

Aula 16

Arranjo de Antenas, com 2 e N Elementos

■ Muitas aplicações requerem altas ganhas e diretividade das antenas, p/ garantir a comunicação de longas distâncias.

■ Ampliar as dimensões de elementos da antena resulta em características mais diretivas.

■ Outra maneira é criar um "agrupamento" de elementos da antena.

■ Este "agrupamento" é denominado: Conjunto ou Arranjo

■ A I de cada elemento é igual à do elemento isolado, ou seja, a antena comporta-se como um conjunto pela adição vetorial dos campos radiados pelos elementos individuais.

↳ Cuidado

isto não ocorre

■ Para garantir maior diretividade é necessário que os campos dos elementos do conjunto interfiram construtivamente (somem-se), nas direções desejadas

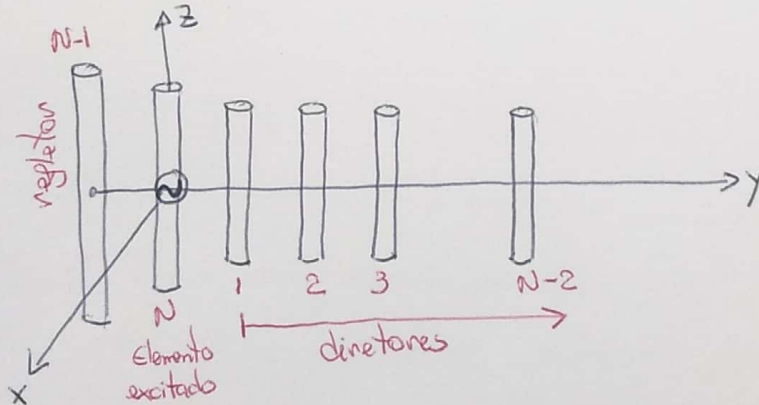
■ E interfiram destrutivamente (cancelem-se mutuamente) no restante do espaço.

Existem 5 Mecanismos de Controle

que dão forma ao diagrama total da Antena.

1. Config. Geométrica do conjunto Global
(colinear, circular, retangular, esféricas, etc...)
2. A separação relativa entre os elementos
3. A amplitude da excitação dos elementos individuais
4. A fase da excitação dos elementos individuais
5. O diagrama relativo dos elementos individuais.

Exemplos. (fig. 10.19)

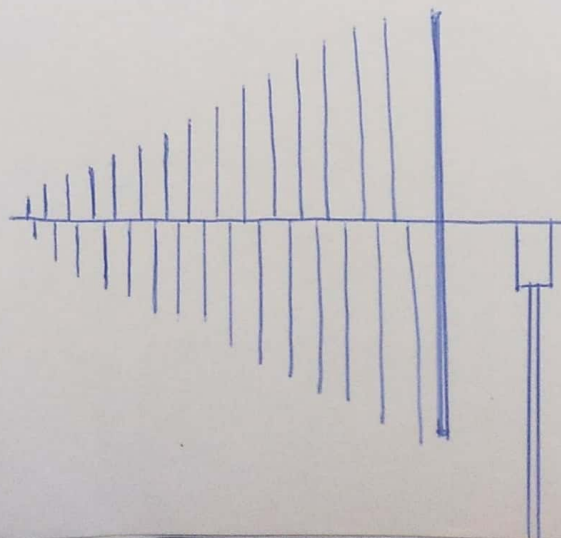


conjunto triangular
de 12 dipolos -
comunicação móvel

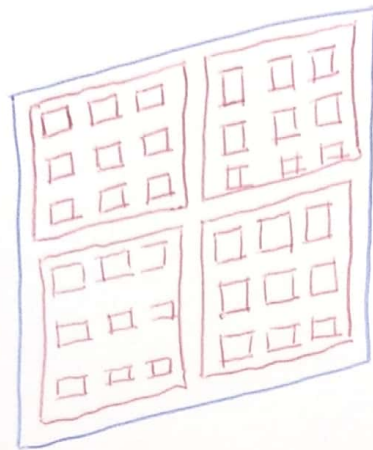
↓
Yagi-Uda

TV e radiorama doméstico

(fig. 11.15) Log-periódica (TV, menor diretividade que Yagi-Uda)



(fig. 14.38)

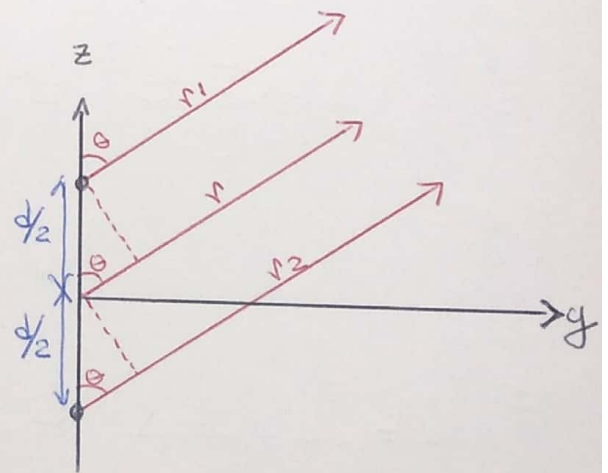
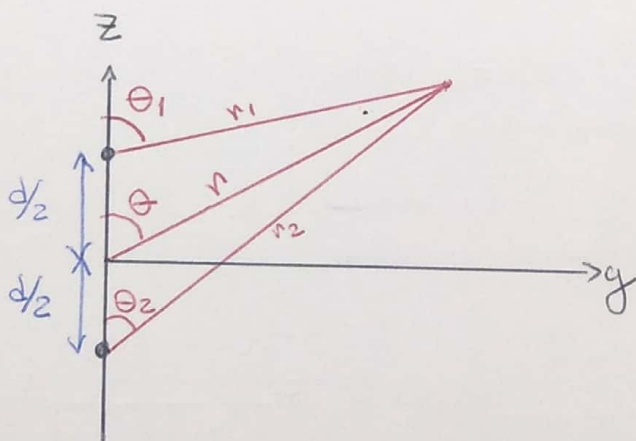


Antena plana, ou conjunto de elementos de microchip

Todas são exemplos de Arranjo de Antenas

Conjunto de Dois Elementos

admitamos que a antena seja: Arranjo de 2 dipolos ao longo do eixo Z .



○ campo \vec{E} total radiado pelos 2 elementos = \sum campos \vec{E} dos elementos individuais

$$\begin{cases} \vec{E}_1 = \frac{j\eta k I_1 l}{4\pi r_1} e^{-jk r_1} \cos\theta_1 \hat{a}_\theta \\ \vec{E}_2 = \frac{j\eta k I_2 l}{4\pi r_2} e^{-jk r_2} \cos\theta_2 \hat{a}_\theta \end{cases}$$

Assumindo que:

- corrente nos 2 dipolos sejam constantes
- exista uma diferença de fase β entre os elementos.

$$I_1 = I_0 e^{j\beta/2} \quad \text{e} \quad I_2 = I_0 e^{-j\beta/2}, \quad \text{logo}$$

$$\vec{E}_1 = \frac{j\eta k l I_0 e^{j\beta/2}}{4\pi r_1} e^{-jk r_1} \cos\theta_1 \hat{a}_\theta$$

$$\vec{E}_2 = \frac{j\eta k l I_0 e^{-j\beta/2}}{4\pi r_2} e^{-jk r_2} \cos\theta_2 \hat{a}_\theta$$

fazendo

$$\vec{E}_{\text{TOTAL}} = \frac{j\eta k I_0 l}{4\pi} \left\{ \frac{e^{-j(k r_1 - \beta/2)}}{r_1} \cos\theta_1 + \frac{e^{-j(k r_2 + \beta/2)}}{r_2} \cos\theta_2 \right\} \hat{a}_\theta$$

fazendo:

$$\left. \begin{aligned} r_1 &\approx r - d/2 \cos\theta \\ r_2 &\approx r + d/2 \cos\theta \end{aligned} \right\} \text{pl/ variações de fase}$$

$$r_1 \approx r_2 \approx r \quad \left. \right\} \text{pl/ variações de amplitude}$$

então:

$$\vec{E}_{\text{TOTAL}} = j\eta \frac{kI_0 l}{4\pi r} e^{-jkr} \cos \left\{ 2 \cos \left[\frac{1}{2} (kd \cos \theta + \beta) \right] \right\} \hat{a}_\theta$$

Fator de Arranjo (Conjunto) - AF ou F(θ)

$$AF = F(\theta) = 2 \cos \left[\frac{1}{2} (kd \cos \theta + \beta) \right]$$

que é função da geometria do arranjo e da fase de excitação.

Assim, criou-se a Regra da Multiplicação de Padrões

$$\vec{E}_{\text{TOTAL}} = \vec{E} \text{ (único elemento)} \cdot (\text{fator de Arranjo})$$

ou Regra da Multiplicação de Diagramas.

As configurações mais usadas p/ projetar arranjo de antenas são a linha com elementos igualmente espaçados (linear equally spaced - LES), e a configuração planar.

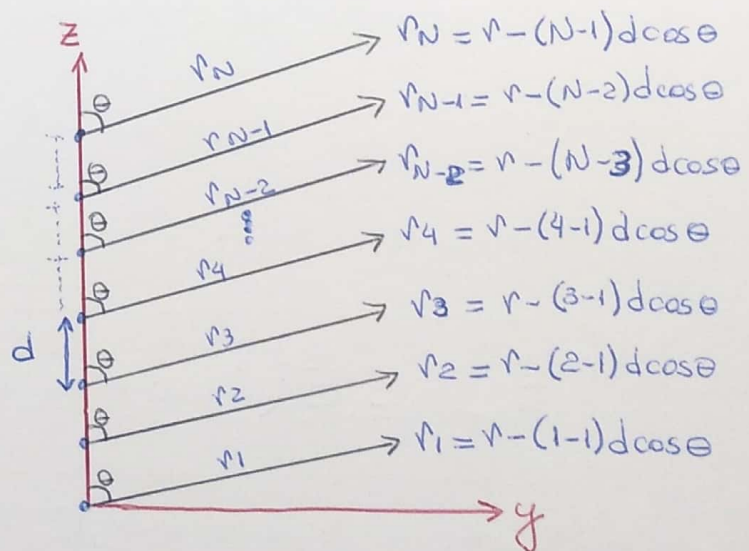
Antena Linear de N Elementos



Espacamento Uniformes

○ Então agora é:

- ☒ N elementos
- ☒ igualmente espaçados ao longo do eixo Z.
- ☒ sem efeito do acoplamento magnético
- ☒ fisicamente idênticas
- ☒ mesma corrente I_0 nos N elementos
- ☒ variação de fase $\beta \rightarrow$ constante



Logo:

$$I_N = I_0 e^{j(N-1)\beta}$$

$$\vec{E}_{TOTAL} = j\eta \frac{I_1 k l e^{-jk r_1}}{4\pi r_1} \cos\theta + j\eta \frac{I_2 k l e^{-jk r_2}}{4\pi r_2} \cos\theta + \dots + j\eta \frac{I_N k l e^{-jk r_N}}{4\pi r_N} \cos\theta$$

reescrevendo...

$$E_{TOTAL} = j\eta \frac{I_0 k l}{4\pi r} e^{-jkr} \cos\theta \cdot F(\theta)$$

Regra de multiplicação de Padua

fator de elemento série:

$$F(\theta) = \exp\left(-j \frac{(N-1)}{2} (kd \cos\theta - \beta)\right) \frac{\sin\left(\frac{N}{2} (kd \cos\theta - \beta)\right)}{\sin\left(\frac{1}{2} (kd \cos\theta - \beta)\right)}$$

Como o diagrama de radiação do dipolo linear é Omnidirecional, o termo que define o formato do Diagrama do Arranjo é o

Fator de Elemento (Arranjo)

$F(\theta)$

O máximo ∇_{θ} lóbulo principal ocorre \approx qdo:

$$F(\theta) \approx \frac{2}{3\pi} = 0,212$$

que em dB, é igual a:

$$F(\theta) = 20 \log_{10} \left(\frac{2}{3\pi}\right) = -13,46 \text{ dB}$$

Fato 1

Diretividade em Antenas Lineares de N Elementos

direção transversal (Broadside) e longitudinal (end-fire)

↳ Diretividade é uma figura de mérito associada à operação da Antena.

$$D_0 = 2N \left(\frac{d}{\lambda} \right) \quad \text{Diretividade Broadside}$$

se L for o comprimento total do conjunto e se $L \gg \lambda$, então:

$$D_0 = D_{\max} = 2 \left(\frac{L}{\lambda} \right) \quad \text{Diretividade Broadside}$$

também:

$$D_0 = D_{\max} = 4N \left(\frac{d}{\lambda} \right) \quad \text{Diretividade end-fire}$$

se $L \gg d$, então:

$$D_0 = D_{\max} = 4 \left(\frac{L}{\lambda} \right) \quad \text{Diretividade end-fire}$$

Na direção longitudinal (end-fire) existe a diretividade aumentada, conhecida como: end-fire (Hansen - Woodyard).

Neste tipo de diretividade:

- O valor médio da intensidade de radiação ($U_{\text{máx}}$), corresponde a 55,4% do valor de $U_{\text{máx}}$ num conjunto com máxima radiação na direção longitudinal (end-fire).

Isto significa que ...

...

$$D_{\text{máx}} = 1,805 \left[4N \left(\frac{d}{\lambda} \right) \right]$$

↳ que é 1,805 vez maior que a diretividade com $U_{\text{máx}}$ na direção longitudinal.

Para projetos com Avanço de Antenas, vide:

Balamis, pp. 177-206.

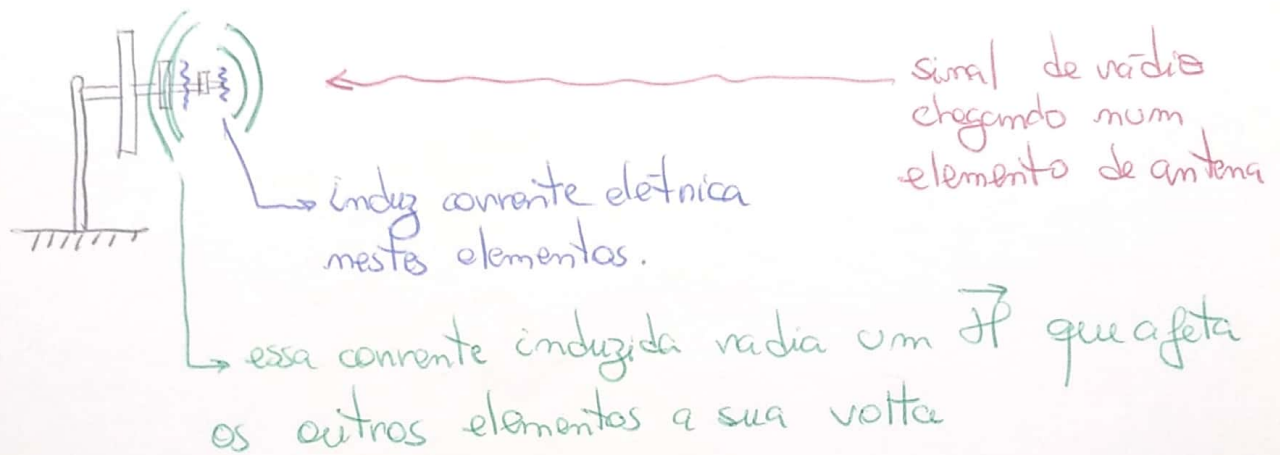
Fato 2

Em Arranjo de Antenas, devemos levar em consideração, os Efeitos de Acoplamento Magnético, e mútuo.

~~✗~~ Considerando os Efeitos de Acoplamento Magnético: aumentamos a complexidade de projeto e devemos avaliar os parâmetros de auto impedância e a impedância mútua.

Para estes cálculos, são usados métodos de Equação Integral de Pocklington e Hallén
e
método da força eletromotriz induzida (EMF)

Considerando o Acoplamento Mútuo



Este é o acoplamento mútuo, e muda a fase e a distribuição de corrente nos elementos vizinhos da antena.

Como resultado, afeta o ganho, largura de faixa, diagrama de radiação e a impedância de entrada do arranjo de antena.

Os parâmetros que afetam o Acoplamento Mútuo são: ângulo de chegada das OEM, a separação dos elementos, frequência e objetos localizados na região de campo próximo.

É difícil quantificar expressões analíticas pl o acoplamento mútuo, por isso usa-se métodos numéricos.