Université de Mohamed BOUDIAF
Faculté de Technologie
Département d'Electronique
23/05/2023
Durée : 01h30

Examen Final Antennes & Applications M1-ITLC Pr. Khaled ROUABAH

Corrigé Type de l'Examen

Exercice N° :01 ***6.25 Pts***

Soit un réseau linéaire de six (6) sources.

1) Utiliser la méthode de Dolph pour trouver les amplitudes des six sources permettant d'avoir un diagramme de rayonnement ayant des lobes secondaires situés à un niveau $\mathbf{20\log R = 25}$ par rapport au maximum du lobe principal ;

Nous avons :

$20\log R = 25 \rightarrow R = 10^{\frac{25}{20}} = 17.78.$ 0.25Pt

$Z = \frac{1}{2}\left(R + \sqrt{R^2-1}\right)^{\frac{1}{N-1}} + \frac{1}{2}\left(R + \sqrt{R^2-1}\right)^{\frac{1}{1-N}}.$ 0.5Pt

$N = 6, \rightarrow$

$Z = \frac{1}{2}\left(17.78 + \sqrt{17.78^2-1}\right)^{\frac{1}{5}} + \frac{1}{2}\left(17.78 + \sqrt{17.78^2-1}\right)^{\frac{-1}{5}} = 1.266.$ 0.5Pt

$A_3 = Z^5 =$ 0.5Pt $1.266^5 = 3.25$ 0.25Pt.

$A_2 = 5(A_3 - Z^3)$ 0.5Pt $= 5(3.25 - 1.266^3) = 6.1.$ 0.25Pt

$A_1 = 3A_2 - 5A_3 + 5Z_0$ 0.5Pt $= 3\times 6.1 - 5\times 3.25 + 5\times 1.266 = 8.38.$ 0.25Pt

Soit maintenant le réseau à alignement continu de sources équi-phases (montré dans la figure (1)) de longueur $\boldsymbol{L \gg \lambda}$ dont la loi d'éclairement est $\boldsymbol{A(x)}$. Pour une loi d'éclairement en **cosinus :**

2) Donner (avec démonstration) la formule du gain en fonction de $\boldsymbol{\eta}$ **et** $\boldsymbol{FCR}(\alpha)$, $(\alpha = \theta)$;

Nous avons :

$$G = G_0 = \frac{4\pi\eta}{\iint_0^{4\pi} FCR(\theta)d\Omega} = \frac{4\pi\eta}{\int_0^{2\pi}\int_0^{\pi} FCR(\theta)\sin(\theta)d\theta d\varphi} = \frac{4\pi\eta}{\int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^{\pi} FCR(\theta)\sin(\theta)d\theta}$$

θ varie de 0 à π et φ varie de 0 à 2π pour que toute la sphère soit balayée $\rightarrow$

$$G = G_0 = \frac{4\pi\eta}{2\pi\int_0^{\pi} FCR(\theta)\sin(\theta)d\theta} = \frac{2\eta}{\int_0^{\pi} FCR(\theta)\sin(\theta)d\theta}.$$

Pour $\eta = 1 \rightarrow$

$$G = G_0 = \frac{2}{\int_0^{\pi} FCR(\theta)\sin(\theta)d\theta}.$$ 1Pt

3) Calculer le champ max $\boldsymbol{E_{\mathrm{Cmax}}}$;

Nous avons :

$$\underline{E}(M) = \underline{K}\frac{e^{-jkR}}{R}AL\frac{\cos U}{\left(\frac{\pi}{2}\right)^2 - U^2}.$$ 0.25Pt

Rayonnement maximal $\rightarrow A = A_0, \alpha = \frac{\pi}{2}$ et $u = 0$ ce qui nous donne :

$$E_{\mathrm{Cmax}} = \left|\underline{E}(M)\right| = \left|\underline{K}\frac{e^{-jkR}}{R}A_0 L\frac{2}{\pi}\right| = \frac{K}{R}A_0 L\frac{2}{\pi}.$$ 0.25Pt

4) Calculer la puissance max $\boldsymbol{P_{C0}}$;

Nous avons :

$p = \frac{P_a}{4\pi R^2} = \frac{E^2}{240\pi}$ 0.25Pt $\rightarrow$

$\frac{P_a}{4\pi} = \frac{E^2R^2}{240\pi} = P_{C0} \rightarrow$

$P_{C0} = \frac{(E_{Cmax})^2R^2}{240\pi}$. 0.25Pt

Avec : $E = E_{Cmax} = \frac{K}{R}A_0L\frac{2}{\pi}$.

En remplaçant E_{Cmax} dans la formule de P_{C0}, on trouve :

$P_{C0} = \frac{\left(\frac{K}{R}A_0L\frac{2}{\pi}\right)^2R^2}{240\pi} = \frac{K^2}{240\pi}\left(\frac{2A_0L}{\pi}\right)^2$. 0.25Pt

5) Calculer la puissance d'alimentation $\boldsymbol{P_{Ca}}$;

$P_{Ca} = \frac{1}{L}\int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}}|A(x)|^2dx = \frac{1}{L}\int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}}A_0^2cos^2\left(\frac{\pi L}{x}\right)dx = \frac{A_0^2}{2}$. 0.25Pt

6) Calculer le gain max $\boldsymbol{G_{C0}}$;

$G_{C0} = \frac{P_{C0}}{P_{Ca}} = \frac{\frac{K^2}{240\pi}\left(\frac{2A_0L}{\pi}\right)^2}{\frac{A_0^2}{2}} = \frac{K^2}{30\pi^3}L^2$. 0.25Pt

Exercice N° :02 ***8.5 Pts***

Soit un Doublet dont la longueur $\boldsymbol{h}$ est très petite devant la longueur d'onde $\boldsymbol{\lambda}$.

1) Démontrer que la puissance rayonnée par unité de surface ($\boldsymbol{p(R,\theta)}$) par ce Doublet est de la forme : $\boldsymbol{p(R,\theta) = \frac{K_1}{R^2}sin^2(\theta)\ \ W/m^2}$;

Nous avons :

$p = \frac{E_\theta^2}{240\pi}$ --------(1) 1Pt

$\underline{E_\theta} = j\frac{60\pi}{\lambda R}h\underline{I}(\sin\theta)e^{-j\frac{2\pi}{\lambda}R}$ 1Pt $\rightarrow$

$E_\theta = \frac{60\pi}{\lambda R}hI\sin\theta$ -------------(2) 0.5Pt

(2) dans (1) donne :

$p = \frac{\left(\frac{60\pi}{\lambda R}hI\sin\theta\right)^2}{240\pi}$ 1Pt $= \frac{1}{240\pi}(hI)^2\left(\frac{60\pi}{\lambda}\right)^2\frac{1}{R^2}\sin^2\theta = \frac{K_1}{R^2}\sin^2\theta$. 0.5Pt

2) Déduire $\boldsymbol{K_1}$;

$K_1 = \frac{1}{240\pi}(hI)^2\left(\frac{60\pi}{\lambda}\right)^2 = \frac{1}{\lambda^2}15\pi(hI)^2$. 1Pt

3) Calculer, en valeur **naturelle** et en $\boldsymbol{dB}$, le gain max de ce Doublet ($\boldsymbol{\eta = 1}$) ;

$G_0 = \frac{2}{\int_0^\pi FCR(\theta)\sin(\theta)d\theta} = \frac{2}{\int_0^\pi \sin^2\theta\sin(\theta)d\theta} = 1.5$. 0.25Pt

$G_0[dB] = 10\log 1.5 = 1.76\ dB$. 0.25Pt

4) Démontrer que l'angle d'ouverture à $\boldsymbol{-3\ dB}$ de ce Doublet est $\boldsymbol{2\theta_3 = 90°}$;

La FCR en champ de ce doublet est $\sin\theta$.

Les directions de rayonnement à -3 dB de ce doublet sont données par :

$\sin\theta = \frac{1}{\sqrt{2}} \Rightarrow \theta = arcsin\left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right) \Rightarrow$

$\theta_1 = 45°$ 0.25Pt et $\theta_2 = 135°$.0.25Pt

$2\theta_3 = \theta_2 - \theta_1 = 90°$.0.25Pt

5) ~~Calculer l'angle d'ouverture à $-3\ dB$ du Dipôle $\frac{\lambda}{4}$~~ ; (Question annulée)

Le dipôle $\frac{\lambda}{4}$ est utilisé pour réaliser le réseau montré dans la figure (2). Il est alimenté et rayonne un champ avec une amplitude $\boldsymbol{E_0}$ et un déphasage initial nul. Le parasite, qui est un dipôle **non alimenté**, rayonne par induction avec une amplitude $\boldsymbol{E'_0}$ et un déphasage propre (entre le champ incident et le champ rayonné) de **180°.**

Figure.1. Réseau à 2 éléments.

En prenant l'origine des phases au niveau du dipôle alimenté :

6) Calculer les champs rayonnés, en $\boldsymbol{M}$ et $\boldsymbol{M}$**,** par le dipôle ;

$\underline{E}_d(M) = E_0 e^{-j\frac{2\pi r}{\lambda}}$. 0.5Pt

$\underline{E}_d(M') = E_0 e^{-j\frac{2\pi(d+r')}{\lambda}}$. 0.5Pt

7) Calculer les champs rayonnés, en $\boldsymbol{M}$ et $\boldsymbol{M'}$**,** par le parasite ;

$\underline{E}_p(M) = E'_0 e^{-j\left(\frac{2\pi(d+r)}{\lambda} + \frac{2\pi d}{\lambda} + \pi\right)}$. 0.25Pt

$\underline{E}_p(M) = E'_0 e^{-j\left(\frac{2\pi r'}{\lambda} + \frac{2\pi d}{\lambda} + \pi\right)}$. 0.25Pt

8) Calculer les champs totaux créés en $\boldsymbol{M}$ et $\boldsymbol{M'}$;

$\underline{E}_T(M) = \underline{E}_d(M) + \underline{E}_p(M) = \left(E_0 - E'_0 e^{-j\frac{4\pi d}{\lambda}}\right) e^{-j\frac{2\pi r}{\lambda}}$.

$\underline{E}_T(M') = \underline{E}_d(M') + \underline{E}_p(M') = (E_0 - E'_0) e^{-j\frac{2\pi(d+r')}{\lambda}}$.

9) <u>**Application numérique :**</u> $\boldsymbol{d = \lambda/_4}$ et $\boldsymbol{E'_0 = 0.75E_0}$.

$\underline{E}_T(M) = \left(E_0 - 0.75E_0 e^{-j\frac{4\pi d}{\lambda}}\right) e^{-j\frac{2\pi r}{\lambda}}. \Rightarrow E_T(M) = \left(E_0 - 0.75E_0 e^{-j\frac{4\pi \lambda/_4}{\lambda}}\right) e^{-j\frac{2\pi r}{\lambda}} = 1.75E_0 e^{-j\frac{2\pi r}{\lambda}}$. 0.25Pt

$\underline{E}_T(M') = (E_0 - 0.75E_0) e^{-j\frac{2\pi(d+r')}{\lambda}} = 0.25E_0 e^{-j\frac{2\pi(\lambda/_4)}{\lambda}} e^{-j\frac{2\pi r'}{\lambda}} = 0.25E_0 e^{-j\left(\frac{2\pi r'}{\lambda} + \frac{\pi}{2}\right)}$. 0.25Pt

<u>Déduire le **type** de cette antenne</u>.

Antenne Yagi à deux éléments. 0.25Pt

Exercice N° :03 ***7 Pts***

Choisir une partie parmi les deux suivantes :

Partie 1 :

Soit une antenne patch qui a les spécifications données dans le tableau ci-contre :

1) Trouver les paramètres de cette antenne permettant une simulation sous HFSS ($\boldsymbol{W}, \boldsymbol{\varepsilon_{eff}}, \Delta \boldsymbol{l}, \boldsymbol{L}, \boldsymbol{Z_A}$).

$$W = \frac{\lambda}{2}\sqrt{\frac{2}{\varepsilon_r + 1}}$$

$W \approx 0.02m$ 1Pt + 0.5Pt

$$\varepsilon_{eff} = \frac{\varepsilon_r + 1}{2} + \frac{\varepsilon_r - 1}{2}\frac{1}{\sqrt{1 + 12h/W}}$$

$\varepsilon_{eff} = 2$ 1Pt + 0.5Pt

$$\Delta L = (0.412h)\frac{(\varepsilon_r + 0.3)(W/h + 0.264)}{(\varepsilon_r - 0.258)(W/h + 0.8)}$$

$\Delta l \approx 0.0015m$ 1Pt + 0.5Pt

$$L = \frac{\lambda}{2\sqrt{\varepsilon_{eff}}} - 2\Delta L$$

$l \approx 0.015m$ 1Pt + 0.25Pt

$$Z_A = 90\frac{\varepsilon_r^2}{\varepsilon_r - 1}\left(\frac{L}{W}\right)^2 \ \Omega$$

$Z_A \approx 206{,}42$ 1Pt + 0.25Pt

Partie 2 :

1) On considère une antenne filaire de longueur $\boldsymbol{1m}$ et de section $\boldsymbol{1mm^2}$. Sa conductivité est de $\boldsymbol{58.10^6 \Omega^{-1} m^{-1}}$. La valeur crête du courant est de $\boldsymbol{1\ A}$ et la longueur d'onde est de $\boldsymbol{100m}$. Sachant que la résistance de rayonnement est de $\boldsymbol{0.88}\Omega$, calculer :
   2.1. La puissance dissipée en chaleur ;

Nous avons la Résistance est donnée par :

$R_p = \rho\frac{l}{S} = \frac{1}{\sigma} \times \frac{l}{S} = \frac{1}{58\times 10^6} \times \frac{1}{1\times 10^{-6}} = 0.017\Omega.$ ➔

$P_p = \frac{1}{2}R_p I^2 = \frac{1}{2} \times 0.017 \times 1^2 = 0.0085\ W.$ 1Pt + 0.25Pt

   2.2. La puissance dissipée en rayonnement ;

$P_r = \frac{1}{2}R_r I^2 = \frac{1}{2} \times 0.88 \times 1^2 = 0.44\ W.$ 1Pt + 0.25Pt

   2.3. Le rendement de l'antenne.

$\eta = \frac{R_r}{R_r + R_p} = \frac{0.88}{0.88 + 0.017} = 0{,}9810.$ 1Pt + 0.25Pt

$\eta(\%) = 98.1\%.$ 0.25Pt

2) Le diagramme de rayonnement en puissance d'une antenne est donné par : $\boldsymbol{f(\theta) = cos^6(\theta)}$.

Ce diagramme est à symétrie de révolution autour de l'axe des $\boldsymbol{z}$.

   3.1. Calculer son angle d'ouverture $\boldsymbol{2\theta_3}$ à $\boldsymbol{-3dB}$;

Recherchons les deux directions $\theta_1$et θ_2 qui sont solution de :

$cos^6(\theta) = \frac{1}{2}$. 0.5Pt

$cos(\theta) = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{1}{6}} = 0.89$. 0.5Pt

$\theta_1 = -27.12°$ et $\theta_2 = 27.12°$. 0.5Pt

$2\theta_3 = 54.24°$. 0.5Pt

3.2. Déterminer, pour cet angle, la valeur de sa fonction caractéristique de rayonnement $\boldsymbol{FCR}$ en champ.

$FCR(2\theta_3) = \sqrt{cos^6(2\theta_3)} \approx 0.2$. 1Pt + 0.5Pt
Soit : $-6{,}98\ dB$.