

Antenne indipendenti dalla frequenza

6.1 - Generalità

Come precedentemente affermato il rapporto fra le frequenze più alte e quelle più basse per il modo assiale di un'antenna ad elica è dato da $\frac{f_u}{f_L} = \frac{16}{9} = 1.78$.

All'interno di tale intervallo, l'impedenza, il pattern di radiazione e le caratteristiche di polarizzazione dell'antenna non cambiano significativamente.

Riferendoci alla figura 3.5-2, il rapporto fra le frequenze in corrispondenza delle quali il rapporto d'onda stazionaria VSWR vale 2 è 1.17 per il dipolo più spesso $\left(\frac{a}{L}\right) = 0.01$ e 1.08 per il dipolo più sottile $\left(\frac{a}{L}\right) = 0.0002$.

In generale, l'elica eccitata nel modo assiale ha una larghezza di banda più ampia di quella relativa ad un tipico dipolo. Questo è principalmente dovuto al fatto che in una elica eccitata nel modo assiale viaggia un'onda progressiva di corrente, la forma della quale è meno sensibile alle variazioni di frequenza rispetto all'onda stazionaria di corrente esistente nel dipolo. Vi è, tuttavia, una classe di antenne che presenta un rapporto fra le frequenze dell'ordine di 10 o più.

Queste sono conosciute come antenne indipendenti dalla frequenza. La struttura della maggior parte di queste antenne è diversa da quella convenzionale. Ad eccezione di alcuni tipi di sistemi di antenne log-periodiche, molte di esse non possono essere trattate matematicamente per l'enorme difficoltà di analisi. Lo sviluppo storico di tale tipo di antenna è basato maggiormente su ragionamenti intuitivi e misure sperimentali piuttosto che su una teoria formale.

6.2 - Principio di Rumsey

Nell'analisi dei diversi tipi di antenne considerate finora si è notato che le caratteristiche di un'antenna sono funzione del rapporto fra la lunghezza dell'antenna e la lunghezza d'onda.

In altre parole le lunghezze caratteristiche della struttura sono quelle che introducono la dipendenza dalla frequenza.

Alla luce di quanto sopra, **Rumsey** ha enunciato il seguente principio: **l'impedenza e il pattern di radiazione di un'antenna sono indipendenti dalla frequenza se la forma dell'antenna può essere specificata solo in termini di angoli.**

La giustificazione di tale principio deriva dalla seguente teoria.

Consideriamo un'antenna la cui geometria si presta ad essere meglio descritta in coordinate sferiche (r, θ, ϕ) e con i terminali a distanza infinitesima situati nell'origine del sistema di riferimento simmetricamente disposti lungo l'asse $\theta = 0^\circ, 180^\circ$. Si assume che l'antenna sia perfettamente conduttrice e circondata da un mezzo isotropo ed omogeneo infinitamente esteso. Supponiamo che la superficie di questa antenna si possa descrivere

con la funzione

$$r = F(\theta, \phi) \tag{6.2.1}$$

L'equazione (6.2.1) non implica necessariamente che il materiale di cui è costituita l'antenna sia infinitamente sottile ma essa può rappresentare un orlo per esempio quello interno o quello esterno. Da quanto abbiamo visto prima si ha che le caratteristiche di un'antenna (impedenza, pattern, polarizzazione ecc.) sono invarianti a un cambiamento delle dimensioni fisiche se un simile cambiamento è anche fatto nella frequenza operativa o nella lunghezza d'onda. Per esempio se tutte le dimensioni fisiche sono ridotte di un fattore due, il funzionamento dell'antenna rimarrà invariato se la frequenza operativa è aumentata di un fattore due. In altre parole, il funzionamento dell'antenna è invariante se le dimensioni elettriche rimangono invariate.

Ne segue, quindi che se l'antenna viene fatta funzionare ad una frequenza K volte minore di quella originaria, la sua superficie fisica deve diventare K volte maggiore affinché restino invariate le dimensioni elettriche dell'antenna. K non dipende nè da θ , nè da ϕ . Pertanto la nuova superficie dell'antenna è descritta da:

$$r' = KF(\theta, \phi) \tag{6.2.2}$$

Se imponiamo che la superficie trasformata coincide con la superficie originaria ruotata di un angolo ϕ' , si dovrà avere:

$$KF(\theta, \phi) = F(\theta, \phi + \phi') \tag{6.2.3}$$

dove ϕ' è una funzione di K .

La forma della superficie originaria che opera quindi a larga banda può essere ottenuta differenziando entrambi i membri della (6.2.3) rispetto a ϕ' . Si ha:

$$\frac{dK}{d\phi'} F(\theta, \phi) = \frac{\partial}{\partial \phi'} F(\theta, \phi + \phi') = \frac{\partial F(\theta, \phi + \phi')}{\partial(\phi + \phi')} \tag{6.2.4}$$

Differenziando la (6.2.3) rispetto a ϕ si ha:

$$K \frac{\partial F(\theta, \phi)}{\partial \phi} = \frac{\partial F(\theta, \phi + \phi')}{\partial \phi} = \frac{\partial F(\theta, \phi + \phi')}{\partial(\phi + \phi')} \tag{6.2.5}$$

Combinando la (6.2.4) con la (6.2.5) si ha:

$$\frac{dK}{d\phi'} F(\theta, \phi) = K \frac{\partial F(\theta, \phi)}{\partial \phi} \tag{6.2.6}$$

che si può scrivere:

$$\frac{1}{K} \frac{dK}{d\phi'} = \frac{1}{r} \frac{dr}{d\phi} \tag{6.2.7}$$

Poichè il primo membro è indipendente da θ e da ϕ segue

$$\frac{1}{r} \frac{dr}{d\phi} = \text{costante} = a \tag{6.2.8}$$

che ha come soluzione

$$r = e^{a\phi} g(\theta) \tag{6.2.9}$$

essendo $g(\theta)$ una funzione arbitraria. Quindi ogni superficie di antenna che può essere descritta dalla (6.2.9) opera in condizioni di larga banda. L'equazione (6.2.9) richiede un'antenna il cui raggio si estende da zero all'infinito.

In pratica, è possibile troncare l'antenna per ottenere grandi larghezze di banda con strutture finite.

La (6.2.9) esprime, ovviamente, il principio di Rumsey.

Esempi di antenne broadband

6.3 - Spirale piana

Consideriamo l'equazione

$$r = F(\theta, \phi) = e^{a\phi} g(\theta) \tag{6.3.1}$$

Scegliamo la funzione di θ in modo tale che:

$$\frac{dg(\theta)}{d\theta} = g'(\theta) = A\delta\left(\frac{\pi}{2} - \theta\right) \tag{6.3.2}$$

dove δ è la funzione di Kronecher definita da:

$$\delta(u) = \begin{cases} 1 & \text{per } u = 0 \\ 0 & \text{per } u \neq 0 \end{cases}$$

L'equazione (6.3.1) diventa allora:

$$r = \begin{cases} r_0 e^{a(\phi - \phi_0)} & \theta = \frac{\pi}{2} \\ 0 & \text{altrove} \end{cases} \tag{6.3.3}$$

essendo $A = r_0 e^{-a\phi_0}$.

L'equazione (6.3.3) è la spirale piana graficata in figura 6.3-1 nel piano $z = 0$, avendo posto $\phi_0 = 0$. Essa è chiamata spirale equiangolare in quanto l'angolo fra il raggio vettore e la tangente alla curva è lo stesso per tutti i punti della spirale. Il ramo a ha come parametri: $r_0 = -3.25$, $a = -.3$. Il ramo b ha come parametri: $r_0 = 3.25$, $a = -.3$.

Spirale equiangolare piana

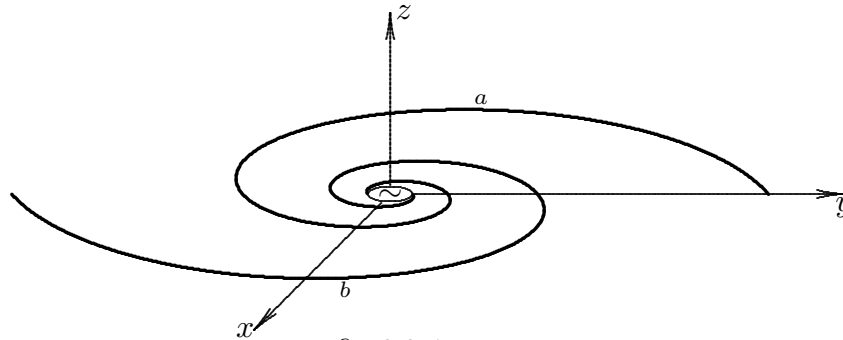


fig.6.3-1

Generalizzando possiamo affermare che: poichè A è arbitrario segue che nella (6.3.3) r_0 può essere considerato fisso e ϕ_0 parametro. Se ϕ_0 assume tutti i valori da 0 a ϕ_1 e tutti i valori da π a $\pi + \phi_1$ con ϕ_1 arbitrario nasce un'antenna del tipo mostrato in figura (6.3-2).

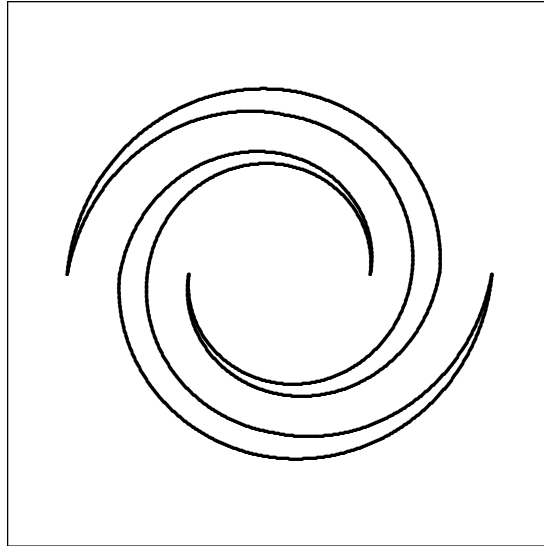


fig.6.3-2

Misure sperimentali indicano che spirali equiangolari hanno un rapporto assiale vicino all'unità con un rapporto $\frac{f_u}{f_L}$ di circa 10 o più e HPBW (half-power beamwidth) di circa 90° .

6.4 - Spirale conica

Un'altra forma di antenna equiangolare è l'antenna a spirale conica mostrata in figura 6.4-1. Infatti se nella (6.3.2) sostituiamo θ_0 al posto di $\frac{\pi}{2}$ si ottiene:

$$\frac{dg(\theta)}{d\theta} = g'(\theta) = A\delta(\theta_0 - \theta) \quad (6.4.1)$$

Pertanto l'equazione (6.3.1) diventa:

$$r = r_0 e^{a(\phi - \phi_0)} \quad \theta = \theta_0 \quad (6.4.2)$$

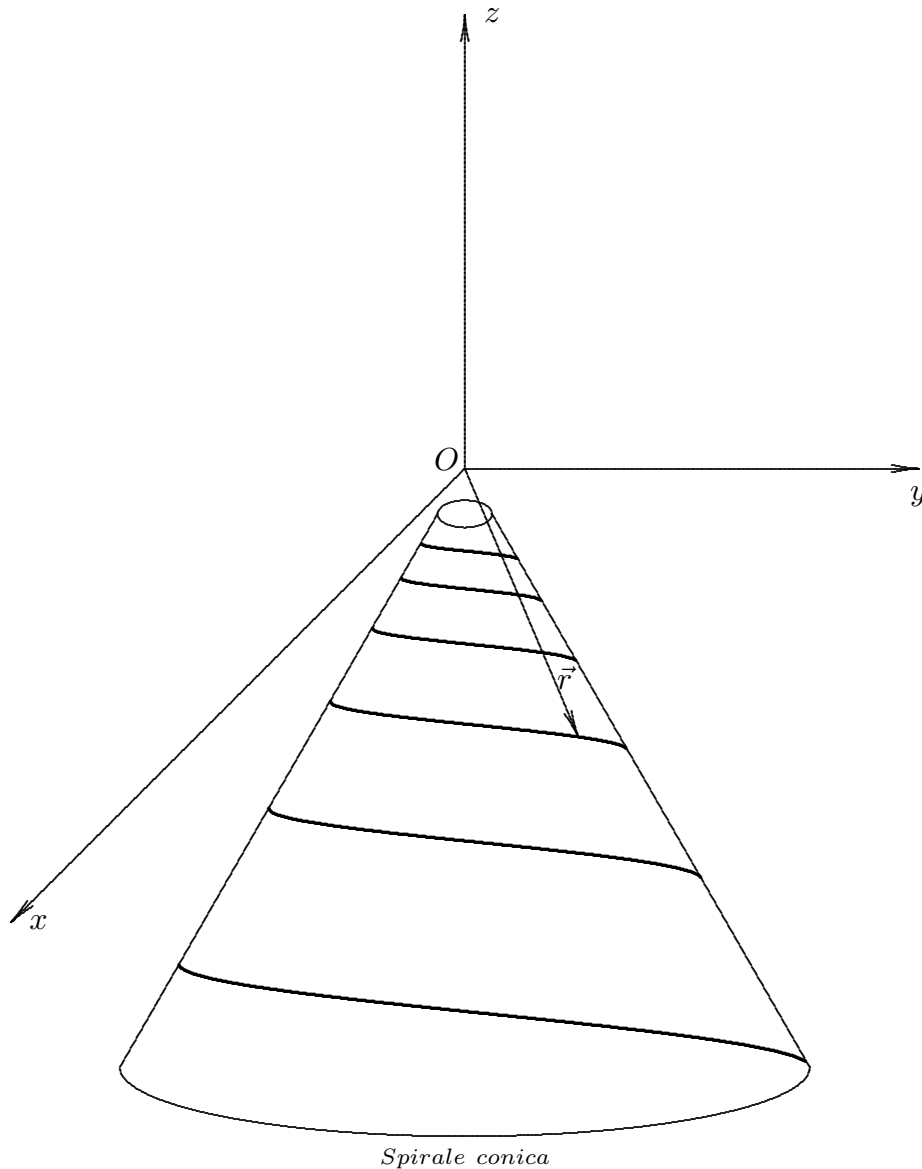


fig.6.4-1

Il grafico di fig.6.4-1 é stato ottenuto con i seguenti parametri: $\theta_0 = 30^0$, $r_0 = 3.25$, $a = 0.06$ e $\phi_0 = 0$. Le curve proiettate sono state ottenute utilizzando le seguenti trasformazioni:

$$x = r \sin \theta_0 \cos \phi; \quad y = r \sin \theta_0 \sin \phi; \quad z = r \cos \theta_0 \quad \text{ed} \quad r = r_0 e^{a\phi}$$

I patterns della spirale conica sono simili a quelle della spirale piana, eccetto che il pattern relativo alla spirale conica è unidirezionale lungo l'asse z positivo.

Fine del Cap.6