PROPAGACIÓN Y TRANSMISIÓN INALÁMBRICA

Grado en Ingeniería en Sistemas de Comunicaciones. Curso 17-18. Examen 18 Junio de 2018

CUESTIONES (4 puntos) Duración: 45 minutos

NOMBRE:

$\boxed{1}$ Una antena radia un campo de la forma $\vec{E}_1{=}2E_0\frac{e^{-j\kappa r}}{r}\sin\theta\hat{\theta}$ mientras que otra antena radia un campo $\vec{E}_2{=}E_0\frac{e^{-j\kappa r}}{r}\sin^2\theta\hat{\phi}$. ¿Cuál de las dos antenas tendrá una mayor directividad? *(0.5 puntos)*

La antena 2, tiene un diagrama $\sin^4\theta$ que es más directivo que el de la 1: $\sin^2\theta$

Si calculamos sus valores de directividad.

$$D = \frac{4\pi}{\iint r(\theta,\phi)\sin\theta\, d\theta\, d\phi}$$ obtenemos para

el 1: $\underline{1,5}$ y para el 2: $\underline{1,875}$

$\boxed{2}$ Considere dos antenas de onda progresiva de longitudes y corrientes respectivas, $L_1 = a_1\lambda$ e $I_1 = I_0 e^{-jb_1\kappa_0 z}$ para la primera y $L_2 = a_2\lambda$ e $I_2 = I_0 e^{-jb_2\kappa_0 z}$ para la segunda. Indique las principales diferencias y similitudes que presentan sus diagramas de radiación para los casos a) $a_1 = a_2$ y $b_1 < b_2$ y b) $a_1 > a_2$ y $b_1 = b_2$ *(0.5 puntos)*

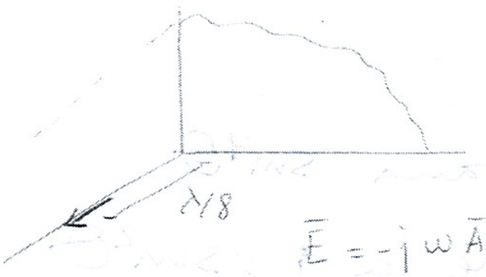
a) $a_1 = a_2$ misma longitud, tienen la misma directividad y mismo número de lóbulos secundarios.

$b_1 \neq b_2$ varía la dirección en la que apuntan.

b) $b_1 = b_2$ apuntan en la misma dirección

$a_1 > a_2$ la primera es más directiva y tiene más lóbulos secundarios.

3 Obtenga el campo $\vec{E}$ radiado por un dipolo infinitesimal orientado según el eje $\hat{x}$ y situado en $x = \lambda/8$ en presencia de un plano conductor eléctrico perfecto de ecuación $x = 0$. *(0.5 puntos)*

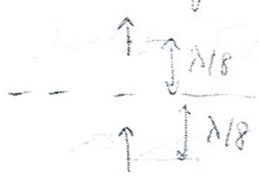


$\bar{I} = I_0 \hat{x}$ $\qquad \bar{A} = \frac{\mu_0}{4\pi}\int_{-L/2}^{L/2} I_0 \hat{x} \frac{e^{-jkr}}{r}$

$\hat{x} = \hat{\theta} \cos\theta \cos\phi - \hat{\phi}\, \text{sen}\, \phi$

$\bar{E} = -j\omega\bar{A} = -\frac{j\omega\mu L I_0}{4\pi} \frac{e^{-jkr}}{r} \left[\cos\theta\cos\phi\,\hat{\theta} - \text{sen}\,\phi\,\hat{\phi}\right] \frac{V}{m}$

Tª Imágenes



$FA = e^{jk\bar{r}_1\cdot\hat{r}} + e^{+jk\bar{r}_2\cdot\hat{r}}$

con $\bar{r}_1 = \frac{\lambda}{8}\hat{x} \qquad \bar{r}_2 = -\frac{\lambda}{8}\hat{x}$

$FA = e^{j\frac{\pi}{4}\text{sen}\,\theta\cos\phi} + e^{-j\frac{\pi}{4}\text{sen}\,\theta\cos\phi} = 2\cos\left(\frac{\pi}{4}\text{sen}\,\theta\cos\phi\right)$

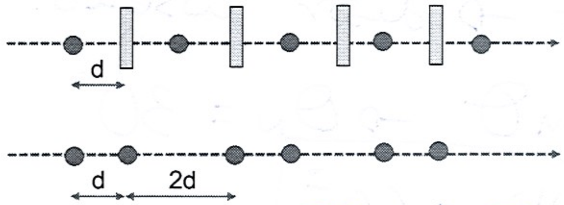
$\bar{E}_{total} = -\frac{j\omega\mu L I_0}{4\pi} \frac{e^{-jkr}}{r}\, 2\cos\left(\frac{\pi}{4}\text{sen}\,\theta\cos\phi\right)\left[\cos\theta\cos\phi\,\hat{\theta} - \text{sen}\,\phi\,\hat{\phi}\right]$ V/m

para $x > 0$ ($x < 0$ no radia)

4 ¿Qué aspecto, que afecta a la cantidad de energía que se propaga, no está reflejado en la fórmula de Friis? Argumente brevemente a qué se debe y destaque alguna de sus características *(0.5 puntos)*

La fórmula de Friis no tiene en cuenta las pérdidas debidas al material en el que ocurre la propagación, en general es el aire. Las pérdidas debidas al aire son producidas por la excitación de resonancias y cesión de energía en el medio (es un gas y presenta pocas pérdidas en muchas frecuencias, pero en otras tiene picos de absorción). Estas pérdidas dependen de la frecuencia y en general de las condiciones atmosféricas ; lluvia, humedad, presión, etc.

5 Calcule la expresión del campo total radiado por las dos antenas de la figura asumiendo las amplitudes y fases de alimentación son uniformes. NOTA: Los elementos redondos representan antenas isotrópicas y los elementos alargados dipolos cortos. Los elementos están equiespaciados una distancia d. *(0.5 puntos)*



Caso 1 $= \bar{E}_{tot} = \bar{E}_{dip}\cdot\frac{1}{4}\frac{\text{sen}(\Psi_1 4/2)}{\text{sen}(\Psi_1/2)} + \bar{E}_{iso}\cdot\frac{1}{4}\frac{\text{sen}(\Psi_1 4/2)}{\text{sen}(\Psi_1/2)}$

$\Psi_1 = k\,2d\cos\theta$ $\quad = \frac{1}{4}\frac{\text{sen}(2\Psi_1)}{\text{sen}(\Psi_1/2)}\left(\bar{E}_{dip}+\bar{E}_{iso}\right)$

Caso 2 $\quad \bar{E}_{tot} = \bar{E}_{iso}\cdot\frac{1}{2}\frac{\text{sen}(2\Psi_2/2)}{\text{sen}(\Psi_2/2)}\cdot\frac{1}{3}\frac{\text{sen}(3\Psi_3/2)}{\text{sen}(\Psi_3/2)}$

$\Psi_2 = k\,d\cos\theta$

$\Psi_3 = k\cdot 3d\cos\theta$

6 Un array de 5 elementos separados 0.25λ se alimenta con amplitudes uniformes y con un desfase progresivo de $\alpha=1.20\pi$. Calcule la dirección apuntamiento del array y el número de lóbulos secundarios. *(0.5 puntos)*

$k d\cos\theta_M + \alpha = 0 = \frac{2\pi}{\lambda}\cdot\frac{\lambda}{4}\cos\theta_M + 1,2\pi$

$\frac{\pi}{2}\cos\theta_M + 1,2\pi = 0 \qquad \theta_M = a\cos\left(-\frac{1,2\pi}{0,5}\right) \rightarrow \cancel{\exists}$

$MV \in [0,7\pi,\ 1,7\pi] \Rightarrow$ no hay máximos de radiación en el MV

7 Una apertura de tamaño 4λx3λ presenta una distribucion de campo de la forma $\vec{E_{ap}} = E_0 cos(\frac{\pi y}{B})\hat{y}$. Calcule su anchura de haz entre nulos en los planos principales. Indique cuál es el plano E y cuál el plano H. (*(0.5 puntos)*

El plano $\bar{E}$ es el YZ → distr. coseno.

nulo en $w = 1{,}5 = 3 \operatorname{sen}\theta \rightarrow \theta_N = 30^\circ$

$\boxed{BW_E = 60^\circ}$

Plano $\bar{H}$ → XZ → dist. uniforme

nulo en $w = 1 = 4 \operatorname{sen}\theta_N \rightarrow \theta_N = 14{,}47$

$\boxed{BW_H = 28{,}9^\circ}$

8 Explique cuál es la ventaja de utilizar antenas reflectoras en lugar de utilizar directamente como antena las bocinas que las alimentan. *(0.5 puntos)*

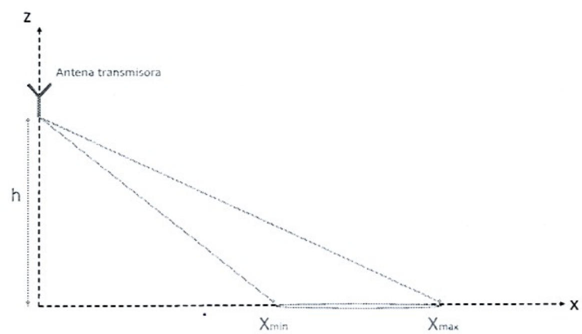
Los reflectores son antenas mucho más directivas que las bocinas que los alimentan, debido a su gran apertura.

PROPAGACIÓN Y TRANSMISIÓN INALÁMBRICA

Grado en Ingeniería en Sistemas de Comunicaciones. Curso 17-18. Examen 18 de junio de 2018

PROBLEMAS (6 puntos) Duración: 2 horas

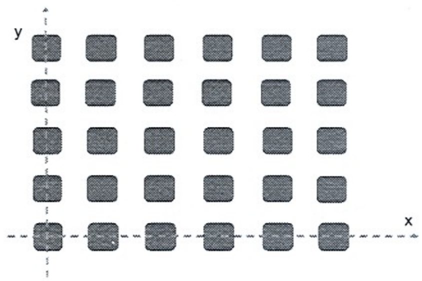
$\boxed{1}$ Considere un enlace radio operando a f=2.5 GHz que emplea una antena transmisora situada a una altura h=100 m sobre el plano donde se encuentran los usuarios, tal y como indica la figura. La potencia transmitida por esta antena es $P_t = 1$ W



- Si la polarización de la antena transmisora es elíptica con razón axial 6 dB y el semieje mayor es paralelo al suelo, obtenga cuál será la potencia recibida por una antena apuntada situada en el punto $x_{max} = 300$m si su directividad es 10 y su polarización lineal horizontal. Considere que la ganancia de la antena transmisora en esa dirección es de 4 dB(*0.5 puntos*)
- Vuelva a obtener la potencia recibida si ahora se emplea como antena receptora un dipolo infinitesimal vertical (suponga que la presencia del suelo no afecta a la antena receptora). (*0.5 puntos*).
- Suponga ahora que se desea que un usuario que se encuentra en la posición $x_{min} = 200$m reciba la misma potencia que otro usuario situado en $x_{max} = 300$m. Calcule cuál debería ser la ganancia de la antena transmisora en la dirección x_{min} para que se cumpla dicha condición (considere otra vez que en la dirección que corresponde a x_{max} la ganancia de la antena transmisora es de 4 dB y que las antenas receptoras son dipolos infinitesimales verticales) (*1 punto*)

$\boxed{2}$ Se pretende diseñar un array plano de antenas de parche como el de la figura, que cumpla las siguientes condiciones:

- En el plano XZ una anchura entre nulos de : 34°
- En el plano YZ una anchura entre nulos de : 50° y nulos adicionales a 60° de la dirección broadside asumiendo en este plano una distancia entre elementos de 0.6λ.



- Realice el diseño del array considerando las antenas de parche como antenas isotrópicas. *(0.75 punto)*.
- Ahora, la fila del medio del array deja de funcionar. Suponiendo para este caso amplitudes y fases uniformes y una distancia entre elementos d_x=d_y=0.5λ calcule la anchura de haz en los dos planos principales. *(0.75 puntos)*.
- Represente el diagrama de radiación en el plano ZY. *(0.5 puntos)*.

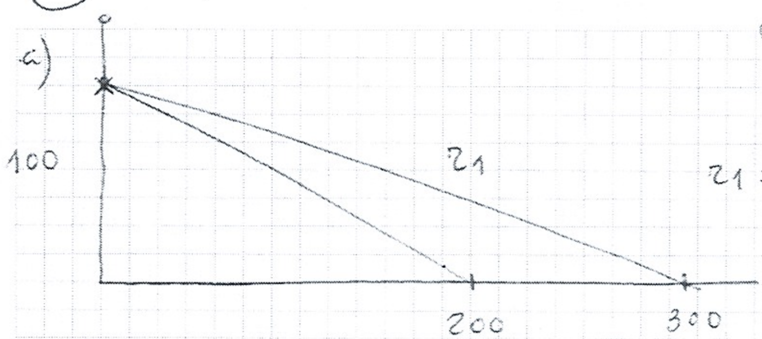
$\boxed{3}$ Diseñe ahora una antena de apertura con la que consiga las mismas anchuras de haz que en el *Problema 2*. El diseño debe tener en cuenta que en el plano XZ el nivel de lóbulos secundarios ha de ser menor que en el plano YZ. *(0.75 puntos)*.

Por último, se sustituye cada columna del array del *Problema 2* por una bocina sectorial plano E óptima. Si para ello la bocina necesita una directividad de 14 dB y sabiendo que la bocina se construye a partir de una guía de onda de dimensiones a=0.5λ y b=0.25λ, calcule las dimensiones de la bocina. *(0.75 puntos)*

Calcule la anchura de haz entre nulos de la bocina en el plano E. *(0.5 puntos)*

(P1)

a)



$f = 2{,}5\ GHz$

$\lambda_0 = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{2{,}5 \cdot 10^9} = 0{,}12\ m$

$r_1 = \sqrt{100^2 + 300^2} = 316{,}22\ m.$

en transmisión $\hat{e}_t = \frac{\hat{\theta} + j\,2\hat{\phi}}{\sqrt{1^2 + 2^2}} = \frac{\hat{\theta} + 2j\hat{\phi}}{\sqrt{5}}$

en recepción $\hat{e}_r = \hat{\phi}$ $\quad |\hat{e}_t \cdot \hat{e}_r^*|^2 = \frac{4}{5}$

$1W \Rightarrow 10 \log_{10} 1 = 0\ dBW$

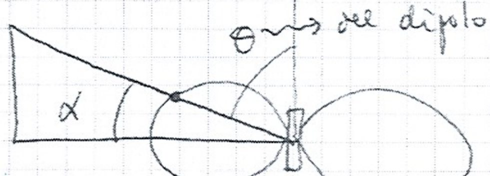
$D_t = 10\ dB \quad G_r = 4\ dB \quad 10 \log_{10} |\hat{e}_t \cdot \hat{e}_r^*|^2 = -0{,}969$

$P_r = 0 + 10 + 4 + 20 \log_{10} \left(\frac{0{,}12}{4\pi \cdot 316{,}22}\right) - 0{,}969.$

$= 14 - 90{,}4 - 0{,}969 = -77{,}37\ dBW$

$(1{,}83\ 10^{-8}\ W)$

b) Ahora cambia la ganancia de la antena y su polarizacion



$D = \frac{3}{2} \operatorname{sen}^2 \theta$

$\alpha = \operatorname{arctg} \frac{100}{300} = 18{,}43°$

$\theta \simeq 71{,}56°$

$G = e D = 1\ D$ en este caso.

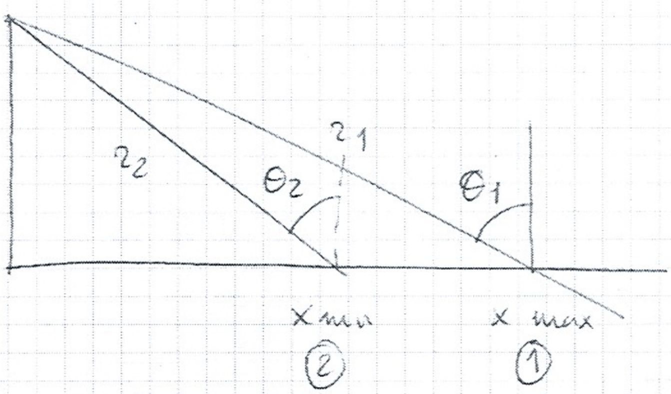
$D = \frac{3}{2} \operatorname{sen}^2 71{,}56° = 1{,}35 \Rightarrow 1{,}3\ dB$

$\hat{e}_r = \hat{\theta} \quad 10 \log |\hat{e}_t \cdot \hat{e}_r^*|^2 = 10 \log_{10} \frac{1}{5} = -6{,}989 \simeq -7\ dB.$

$P_r = 0 + 4 + 1{,}3 - 90{,}4 - 7 = -92{,}1\ dBW$

$(6{,}17 \cdot 10^{-10}\ W)$

c) Ahora cambia la ganancia max y la distancia. hay que igualarlas.



si igualamos las potencias para las dos distancias.

$$P_{r1} = P_{r2}$$

$$G_2 = \frac{3}{2} \operatorname{sen}^2 \theta_2$$

$r_1 = 316,22 \text{ m}$ $\qquad$ $r_2 = \sqrt{100^2 + 200^2} = 223,6 \text{ m}$

$\theta_1 = 71,56°$ $\qquad$ $\theta_2 = 90 - \operatorname{arctg} \frac{100}{200} = 63,43°$

$$\cancel{P_t} G_t^1 G_2^1 \cancel{\frac{\lambda^2}{}}\frac{}{(4\pi r_1)^2} \cancel{|\hat{e}_t \cdot \hat{e}_2^*|^2} = \cancel{P_t} G_t^2 G_2^2 \cancel{\frac{\lambda^2}{}}\frac{}{(4\pi r_2)^2} \cancel{|\hat{e}_t \cdot \hat{e}_2^*|^2}$$

$$\frac{G_t^1 \cdot G_2^1}{r_1^2} = \frac{G_t^2 \cdot G_2^2}{r_2^2} \qquad G_t^2 = \left(\frac{r_2}{r_1}\right)^2 \frac{\operatorname{sen}^2 \theta_1}{\operatorname{sen}^2 \theta_2} \cdot G_t^1$$

$$G_t^2 = \left(\frac{223,6}{316,22}\right)^2 \frac{\operatorname{sen}^2 71,56°}{\operatorname{sen}^2 63,43°} \cdot 10^{\frac{4}{10}} = \underline{1,41}$$

$10 \log_{10} 1,41 = 1,5 \text{ dB}$ $\qquad$ $\underline{G_t^2 = 1,5 \text{ dB}}$

* Problema 2   Array 6 x 5   (1)

Plano XZ $\rightarrow$ anchura 34°

$\rightarrow$ considero al. uniforme. Máx en $\theta = 0°$

$\Rightarrow \frac{2\pi}{6} = kd \operatorname{sen} 17°$ $\boxed{d_x = 0{,}57\lambda}$

Plano YZ $\rightarrow$ anchura 50° — $\theta_N = 25°$

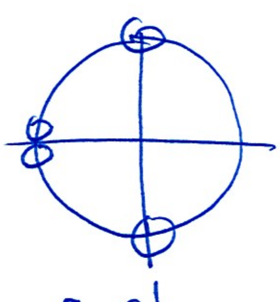
- nulos en $\theta = 60°$
- $d = 0{,}6\lambda$

Necesito al. no uniforme.

$\psi = kd \sin\theta = 1{,}2\pi \sin\theta$

nulos en $\theta = 25 \rightarrow \psi = \pm 0{,}5\pi$

$\theta = 60 \rightarrow \psi = \pm 1{,}03\pi$



$FA \neq (z - e^{j0{,}5\pi})(z - e^{-j0{,}5\pi})$

$(z - e^{j1{,}03\pi})(z - e^{-j1{,}03\pi})$

Son 5 el / 4 nulos } ok $= (z^2 + 1 - 2z\cos(0{,}5\pi))(z^2 + 1$

$-2z\cos(\underset{\pm 1}{1{,}03\pi})) \cong (z^2+1)(z^2+1+2z) =$

$z^4 + 2z^3 + 2z^2 + 2z + z$

- Array de 2 arrays planos de 6x2
  - todo unif.
  - todo $d = 0{,}5\lambda$

$$FA_{tot} = FA_1 \cdot FA_x \cdot FA_y =$$

$$\frac{1}{2}\frac{\text{sen}(2\Psi_1/2)}{\text{sen}(\Psi_1/2)} \cdot \frac{1}{6}\frac{\text{sen}(6\Psi_x/2)}{\text{sen}(\Psi_x/2)} \cdot \frac{1}{2}\frac{\text{sen}(2\Psi_y/2)}{\text{sen}(\Psi_y/2)}$$

$$\Psi_1 = k \cdot 1{,}5\lambda \,\text{sen}\,\theta \,\text{sen}\,\phi$$

$$\Psi_x = k\, 0{,}5\lambda \,\text{sen}\,\theta \cos\phi$$

$$\Psi_y = k\, 0{,}5\lambda \,\text{sen}\,\theta \,\text{sen}\,\phi$$

$\boxed{\text{Plano } xz}$ $\rightarrow \phi = 0$

$\rightarrow \Psi_1 = \Psi_y = 0 \rightarrow FA_1 = FA_y = 1$

nulos de FA_x con $\Psi_x = \pi \,\text{sen}\,\theta$

1^{er} nulo $\frac{2\pi}{6} = \pi \,\text{sen}\,\theta_N$ $\quad \theta_N = 19{,}4$

$\boxed{BW_{xz} = 38{,}8^\circ}$

$\boxed{\text{Plano } YZ}$ $\rightarrow \phi = \pi/2$

$\Psi_x = 0 \rightarrow FA_x = 1$

1^{er} nulo $FA_1 \rightarrow \frac{2\pi}{2} = 3\pi \,\text{sen}\,\theta_N \rightarrow 19{,}4^\circ$

1^{er} nulo $FA_y \rightarrow \frac{2\pi}{2} = \pi \,\text{sen}\,\theta_N \rightarrow \theta_N = 90^\circ$

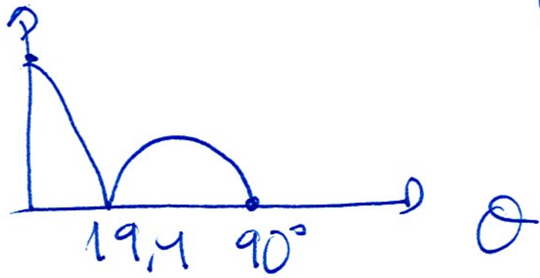
1^{er} nulo $FA_x \rightarrow 2\pi = \pi$

DR Plano YZ (*)

$FA_y \rightarrow$ sólo 1 nulo en $90°$

$FA_1 \rightarrow$ nulos en $\psi = \frac{2\pi}{2} \rightarrow \theta = 19{,}4°$

$\psi = \frac{6\pi}{2} \rightarrow \theta = 90°$



(*) En arrays planos $\theta \in [0, 90°]$

Problema 3

a) Mismas anchuras:

$XZ \rightarrow 34° \rightarrow$ coseno

$YZ \rightarrow 50° \rightarrow$ uniforme.

$1{,}5 = \frac{A}{\lambda} \operatorname{sen} 17°$ $\boxed{A = 5{,}13\lambda}$

$1 = \frac{B}{\lambda} \operatorname{sen} 25°$ $\boxed{B = 2{,}36\lambda}$

b) - $D = 14\,dB$ $a = 0{,}5\lambda$

- óptima $b = 0{,}25\lambda$

$\rightarrow$ Gráfica $B \simeq 6\lambda$ $A = a$

$\frac{\lambda}{a} D \simeq 50$ $\rho \simeq 14\lambda$

1. Plano E, nulo en $w \simeq 1 = 6 \operatorname{sen} \theta_n$