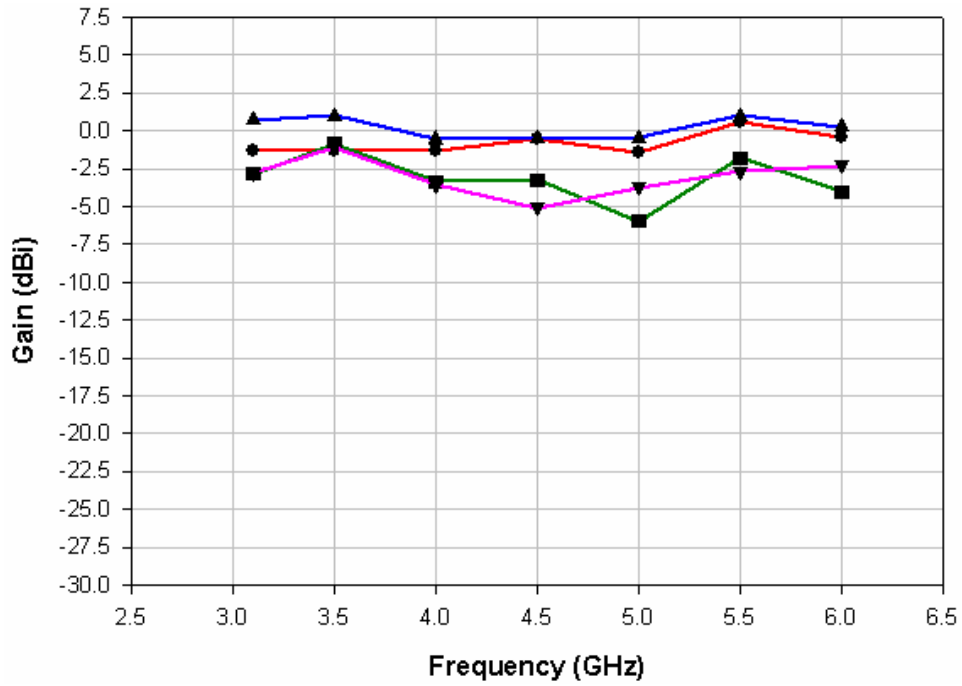


(b)

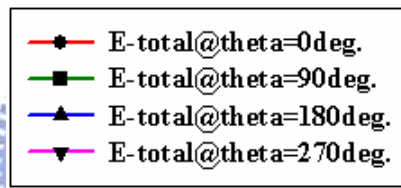
圖 4.37 寬頻二項式天線 X-Y 平面 3.1GHz~10.6GHz 輻射場型比較圖

(a)E-total@3.1、3.5、4、4.5GHz。(b)E-total@5、5.5、6GHz。

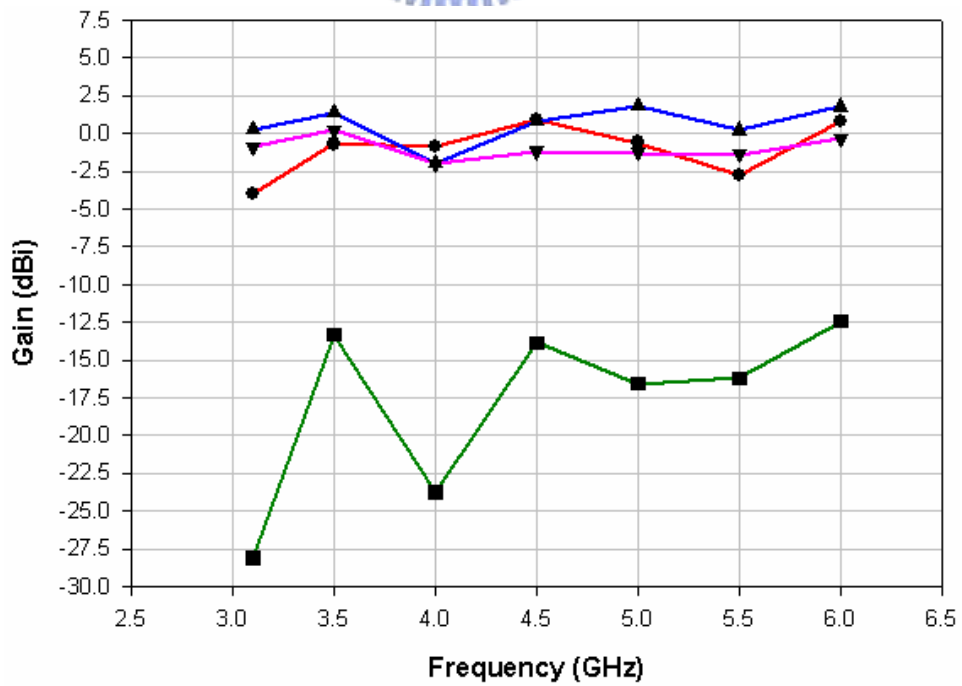
X-Z Plane



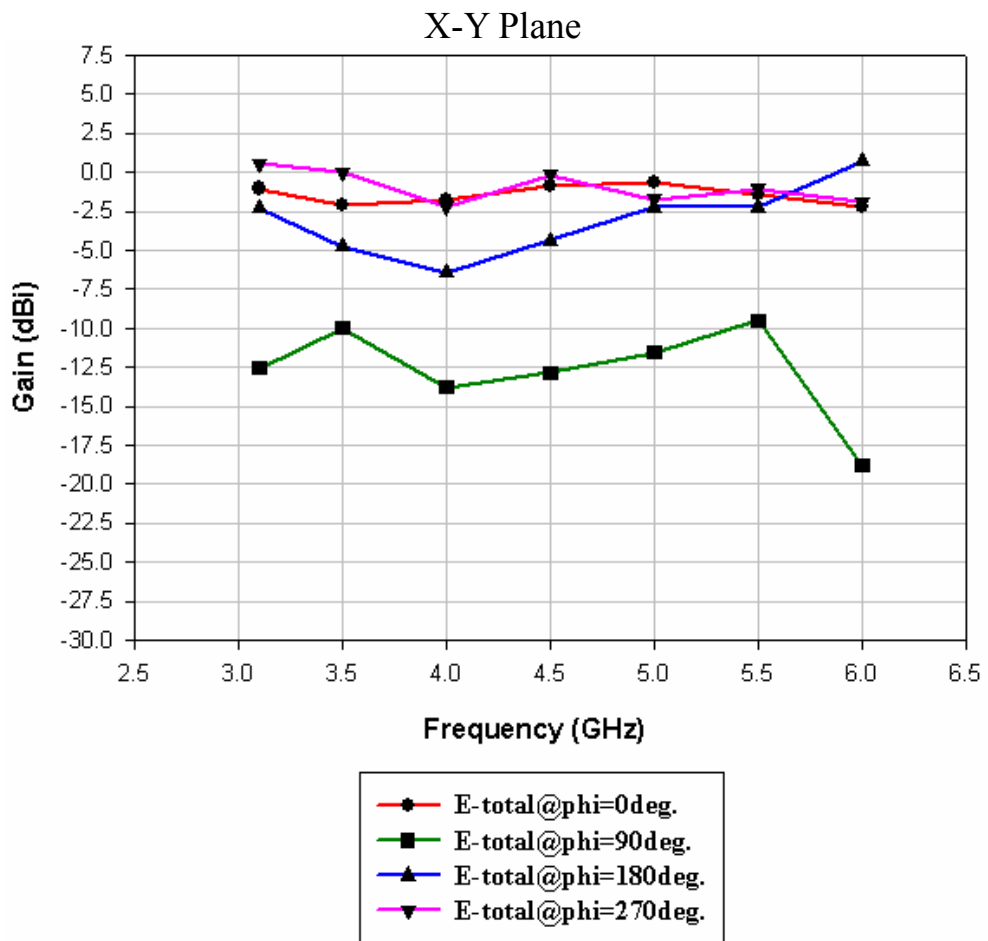
(a)



Y-Z Plane



(b)



(c)

圖 4.38 寬頻二項式天線之輻射功率增益頻率響應圖。

(a)X-Z 平面，(b) Y-Z 平面，(c) X-Y 平面。