

## **EXAMEN de Rayonnement et Antennes (Ecrit)**

Prof. A. K. Skrivervik, STI-EPFL.

L'examen aura lieu le .....

### **Sujets couverts par l'examen:**

- Le matériel couvert par les notes disponibles dans les pages web (moodle) du cours.
- Le matériel couvert par les transparents montrés au cours.
- Le matériel couvert dans les séances d'exercices dont les corrigés se trouvent dans le moodle

### **Matériel autorisé dans la salle :**

- Notes manuscrites sur formulaire de 4 pages recto verso au maximum. Solutions d'exercices non autorisées
- Copie des slides, soit imprimées soit sur une tablette qui sera posée à plat sur la table pendant l'examen.
- Crayons, stylos, feutres, feuilles blanches: pas de limitation.
- Calculatrice aux performances raisonnables (pas de PC, pas de dispositifs à connexion sans fil).

### **Déroulement :**

**• Quatre problèmes sont proposés, l'étudiant devra résoudre trois et seulement trois problèmes. Si quatre problèmes sont rendus, seuls les trois premiers seront corrigés.**

- L'examen est à rendre écrit avec un stylo bleu ou noir. Pas d'autres couleurs, pas d'écriture au crayon.
- L'heure officielle de finalisation de l'examen sera respectée de façon stricte
- Des feuilles blanches seront mises à disposition si besoin.
- Débranchez vos téléphones portables.

**Echelle : les trois exercices effectués seront notés sur 6. La note finale est la moyenne des trois notes, arrondie au quart de point.**

**Exercice 1**

Une antenne d'impédance d'entrée réelle  $Z_{IN} = 100\Omega$  émet un champ électrique lointain donné par:

$$\vec{E}(\theta, \varphi) = \begin{cases} \hat{e}_\theta \cos \theta \exp(-jkr) / r & ; \pi/4 \leq \theta \leq \pi/2 \\ 0 & ; \text{elsewhere} \end{cases}$$

- Trouver l'expression analytique de la puissance totale [watts] rayonnée par une telle antenne.
- Quelle est la directivité max. d'une telle antenne et pour quel angle  $\theta$  est-elle obtenue ?
- On connecte finalement l'antenne à un générateur de tension de 10 volt et d'impédance interne réelle  $Z_g = 50\Omega$ . Quelle est la puissance totale rayonnée par l'antenne?

Solution

- on obtient la puissance rayonnée totale en intégrant la norme au carré du vecteur de Poynting sur une sphère unité qui entoure l'antenne:

$$P_{tot} = \frac{1}{Z_c} \int_0^{2\pi} \int_{\pi/4}^{\pi/2} |E|^2 \sin \theta d\theta d\varphi$$

$$= \frac{2\pi}{Z_c} \int_{\pi/4}^{\pi/2} \cos^2 \theta \sin \theta d\theta = \frac{\pi}{3Z_c \sqrt{2}}$$

- La directivité maximale est obtenue pour  $\theta = \pi/4$ . On a la densité de puissance moyenne rayonnée

$$P_{iso} = \frac{1}{12Z_c \sqrt{2}}$$

On en déduit la directivité maximale :

$$D = 6\sqrt{2}$$

- On modélise le circuit comme deux résistances en série, et on cherche la Puissance dissipée dans le rayonnement par les lois de Kirchhoff

$$P_{tot} = 100 \left( \frac{10}{150} \right)^2 = 444 mW$$

**Exercice 2**

On considère une transmission à 5 GHz entre une station de base et un mobile dans un environnement urbain (considérez un path loss exponent de 3). L'émetteur (station de base) transmet 2W et a une antenne ayant un gain de 10dB. Le récepteur (mobile) a une antenne ayant une surface équivalente de 0.028 m<sup>2</sup>, et a besoin d'un rapport énergie par bit sur densité spectrale de bruit de 6.2dB au moins pour fonctionner correctement. Sachant que la température de bruit du système de réception (antenne + récepteur) est de 300K, quelle sera la distance maximale de transmission, sachant que le débit est de 10Mbits/sec ?

**Solution:**

Fréquence = 5 GHz =>  $\lambda = 0.06$  m.

Rb=10 Mbits/s

donc

Nom:

Sciper:

$$\eta = \frac{E_b}{N_0} = \frac{1}{R_b} \gamma \Rightarrow \gamma = \eta R_b$$

$$\gamma_{dBHz} = \eta_{dB} + 10 \log_{10} R = 76.2 dB$$

$$EIRP = GP_{tr}$$

$$EIRP|_{dBW} = 10 + 3 = 13 dBW$$

$$G_r = \frac{4\pi}{\lambda^2} A_r = 99.7 = 20 dB$$

$$\gamma|_{dBHz} = EIRP|_{dBW} - \alpha_0|_{dB} + 228.6 + G_R|_{dB} - 10 \cdot \log_{10} T_{op}$$

$$\alpha_0|_{dB} = EIRP|_{dBW} - \gamma|_{dBHz} + 228.6 + G_R|_{dB} - 10 \cdot \log_{10} T_{op}$$

$$\alpha_0|_{dB} = 13 - 76.2 + 228.6 + 20 - 10 \log_{10} 300 = 160.6$$

$$\alpha_0 = 1.1482 \cdot 10^{16}$$

$$\alpha_0 = \left( \frac{4\pi r}{\lambda} \right)^3$$

$$\frac{4\pi r}{\lambda} = 225597$$

$$r = 1077 m$$

### Exercice 3

Pour regarder dans une cavité industrielle où on fait croître des diamants industriels à l'aide d'un signal microonde à 6 GHz, on fait un petit trou circulaire dans une paroi de cette cavité. Pour atténuer que l'énergie microonde qui s'échappe par ce trou, on y soude un tube cylindrique creux d'une longueur de 10cm. Quelle devra être le diamètre de ce cylindre, si on souhaite une atténuation d'un facteur  $10^6$  du champ électrique sur la longueur du tube?

Nous voulons  $e^{-\alpha z} < 10^{-6}$  pour  $z=0.1$ , donc  $\alpha > 138 Np/m$ .

De plus,

$$\alpha = k_c \sqrt{1 - \left( \frac{\omega}{\omega_c} \right)^2} \quad \text{avec}$$

$$k_c = \frac{p'_{11}}{a} \quad \text{et} \quad \omega_c = \frac{p'_{11}}{a \sqrt{\epsilon \mu}} = \frac{p'_{11} c}{a}$$

$$c = 3 \cdot 10^8 [m/s] : \text{vitesse de la lumière}$$

Donc  $a \leq 9.9 \text{ mm}$

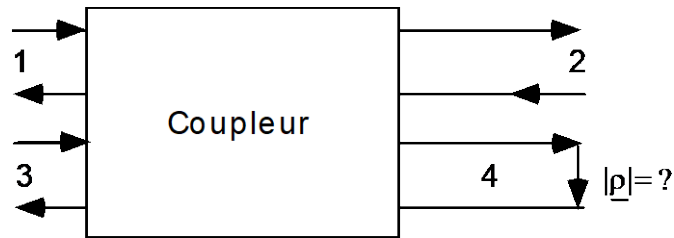
### Exercice 4

Soit un coupleur non idéal mais adapté à ses 4 accès, qui est caractérisé par un niveau de couplage LC=3dB et une isolation relativement mauvaise, LI=14dB, entre ses accès 1 et 3. On désire rendre cette isolation infinie en connectant une terminaison non-adaptée à l'accès 4 du coupleur. Quel doit

Nom:

Sciper:

être le module du coefficient de réflexion de cette terminaison ? (On demande la valeur exacte de ce module)



Le signal sortant de la porte 3 lorsque seule la porte 1 est excitée est donnée par:

$$b_3 = a_1 (S_{31} + S_{41} \rho S_{34})$$

On obtient une isolation infinie entre 1 et 3 donc  $b_3 = 0$ , en ajustant le coefficient de réflexion de la charge en quatre. On ne connaît pas les phases, mais on a  $|\rho| = \frac{|S_{31}|}{|S_{41}| |S_{34}|}$

La valeur numérique est donnée par :

$$|S_{31}| = 10^{-14/20} = 0,2 \quad |S_{41}| = 10^{-3/20} = 0,708 \quad |S_{34}| = \sqrt{1 - 0,708^2 - 0,2^2} = 0,677$$

$$\text{Et on obtient } |\rho| = \frac{0,2}{0,708 \cdot 0,677} = 0,417$$

Dans ce cas, comme l'isolation est mauvaise, on doit prendre en compte les signal transmis à la porte 4 en calculant les pertes d'insertion. Si on avait négligé ce terme, on aurait obtenu

$$|\rho| = \frac{0,2}{0,708 \cdot 0,708} = 0,4, \text{ qui est une approximation}$$