

---

CONTROLE DE CONNAISSANCES des Etudiants 2<sup>ème</sup> année (EI2) 5 janvier 2015  
PHY4001 Contrôle final 1 – Durée : 1h30

**CORRIGE SUCINCT**

Document (Fascicule bleu donné en cours) et Calculatrices autorisés

---

NOM :

Prénom :

- Répondre impérativement dans l'espace prévu pour chaque question.
- **Toujours commenter et justifier les formules utilisées et le raisonnement suivi**
- Donner l'expression littérale du résultat avant de passer à l'application numérique.
- Clairement indiquer au début de l'application numérique, quelles valeurs sont utilisées en lieu et place des variables littérales.
- Impédance de référence = 50 Ohms

**Exercice 1** - Facteur de bruit

**A)** On doit relier une antenne à un récepteur par un câble d'atténuation 6 dB et un préamplificateur de gain 20dB et de facteur de bruit 2.1dB :

- Si le câble est en tête, donner le facteur de bruit total de la chaîne

$F_{\text{cable}}=6$   
 $F_{\text{ampli}}=2.1$   
 $\text{gain}_{\text{ampli}}=20$

$F_{\text{cable}}=10^{(6/10)}$ ;  
Cas particulier du composant passif, on déduit le gain à partir du facteur de bruit  
 $G_{\text{cable}}=10^{(-6/10)}$ ;

$F_{\text{ampli}}=10^{(2.1/10)}$ ;  
 $\text{gain}_{\text{ampli}}=10^{(20/10)}$ ;

$F_1=F_{\text{cable}}+(F_{\text{ampli}}-1)/G_{\text{cable}}$   
 $F_{1\text{db}}=10*\log_{10}(F_1)$

$F_1 = 6.45$  soit  $F_{1\text{db}} = 8.1$

- Si le préamplificateur est en tête, donner le facteur de bruit total de la chaîne

$F_2=F_{\text{ampli}}+(F_{\text{cable}}-1)/\text{gain}_{\text{ampli}}$   
 $F_{2\text{db}}=10*\log_{10}(F_2)$

$F_2 = 1.65$  soit  $F_{2\text{db}} = 2.2$

Conclure sur le choix à faire entre les deux architectures pour optimiser un système de transmission et justifiez.

La n°2 est plus appropriée car le facteur de bruit est meilleur, et d'après la formule de Friis, il vaut mieux si l'on peut placer en premier l'élément de plus faible facteur de bruit et de plus fort gain en premier dans la chaîne.

## **Exercice 2** - Paramètres S

### **Question 1]**

On considère la jonction définie par la matrice S suivante, relativement à une résistance  $Z_0$

$$\begin{bmatrix} 0 & -j/2 & -j\sqrt{3}/4 \\ -j/2 & 0 & 0 \\ -j\sqrt{3}/4 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Que pouvez-vous dire à propos de la matrice S de cette jonction ?  
Détailler et justifiez vos réponses.

- Quelle est le type de cette jonction ?

Hexapôle

- Est-elle adaptée à ses accès ?

Oui,  $S_{ii}=0$

- Est-elle réciproque ?

Oui  $s_{ij}=s_{ji}$

- Est-elle à gain, à pertes, sans pertes ?

$$\begin{bmatrix} 7/16 & 0 & 0 \\ 0 & 1/4 & \sqrt{3}/8 \\ 0 & \sqrt{3}/8 & 3/16 \end{bmatrix} \neq [1]$$

- Décrivez ce qui se passe lorsque l'on applique un signal aux différents accès de cette jonction

si on alimente au port 1 avec l'onde d'amplitude complexe  $a$  il vient :

$$\begin{bmatrix} 0 & -j/2 & -j\sqrt{3}/4 \\ -j/2 & 0 & 0 \\ -j\sqrt{3}/4 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ -ja/2 \\ -ja\sqrt{3}/4 \end{bmatrix}$$

Donc la puissance  $|a|^2$  à l'entrée est divisée en deux parts **non** égales sur les ports 2 et 3 avec un déphasage de  $-\pi/2$  par rapport au signal incident.

Notez que attaqué de la même façon au port 2 le résultat ne serait pas le même; ce dispositif ne peut être utilisé indifféremment en permutant circulairement les ports.

Un signal appliqué en 2 va vers 1 et pas vers 3

Un signal appliqué en 3 va vers 1 et pas vers 2

- Quelle matrice S (donnez les valeurs des paramètres S et la forme de matrice), correspondrait à une jonction qui répartirait la puissance appliquée au port 1 de manière égale sur les 2 autres voies, le fonctionnement de la jonction restant identique à celle que vous venez d'étudier.

Correction :

La puissance  $|a|^2$  à l'entrée est divisée en deux parts égales sur les ports 2 et 3 avec un

déphasage de  $-\pi/2$  par rapport au signal incident

$$\begin{bmatrix} 0 & -j/\sqrt{2} & -j/\sqrt{2} \\ -j/\sqrt{2} & 0 & 0 \\ -j/\sqrt{2} & 0 & 0 \end{bmatrix} \text{ et on a}$$

toujours A pertes  $s.s^{*} \neq 1$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1/2 & 1/2 \\ 0 & 1/2 & 1/2 \end{bmatrix} \neq [1]$$

**Exercice N°3** Non-Linéarités & bilan de liaison

Considérons un système de télécommunication GSM900. L'oscillateur (OL) utilisé pour générer les fréquences de ce système, génère la fréquence de fonctionnement du système

**f1 = 901 MHz**, à une puissance d'émission égale à **Pe<sub>f1</sub> = -3dBm**. Mais cet oscillateur génère une autre fréquence **f2 égale à 900MHz**, à une puissance égale à **Pe<sub>f2</sub> = -12 dBm**.

Ces signaux traversent un dispositif qui présente une non-linéarité d'ordre 3, comme décrit dans la figure 1 ci-dessous:

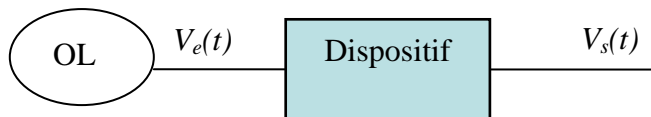


Figure 1 : chaîne considérée

En considérant un signal d'entrée de la forme :

$$V_e(t) = A_1 \cos 2\pi f_1 t + A_2 \cos 2\pi f_2 t$$

et la non linéarité du dispositif pouvant s'exprimer sous la forme:

$$V_s(t) = 30.V_e(t) + 0.5.V_e^2(t) - 0,7.V_e^3$$

**a)** Donner les expressions de toutes les fréquences (les produits d'intermodulation d'ordre pair et impair et les harmoniques) qui seront présents en sortie de ce dispositif ainsi que leurs valeurs.

**Correction**

D'après le cours (p27) nous pouvons déduire les différentes fréquences issues des effets de non-linéarité d'ordre 3 pour le cas du GSM 900:

Aux fréquences fondamentales :

f1= 901 MHz et f2 = 900 MHz

Aux fréquences harmoniques :

f3= 2\*f1=1802 MHz, f4= 2\*f2=1800MHz, **f5= 3\*f1=2703 MHz, f6= 3\*f2 = 2700MHz**

les produits d'intermodulation d'ordre 2 sont :

f7= f1-f2 = 1MHz

f8= f1+f2 = 1801 MHz

et les produits d'intermodulation d'ordre 3 sont :

f9= 2\*f1-f2= 902 MHz

**f11= 2\*f1+f2= 2702 MHz**

f10= 2\*f2-f1= 899 MHz

**f12= 2\*f2+f1 = 2701 MHz**

b) Considérons maintenant un autre système de communication (LTE 2.7) qui fonctionne à la fréquence de **2.7 GHz**.

La puissance d'émission est égale à **1W**, la distance séparant le récepteur de l'émetteur est de **10Km**.

La bande passante est égale à **2.5 MHz**, les gains de l'antenne d'émission et de réception sont de **0dB**.

- Calculer, pour ce système de télécommunication LTE 2.7, le bilan de liaison et le rapport signal à bruit (qui doit être positif)

**Correction:**

Longueur d'onde =  $c/f = 0,111m$  pour  $f = 2700MHz$

avec  $d=10Km$

Si  $P_e=1W$   $P_r = \frac{1*1*1*0,1111^2}{(4\pi 10000)^2} = 7.8e-013W \Rightarrow -dBW \Rightarrow -dBm$

Le bruit thermique pour ce système est :

$N = K.T.B = 1,38*10^{-23} * 290 * 2.5*10^6 = 1.0005e014W \Rightarrow -dBW \Rightarrow -dBm$

Le rapport signal à bruit est donc ici :

$Pr(GSM_{2700MHz})/N = 78.14$

$SNR_{1db} = 18.9$

- Considérons maintenant que l'émetteur GSM 900 qui génère toutes les fréquences déterminées en a) fonctionne à une distance de **10 mètres** du récepteur LTE 2.7. Calculer alors le rapport signal à bruit en détaillant votre réponse. Impédance de référence  $Z_0 = 50$  Ohms, le gain des antennes du GSM900 sont de **0dB**.

Les puissances d'entrées sont:

$P_{ef1} = -3dBm \Rightarrow 5.0119e-004 W$

$P_{ef2} = 0dBm \Rightarrow 1e-003 W$

Les amplitudes d'entrées correspondantes sont:

$A_1 = \sqrt{P_{ef1} * 50} = \sqrt{5.0119e-004 * 50} = 0.158V$

$A_2 = \sqrt{P_{ef2} * 50} = \sqrt{1e-003 * 50} = 0,23V$

La bande passante de 2.5 MHz ( $f_{LTE} \pm BP/2 \Rightarrow 2.699 \text{ à } 2.7013\text{MHz}$ ) implique que l'on reçoit les signaux à 2700 MHz, provenant du LTE 2.7 (signal utile) et du GSM900 (à  $3.f_2 = 2.7 \text{ GHz}$  signal parasite ici), ainsi que la fréquence à 2701 MHz provenant du GSM900 (signal parasite ici  $2*f_2 + f_1$ ).

Les puissances en sortie du dispositif non linéaire sont:

$$P_{f6} = P_s(3f_2) = \left( \frac{\alpha_3 A_2^3}{4} \right)^2 / 50 = 7.65 * 10^{-8} W \Rightarrow -71.16 dBW \Rightarrow -41.16 dBm$$

$$P_{f12} = P_s(2 * f_2 + f_1) = \left( \frac{3 \cdot \alpha_3 \cdot A_2^2 \cdot A_1}{4} \right)^2 / 50 = 3.45e - 007 W \Rightarrow -64.6 dBW = -34.1 dBm$$

$\Rightarrow$  Donc nous calculons le bilan de liaison pour ces deux fréquences ( $3f_2 = 2700\text{MHz}$  et  $2.f_2 + f_1 = 2701\text{MHz}$ ) à une distance de dix mètres :

$$P_{r6} = Pr(3f_2) = Pr(2700\text{MHz}) = \frac{10^{-7,1} * 1 * 1 * 0,111^2}{4\pi 10^2} = 5.98e - 14 W$$

$$\Rightarrow -132.23 dBW \Rightarrow -dBm$$

$$P_{r12} = Pr(2.f_2 + f_1) = Pr(2701\text{MHz}) = \frac{10^{-6,4} * 1 * 1 * 0,111^2}{4\pi 10^2} = 2.7e - 13 W$$

$$\Rightarrow -125.69 dBW \Rightarrow -dBm$$

$\Rightarrow$  Donc le rapport signal à bruit ici est :

**SNRfinal** =  $Pr(\text{LTE } 2.7) / (\sum Pr_{\text{GSM900}} + N)$  soit

$$Pr(\text{LTE } 2.7) / [(Pr(2.f_2 + f_1) + Pr(3.f_2)) + N] = 2.3 \Rightarrow \text{soit environ } 3.6 \text{ dB}$$

C)

Or le rapport signal à bruit pour que le système fonctionne doit être supérieur à 7 dB, Ce qui n'est pas le cas ici. Donc on perturbe le LTE 2.7, si on ne fait pas attention lors de la fabrication de l'émetteur du GSM900.