La propagation des ondes radioélectriques

Travaux Dirigés (Corrigés)

UTBM-2003-2004

7 – Gain et surface équivalente d'une antenne

Etant donnée une source isotrope placée en orbite géostationnaire à 36000 km de la Terre et alimentée avec une puissance de 100 W, calculer la densité de puissance qu'elle rayonnerait au niveau de la Terre.

La densité de puissance rayonnée est :

$$\frac{P_e}{4\pi d^2} = \frac{100}{4\pi\left(36.10^6\right)^2} = 0,614.10^{-14} W/m^2$$

Sachant qu'un satellite géostationnaire, dont l'émetteur à la même puissance, rayonne au niveau de la Terre une densité de puissance de 0,971. 10^{-10} W/m2, calculer le gain de son antenne en décibels.

Le gain de l'antenne est :

$$G = 10\log\frac{0,971.10^{-10}}{0,614.10^{-14}} = 42\,dB$$

Calculer la puissance d'alimentation d'une source isotrope nécessaire pour produire la même densité de puissance.

Cette puissance, encore appelée puissance isotrope rayonnée équivalente (P.I.R.E.) est :

$$PIRE = P_e G_e = 100.10^{4,2} = 1584,89kW$$

Calculer la surface équivalente d'une antenne de réception pour que la puissance fournie au récepteur soit de 10^{-11} Watt.

La surface équivalente Σ est donnée par :

$$\Sigma = \frac{P}{p} = \frac{10^{-11}}{0,971.10^{-10}} = 0,103\,m^2$$

Où :

- P est la puissance reçue
- p est la densité de puissance

En déduire la longueur d'onde utilisée sachant que le gain de l'antenne de réception est de 33 dB.

La longueur d'onde est déduite de :

$$\lambda^2 = \frac{4\pi\Sigma}{G} = \frac{4\pi.0{,}103}{10^{3,3}} = 4{,}093.10^{-4}\,m^2$$

$$\lambda = 2{,}02\,cm$$

8 – Le diagramme de rayonnement en champ d'une antenne est f(θ) =$\cos^8\theta$.

- Calculer son angle d'ouverture θ_{3dB} à 3 dB.
- Déterminer la valeur de sa fonction caractéristique de rayonnement en champ et en puissance pour un angle $\theta=2.\theta_{3dB}$. La fonction caractéristique est le rapport de la puissance dans une direction donnée par rapport à la puissance maximale.

Rappelons que pour un rapport de champ : $20\log\frac{1}{\sqrt{2}} = -3\,dB$

Recherchons donc les deux directions θ' et θ" qui sont solution de :

$$\cos^8\theta = 0{,}707 \rightarrow \cos\theta = 0{,}9576$$

On trouve : θ'=16,75° et θ"=16,75°

D'où $2.\theta_{3dB}$ = 33,5°

La fonction caractéristique en champ est donnée par :

$$f(\theta=33{,}5°)=\cos^8 33{,}5°=0{,}2338$$

La fonction caractéristique en puissance est donnée par:

$$r(\theta=33{,}5°)=0{,}2338^2=0{,}0547 \text{ soit } -12{,}62 \text{ dB}$$

9 - Zone de Fresnel

1 - Les fréquences étant exprimées en MHz, les distances en km, calculer à mi-parcours les rayons du premier, deuxième, troisième et quatrième ellipsoïde de Fresnel en mètres:

- pour une distance totale E-R égale à 40 km
- avec les fréquences 80, 400 et 2000 MHz

Le rayon du nième ellipsoïde de Fresnel est donné par la relation suivante:

$$r_n = \sqrt{\frac{n*\lambda*d_1*d_2}{d_1+d_2}} = r_1\sqrt{n}$$

$$r_1 = \sqrt{\frac{\lambda * d_1 * d_2}{d_1 + d_2}}$$

Ces dernières relations permettent d'obtenir les valeurs suivantes:

F(MHz)	d_1(km)	d_2(km)	r_1(m)	r_2(m)	r_3 (m)	r_4(m)
80	20	20	193,6	273,9	335,4	387,3
400	20	20	86,6	122,5	150	173,2
2000	20	20	38,7	54,8	67,1	77,5

Le rayon de l'ellipsoïde est inversement proportionnel à la distance. Plus la fréquence est basse, plus les hauteurs des antennes doivent être grandes.

2 - Pour les mêmes fréquences que précédemment, calculer les dimensions du premier ellipsoïde de Fresnel à 100 m d'une antenne assurant une liaison de plusieurs km. On suppose que $d_2 >> d_1$

A proximité de l'émetteur (ou du récepteur), c'est à dire avec d1<<d2 (ou d2<<d1), la relation donnant le rayon de l'ellipsoïde devient:

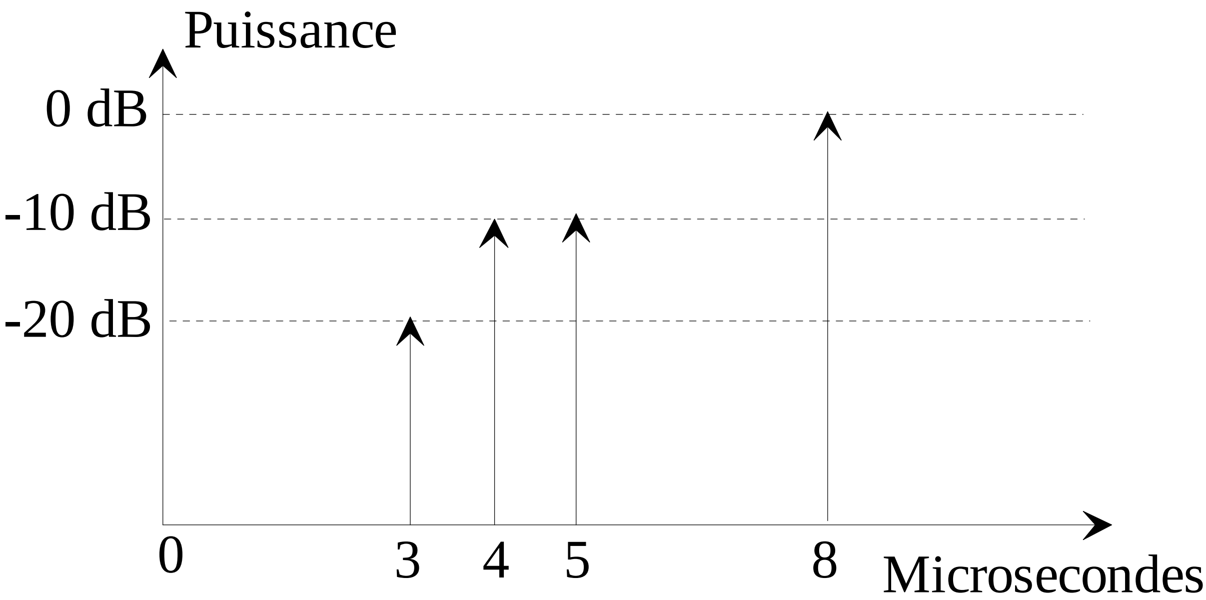
$$r_1 = \sqrt{\frac{\lambda * d_1 * d_2}{d_1 + d_2}} = \sqrt{\frac{\lambda * d_1 * d_2}{d_2 (1 + \frac{d_1}{d_2})}} = \sqrt{\frac{\lambda * d_1}{1 + \frac{d_1}{d_2}}} \simeq \sqrt{\lambda * d_1}$$

Pour les mêmes fréquences que précédemment, les dimensions du premier ellipsoïde de Fresnel à 100mètres d'une antenne assurant une liaison de plusieurs kilomètres.

F(MHz)	80	400	2000
r(m)	19,3	8,6	3,9

Le tableau ci-dessus montre que même à 2000 MHz, le dégagement du premier ellipsoïde de Fresnel d'une extrémité, ne sera pas obtenu dans le cas d'une station mobile dont la hauteur d'antenne est à moins de 3 mètres du sol.

10 - Calculer le retard moyen et la dispersion des retards pour le profil des multi trajets défini dans la figure ci-dessous. Déduire la bande de cohérence du canal de propagation
Remarque : Bande de cohérence* dispersion des retards = $1/2\pi$



Le retard moyen est donné par la relation suivante:

$$\overline{\tau} = \frac{\sum_k P(\tau_k) * \tau_k}{\sum_k P(\tau_k)}$$

Les délais sont mesurés par rapport au premier signal détectable arrivant au récepteur à $\tau_0 = 0$.
La correspondance entre les valeurs numériques de la puissance et les valeurs en dB est donnée par le tableau suivant:

0 dB	-10 dB	-20 dB
1	0,1	0,01

En remplaçant les lettres par leurs valeurs correspondantes nous avons:

$$\overline{\tau} = \frac{0,01*(3-3)+0,1*(4-3)+0,1*(5-3)+1*(8-3)}{0,01+0,1+0,1+1}$$

$$\overline{\tau} = \frac{0,01*(0)+0,1*(1)+0,1*(2)+1*(5)}{0,01+0,1+0,1+1} = \frac{5,3}{1,21} = 4,31\mu s$$

La dispersion des retards est donnée par la relation:

$$\sigma = \sqrt{\overline{\tau^2} - (\overline{\tau})^2}$$

$$\overline{\tau}^2 = \frac{\sum_k P(\tau_k) * \overline{\tau}_k^2}{\sum_k P(\tau_k)}$$

$$\overline{\tau}^2 = \frac{0,01*(0)^2 + 0,1*(1)^2 + 0,1*(2)^2 + 1*(5)^2}{0,01+0,1+0,1+1} = \frac{25,5}{1,21} = 21,07\mu s^2$$

$$\sigma = \sqrt{21,07-(4,31)^2} = 1,59\mu s$$

La bande de cohérence est donnée par la relation suivante:

$$B*\sigma = \frac{1}{2\pi}$$

$$B = \frac{1}{2\pi\sigma} = \frac{1}{2\pi*1,59} = 100097Hz \simeq 100kHz$$