PROPAGACIÓN Y TRANSMISIÓN INALÁMBRICA

Grado en Ingeniería en Sistemas de Comunicaciones. Curso 15-16. Examen 14 Junio de 2016

Duración: 45 minutos

CUESTIONES (4 puntos)

NOMBRE:

1 Calcule la directividad de una antena cuyo diagrama de radiación es de la forma

$$r(\theta,\phi)=1 \quad si \quad 0<\theta<\pi/3, \quad 0<\phi<\pi/2$$

$$\mathrm{r}(\theta,\phi)=0 \quad resto \quad de \quad casos$$

(0.5 puntos)

$$D=\frac{4\pi}{\int_0^{2\pi}\int_0^{\pi} r(\theta,\phi)\,\mathrm{sen}\,\theta\, d\theta\, d\phi}=\frac{4\pi}{\int_0^{\pi/2}\int_0^{\pi/3} 1\cdot \mathrm{sen}\,\theta\, d\theta\, d\phi}$$

$$=\frac{4\cancel{\pi}}{\frac{\cancel{\pi}}{2}\int_0^{\pi/3}\mathrm{sen}\,\theta\, d\theta}=\frac{8}{\left[-\cos\theta\right]_0^{\pi/3}}=\frac{8}{0,5}=\boxed{16}$$

2 Un fabricante le vende una antena con una ganancia de -2dB. ¿Es posible, o se ha equivocado? ¿Qué eficiencia máxima tendría una antena así? *(0.5 puntos)*

Sí, es posible. Dado que $G=e\cdot D$, si la eficiencia es baja $G<0$ y por tanto negativa en dB.

La mínima directividad de una antena es 1,

$G=10^{-2/10}=0,63$

$\Rightarrow G=e\cdot D$, la máxima eficiencia sería en el caso de que la antena tenga mínima directividad (1) por tanto $\boxed{e\leq 63\%}$

$\boxed{3}$ Considere una antena de onda progresiva formada por un hilo de longitud $L = 3\lambda$ y recorrido por una corriente $I = I_0 e^{-jk_0 z}$. Obtenga los ángulos en los que se producen los nulos de radiación y el ángulo del máximo. *(0.5 puntos)*

Diagrama en el caso de una antena de onda progresiva de longitud L y excitación de fase β es:

$r(\theta, \phi) = (\frac{sen\, u}{u})^2\, (sen\theta)^2$ con $u = k\,\frac{L}{2}\,(cos\theta - \frac{\beta}{k})$

$$u = \frac{kL}{2}(\cos\theta - 1) = \frac{2\pi}{\lambda}\cdot\frac{3\lambda}{2}(\cos\theta - 1) = 3\pi(\cos\theta - 1)$$

$\theta = [0, \pi]$ $\quad u \in [0, -6\pi]$ $\quad 0, -\pi, -2\pi, -3\pi, -4\pi, -5\pi, -6\pi$

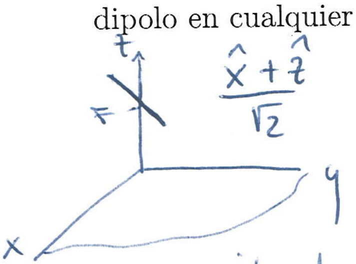
$\frac{u}{3\pi} + 1 = \cos\theta \qquad \theta = \cos^{-1}\left(\frac{u}{3\pi} + 1\right)$

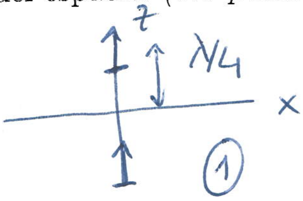
nulos en $\quad 0;\ 48,2^\circ;\ 70,5^\circ;\ 90^\circ;\ 109,5^\circ;\ 131,8^\circ;\ 180^\circ$

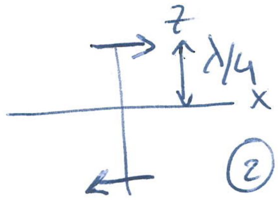
Máximo $\quad \theta_{max} = \cos^{-1}\left[1 \pm \frac{\lambda}{2L}(2m+1)\right]$

$$= \cos^{-1}\left[1 \pm \frac{1}{6}(1)\right] = 33,5^\circ$$

$\boxed{4}$ A una distancia $d = \lambda/4$ en vertical sobre un plano conductor perfecto situado en z=0 se coloca un dipolo infinitesimal excitado por una corriente I_0. Dicho dipolo esta orientado según la dirección dada por el siguiente vector normalizado $\frac{\hat{x}+\hat{z}}{\sqrt{2}}$. Obtenga el campo radiado por dicho dipolo en cualquier dirección del espacio. *(0.5 puntos)*







$$FA1 = e^{jk_z \cdot d} + e^{-jk_z d} = e^{j\frac{2\pi}{\lambda}\cdot\frac{\lambda}{4}\cos\theta} + e^{-j\frac{2\pi}{\lambda}\cdot\frac{\lambda}{4}\cos\theta} = 2\cos\left(\frac{\pi}{2}\cos\theta\right)$$

$$FA2 = e^{j\frac{2\pi}{\lambda}\cdot\frac{\lambda}{4}\cos\theta} - e^{-j\frac{2\pi}{\lambda}\cdot\frac{\lambda}{4}\cos\theta} = 2j\, sen\left(\frac{\pi}{2}\cos\theta\right)$$

Dipolos (1) $\hat{z}$ $\quad \bar{E}_1 = \frac{j\omega\mu_0 L}{4\pi}\frac{I_0}{\sqrt{2}}\frac{e^{-jkr}}{r}\, sen\,\theta\,\hat{\theta}$

Dipolos (2) $\hat{x}$ $\quad \bar{E}_2 = -\frac{j\omega\mu_0 L}{4\pi}\frac{I_0}{\sqrt{2}}\frac{e^{-jkr}}{r}\left[\cos\theta\cos\phi\,\hat{\theta} - sen\,\phi\,\hat{\phi}\right]$

$$\bar{E}_{total} = -\frac{j\omega\mu_0 L}{4\pi}\frac{I_0}{\sqrt{2}}\frac{e^{-jkr}}{r}\Big\{\left[2\cos\left(\frac{\pi}{2}\cos\theta\right)(-sen\,\theta)\right]\hat{\theta}$$

$$+\left[2j\, sen\left(\frac{\pi}{2}\cos\theta\right)\cdot\left(\cos\theta\cos\phi\,\hat{\theta} - sen\,\phi\,\hat{\phi}\right)\right]\Big\}$$

5 Un array lineal tiene 4 elementos separados 0.8λ. Calcule la distancia entre elementos necesaria para un array de 7 elementos para conseguir que tengan los nulos que definen el haz principal en la misma dirección. ¿Tienen algún nulo común más ambos arrays? *(0.5 puntos)*

1er nulo $\rightarrow \frac{2\pi}{4} = k\,0{,}8\lambda \cos\theta_N \rightarrow \theta_N = 71{,}79°$

Para que coincida $\frac{2\pi}{7} = k\,d \cos\theta_N$ (N=7)

$\boxed{d = 0{,}457\lambda}$

→ Otros nulos (N=4)

$\frac{4\pi}{4} \rightarrow \theta_N = 51{,}3°$

$\frac{6\pi}{4} \rightarrow \theta_N = 20{,}36°$

Otros nulos:

$\frac{4\pi}{7} = 51{,}30°$

$\frac{8\pi}{7} = 20{,}31°$

Otros dos coinciden

6 Indique cuál de los siguentes arrays presenta un diagrama más directivo (la distancia entre elementos es la misma en los cuatro casos). *(0.5 puntos)*

1. [1 2 3 2 1]
2. [1 1.5 2 1.5 1]
3. [2 2.1 2.2 2.1 2]
4. [2 4 10 4 2]

Cuanto más uniforme sea la distribución de amplitudes ⇒ más directiva es la antena.

Por tanto el caso más directivo es el caso 3

7 En una antena reflectora, si utilizamos de alimentador una antena muy directiva ¿cómo afectaría a la ganancia y a la directividad del reflector? *(0.5 puntos)*

Si el alimentador es muy directivo, tendremos una iluminación del reflector muy poco uniforme y esto afectará de forma negativa a la directividad y a la ganancia del reflector.

Por otra parte, este tipo de alimentador garantiza una alta eficiencia de spillover, lo cual será positivo para la ganancia y no afecta a la directividad.

8 Dos aperturas uniformes cuadradas tienen 10λ de lado, una de ellas con los lados paralelos a los ejes XY y la otra con los lados formando ángulos de 45° con dichos ejes, teniendo ambas un campo uniforme con polarización según el eje $\hat{y}$. ¿Cuál de las dos tiene un haz más estrecho en el plano E ?*(0.5 puntos)*

El plano E será el YZ para ambas. La primera tiene distribución uniforme y por tanto el menor BW posible.

La segunda es equivalente a calcular el DR en el plano diagonal y por tanto será el producto de los dos DR y la variable $w = A\,\text{sen}\,\theta \cos 45^\circ \,\text{sen}\,45 = \frac{A}{2}\,\text{sen}\,\theta \Rightarrow$ El BW será más ancho.

Equivale a iluminación triangular

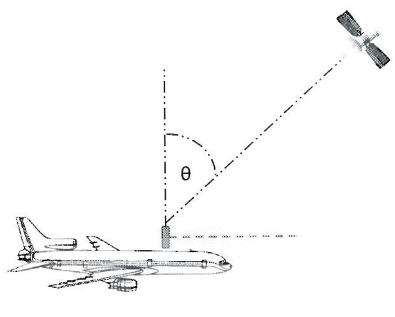
PROPAGACIÓN Y TRANSMISIÓN INALÁMBRICA

Grado en Ingeniería en Sistemas de Comunicaciones. Curso 15-16. Examen 14 de junio de 2016

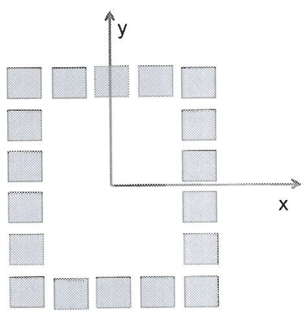
PROBLEMAS (6 puntos) Duración: 2 horas

1 Considere un sistema de antena embarcado en un satélite para aplicaciones de posicionamiento. El sistema se compone de dos pares de dipolos cortos. Cada pareja de dipolos está formada por uno orientado según el eje $\hat{x}$ y el segundo colocado según el eje $\hat{y}$, ambos están situados en el origen de coordenadas, la corriente de los dipolos tiene la misma amplitud pero se excita en oposición de fase ($I_x = -I_y$). En la segunda pareja de dipolos estos presentan la misma orientación y excitaciones respectivas pero se encuentran desplazados, respecto a la primera pareja, una distancia $d = \lambda$ en dirección $\hat{z}$.

- Obtenga el campo radiado por la configuración propuesta. Estudie el tipo de polarización radiada por la antena en cada uno de los ejes de coordenadas *(1 punto)*.
- Represente el diagrama de radiación de la antena en los tres planos principales *(0.5 puntos)*.
- Suponiendo ahora que la antena del satélite se alimenta con 120W, tiene una eficiencia total de $e_t = 92\,\%$ y suponiendo una directividad de 4 dBi, calcule la potencia recibida en el receptor del sistema de posicionameinto embarcado en el avión de la figura inferior. Puede considerar la antena del receptor como un dipolo infinitesimal vertical, la antena en el satélite puede asumirse apuntada al avión y su polarización en esta dirección suponemos que viene dada por $\hat{e} = \frac{9\hat{\theta}+2\hat{\phi}}{\sqrt{85}}$. El satélite se encuentra a una altura de 48 Km del suelo y a una distancia en horizontal del avión de 20km. Por su parte el avión está volando en altitud de crucero a una altura de aproximadamente 10.5 km del suelo. Considere para este apartado que la señal tiene una frecuencia de 5GHz. *(0.5 puntos)*.



2 Un array de antenas de parche tiene la geometría que se muestra en la figura,



Sabiendo que la distancia entre los parches, tanto en $\hat{x}$ como en $\hat{y}$ es 0.8λ, todos los elementos están alimentados con la misma amplitud y fase y que el diagrama de radiación de un parche se puede aproximar por r(θ,ϕ)=

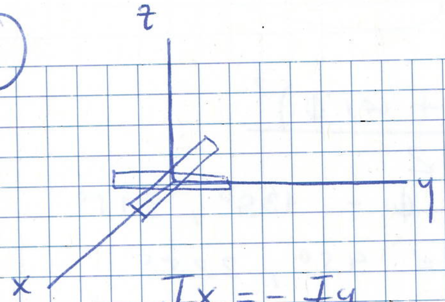
$\text{sinc}^2(\pi \text{sen}\theta \text{sen}\phi/2)\ \cos^2(\pi \text{sen}\theta \cos\phi/2)$

- Calcule el diagrama de radiación de la antena *(0.75 puntos)*.
- Ahora los cuatro elementos centrales en dirección $\hat{y}$ de cada fila vertical dejan de funcionar, quedando un array de dos filas horizontales de 5 elementos. Calcule el nivel de lóbulo secundario en el plano YZ y el nivel del grating lobe en ese mismo plano. *(0.75 puntos)*.
- Por último se completa el array pasando a ser un array plano normal con 5x6 elementos. Diseñe las alimentaciones que serán necesarias si se pretende que el array apunte en la dirección θ=30°, ϕ=30°. *(0.5 puntos)*

$\boxed{3}$ Una bocina se alimenta desde una guía de onda rectangular de dimensiones 3cm x 1cm con el modo fundamental. Las dimensiones de la boca de la bocina son 3cm x 12 cm, y la frecuencia de trabajo es 10 GHz.

- Suponiendo un error de fase despreciable, calcule el ancho de haz entre ceros de la bocina en el Plano E. *(0.75 puntos)*
- Calcule ahora los anchos de haz a -3dB en los dos planos principales (para ello puede utilizar las gráficas considerando el menor error de fase representado en ellas). *(0.75 puntos)*
- Si ahora esta bocina tuviese error de fase óptimo, calcule su directividad en dB y el valor de ρ. *(0.5 puntos)*

1



$$\bar{E} = -j\omega \bar{A}$$

Dipolo $\hat{x}$ $\quad \bar{A}_x = \frac{\mu_0}{4\pi} \angle \frac{e^{-jkr}}{r}\hat{x}$

Dipolo $\hat{y}$ $\quad \bar{A}_y = \frac{\mu_0}{4\pi} \angle \frac{e^{-jkr}}{r}\hat{y}$

$I_x = -I_y$

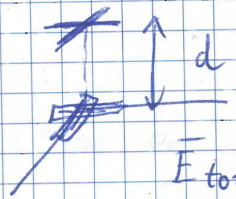
Pasando a esféricas $\hat{x}$ e $\hat{y}$

$\bar{E}_{tot_1} = \bar{E}_{dipx} - \bar{E}_{dipy} = -\frac{\mu_0}{4\pi} \angle j\omega \frac{e^{-jkr}}{r} (\cos\theta \cos\phi\, \hat{\theta}$

$- \operatorname{sen}\phi\, \hat{\phi} - \cos\theta \sin\phi\, \hat{\theta} - \cos\phi\, \hat{\phi})$

$= \underset{\text{cte}}{E_0} \frac{e^{-jkr}}{r} [\cos\theta (\cos\phi - \operatorname{sen}\phi)\hat{\theta} - (\operatorname{sen}\phi + \cos\phi)\hat{\phi}]$

pero es un array de dos pares de dipolos



$d = \lambda \hat{z}$

$\bar{E}_{tot_2} = \bar{E}_{tot_1} (1 + e^{jk\lambda \hat{z}\cdot\hat{r}}) =$

$= \bar{E}_{tot_1} (1 + e^{j2\pi\cos\theta})$

Polarización

$\hat{x} \begin{cases} \theta = \pi/2 \\ \phi = 0 \end{cases}$ $\quad \bar{E}_{tot_2} = 2 \cdot \bar{E}_{tot_1} = E_0 \frac{e^{-jkr}}{r}\hat{\phi}$ lineal según $\hat{\phi}$

$\hat{y} \begin{cases} \theta = \pi/2 \\ \phi = \pi/2 \end{cases}$ $\quad \bar{E}_{tot_2} = 2\bar{E}_{tot_1} = E_0 \frac{e^{-jkr}}{r}\hat{\phi}$ lineal según $\hat{\phi}$

$\hat{z} \{ \theta = 0$ $\quad \bar{E}_{tot_2} = 2\bar{E}_{tot_1} = [(\cos\phi - \operatorname{sen}\phi)\hat{\theta}$

$- (\operatorname{sen}\phi + \cos\phi)\hat{\phi}] E_0 \frac{e^{-jkr}}{r}$ lineal diagonal

Diagrama de radiación

$$|E|^2 = \left[\cos^2\theta \, (\cos\phi - \operatorname{sen}\phi)^2 + (\operatorname{sen}\phi + \cos\phi)^2 \right] \cos^2(\pi\cos\theta)$$

$$1 + e^{j2\pi\cos\theta} = e^{j\pi\cos\theta}\left[e^{-j\pi\cos\theta} + e^{j\pi\cos\theta} \right]$$

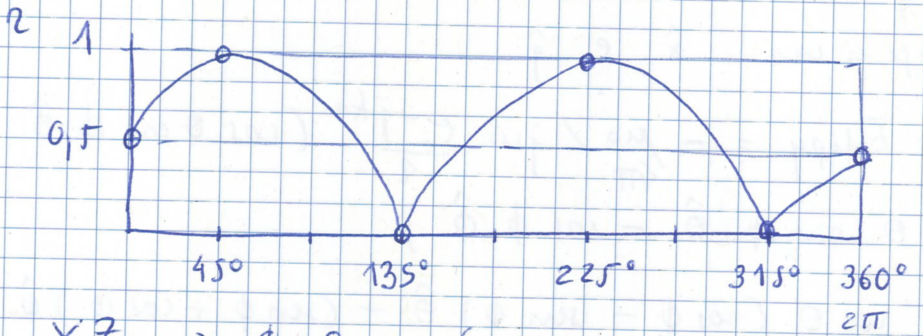
$$= e^{j\pi\cos\theta} \cdot 2\cos(\pi\cos\theta)$$

Por planos.

XY $\Rightarrow \theta = \frac{\pi}{2}$ $\qquad r(\phi) = \dfrac{(\operatorname{sen}\phi + \cos\phi)^2}{2}$

es nulo para $\operatorname{sen}\phi = -\cos\phi \Rightarrow \phi = 135°, 315°$

max para $\operatorname{sen}\phi = \cos\phi \Rightarrow \phi = 45°, 225°$



XZ $\Rightarrow \phi = 0$

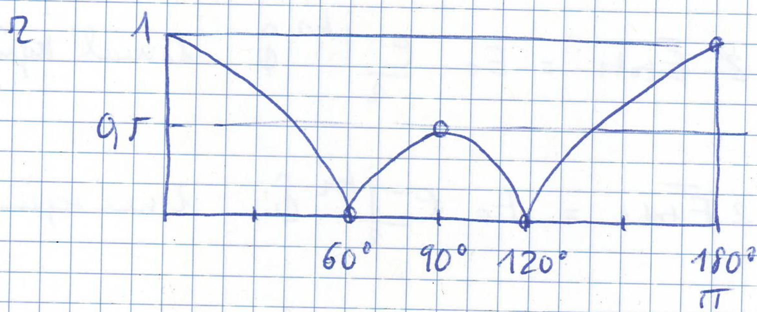
YZ $\Rightarrow \phi = \pi/2$

$$r(\theta) = \frac{(\cos^2\theta + 1)\cos^2(\pi\cos\theta)}{2}$$

$\cos^2\theta + 1 \Rightarrow$ nunca es nulo

$\cos^2(\pi\cos\theta)$ es 0 para $\theta = 60°, 120° \Rightarrow \cos^2(\frac{\pi}{2}) = 0$

Max en $\theta = 0, \pi$ $\qquad$ en $\theta = 90° \Rightarrow r(90°) = 0,5$



Universidad
Carlos III de Madrid
www.uc3m.es

Escuela Politécnica Superior

Asignatura

Nombre del Alumno

Fecha Curso Grupo

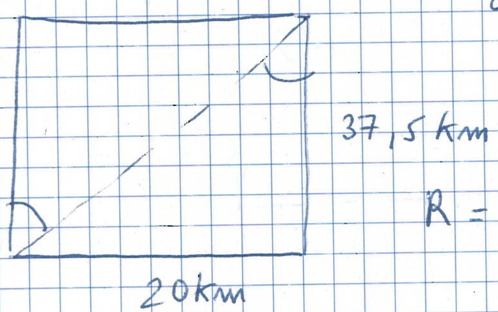
$f_0 = 5\,GHz$

$P_t = 120\,W$ $\qquad 10\log_{10} 120 = 20,79\,dB$

$D = 4\,dB_i$ $\qquad 10 \log_{10} 0,92 = -0,362$

$\lambda_0 = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{5 \cdot 10^9} = 0,06\,m$

$\operatorname{arctg} \frac{20}{37,5} \simeq 28,07^\circ \Rightarrow 0,49\,rad$



$sen^2(28^\circ) = 0,22$

$R = 42\,500\,m = 42,5\,km$

$\left(\frac{\lambda_0}{4\pi R}\right) = 1,123 \cdot 10^7$ $\qquad \left(\frac{\lambda_0}{4\pi R}\right)^2 = 1,262 \cdot 10^{-14} \Rightarrow -138,99\,dB$

$\frac{3}{2} sen^2 28^\circ = \frac{33}{100} \Rightarrow -4,814\,dB$

$\left| \hat{\theta} \cdot \frac{9\hat{\theta} + 2\hat{\phi}}{\sqrt{85}} \right|^2 = \left| \frac{9}{\sqrt{85}} \right|^2 = \frac{81}{85} \Rightarrow -0,2093\,dB$

$0,953$

$P_r = 20,79 - 0,362 + 4 - 138,99 - 4,814 - 0,2093$

$= -119,59\,dB$

$P_r = 120 \cdot 0,92 \cdot 2,51 \cdot 1,26 \cdot 10^{-14} \cdot \frac{33}{100} \cdot \frac{81}{85} = 1,045 \cdot 10^{-12}\,W$

$\simeq -119,8\,dB$

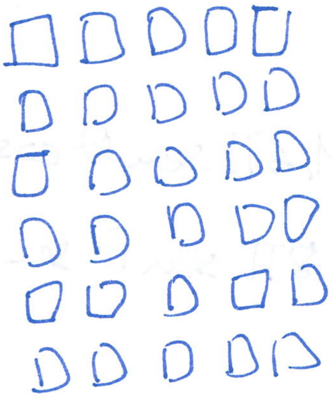
Papel ecológico.

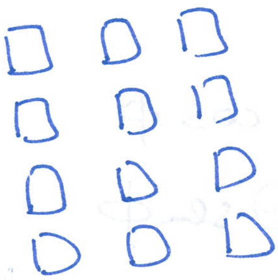
Problema 2

- DR de la antena será el DR del parche x FA.

Para calcular el FA, dos opciones:

$\boxed{1}$





Array 5 x 6 ⊖ Array de 3x4

$$\rightarrow FA = FA_{1(5\times6)} - FA_{2(3\times4)} =$$

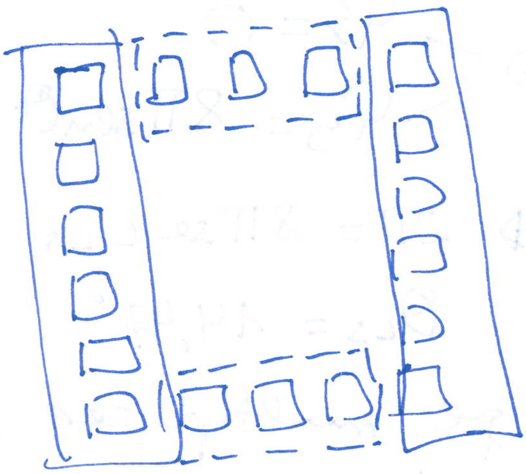
$$\frac{1}{5\cdot6}\frac{\text{sen}(5\Psi_{x_1}/2)}{\text{sen}(\Psi_{x_1}/2)}\cdot\frac{\text{sen}(6\Psi_{y_1}/2)}{\text{sen}(\Psi_{y_1}/2)} - \frac{1}{3\cdot4}\frac{\text{sen}(3\Psi_{x_2}/2)}{\text{sen}(\Psi_{x_2}/2)}\cdot\frac{\text{sen}(4\Psi_{y_2}/2)}{\text{sen}(\Psi_{y_2}/2)}$$

$$\Psi_x = 1{,}6\pi \,\text{sen}\theta\cos\phi$$

$$\Psi_y = 1{,}6\pi \,\text{sen}\theta\,\text{sen}\phi$$

$$DR = FA^2\cdot \text{sinc}^2(\pi\,\text{sen}\theta\,\text{sen}\phi/2)\cdot\cos^2(\pi\,\text{sen}\theta\cos\phi/2)$$

$\boxed{2}$



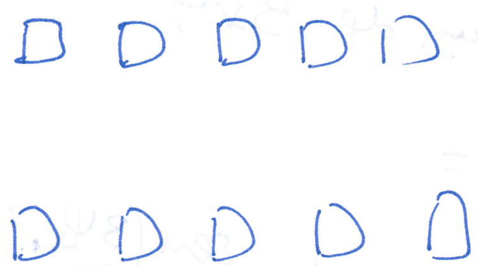
Array de 2 columnas de 6 elementos ⊕ Array de dos filas de 3 elementos.

$$FA = \frac{1}{2\cdot 6}\,\frac{\operatorname{sen}(2\Psi_{x1}/2)}{\operatorname{sen}(\Psi_{x1}/2)}\cdot\frac{\operatorname{sen}(6\Psi_{y1}/2)}{\operatorname{sen}(\Psi_{y1}/2)} + \frac{1}{3\cdot 2}\,\frac{\operatorname{sen}(3\Psi_{x2}/2)}{\operatorname{sen}(\Psi_{x2}/2)}\cdot\frac{\operatorname{sen}(2\Psi_{y2}/2)}{\operatorname{sen}(\Psi_{y2}/2)}$$

$\Psi_{x1} = 6{,}4\pi \operatorname{sen}\theta \cos\phi$ $\qquad$ $\Psi_{x2} = 1{,}6\pi \operatorname{sen}\theta\cos\phi$

$\Psi_{y1} = 1{,}6\pi \operatorname{sen}\theta \operatorname{sen}\phi$ $\qquad$ $\Psi_{y2} = 8\pi \operatorname{sen}\theta \operatorname{sen}\phi$

$\boxed{2}$



$d_x = 0{,}8\lambda$

$d_y = 4\lambda$

$$FA = \frac{1}{5\cdot 2}\,\frac{\operatorname{sen}(5\Psi_x/2)}{\operatorname{sen}(\Psi_x/2)}\cdot\frac{\operatorname{sen}(2\Psi_y/2)}{\operatorname{sen}(\Psi_y/2)}$$

$\Psi_x = 1{,}6\pi \operatorname{sen}\theta\cos\phi$

$\Psi_y = 8\pi\operatorname{sen}\theta\operatorname{sen}\phi$

Plano YZ $\rightarrow \phi = 90° \Rightarrow$ $\Psi_x = 0$; $\Psi_y = 8\pi\operatorname{sen}\theta$

1er LS en $\Psi_y = 2\pi \rightarrow 2\pi = 8\pi\operatorname{sen}\theta_{LS}$

(coincide con el GL) $\qquad \theta_{LS} = 14{,}47°$

$FA_{\theta_{LS}} = 1$, pero hay que multiplicar por el DR del parche en ese plano

$$r(\theta = 14{,}47,\ \phi = 90) = \operatorname{sinc}^2\left(\frac{\pi \operatorname{sen} 14{,}47}{2}\right) = \boxed{0{,}5851}$$

Es el GRATING LOBE $\leftarrow$ SLL $= -2{,}32$ dB

$\boxed{3}$ Array de 5x6

$\rightarrow$ Fase progresiva

$\Psi_x = 1,6\pi \operatorname{sen}\theta \cos\phi + \alpha_x$

$\Psi_y = 1,6\pi \operatorname{sen}\theta \operatorname{sen}\phi + \alpha_y$

Máx en $\theta = 30$, $\phi = 30$

$0 = 1,6\pi \operatorname{sen} 30 \cos 30 + \alpha_x$

$0 = 1,6\pi \operatorname{sen} 30 \operatorname{sen} 30 + \alpha_y$

$\frac{\alpha_x}{\alpha_y} = \frac{\cos 30}{\operatorname{sen} 30} \rightarrow \alpha_x = 2,2261\alpha_y$

$\boxed{\alpha_x = 1,6\pi \cdot \frac{1}{2} \frac{\sqrt{3}}{2} = -0,6928\pi}$

$\boxed{\alpha_y = -0,3112\pi}$

Problema 3

$\boxed{1}$ $a \times b = 3 \times 1$

$A \times B = 3 \times 12$ $\Rightarrow$ Sólo se abre B $\rightarrow$ sectoral plano E.

$\lambda_0 = 3$ cm

Sin error de fase, tengo una apertura de 3x12 con dist. coseno con x e uniforme con y.

$\Rightarrow$ Plano E $\rightarrow$ distr. uniforme sin error de fase

$\Rightarrow$ 1er nulo en $w = 1 = B \operatorname{sen}\theta = \frac{12}{3} \operatorname{sen}\theta_N$

$\theta_N = 14,47 \rightarrow \boxed{BW_N \simeq 29^\circ}$

$\boxed{2}$ - En el plano E $\rightarrow$

$$w \simeq 0,4 = \frac{12}{3} \operatorname{sen} \theta_{3dB}$$

$$\theta_{3dB} \simeq 5,74 \rightarrow \boxed{BW = 11,5^\circ}$$

- En el plano H

$$w \simeq 0,8 = \frac{3}{3} \operatorname{sen} \theta_{3dB}$$

$$\theta_{3dB} \simeq 53,13^\circ \rightarrow \boxed{BW = 106,26^\circ}$$

$\boxed{3}$ $B = 4\lambda \rightarrow$ óptimo $\rho \simeq 7\lambda$

$$D_E \frac{\lambda}{a} \simeq 30$$

$$\boxed{D_E = 30 \cdot 1 = \underline{14,77\ dB}}$$

$\Rightarrow$