

Tous documents autorisés / 35 min

Le barème est donné à titre indicatif. Notation sur 10.

***Il sera tenu compte des justifications apportées à chaque réponse, ainsi que de la présentation.***

On s'intéresse aux performances radio d'un point d'accès Zigbee. Zigbee est un protocole haut niveau dédié aux communications radio faible portée et à consommation énergétique réduite (réseau Wireless Personal Area Network WPAN). Zigbee s'appuie sur la norme IEEE802.15.4 pour la spécification de l'interface radio et la couche MAC.

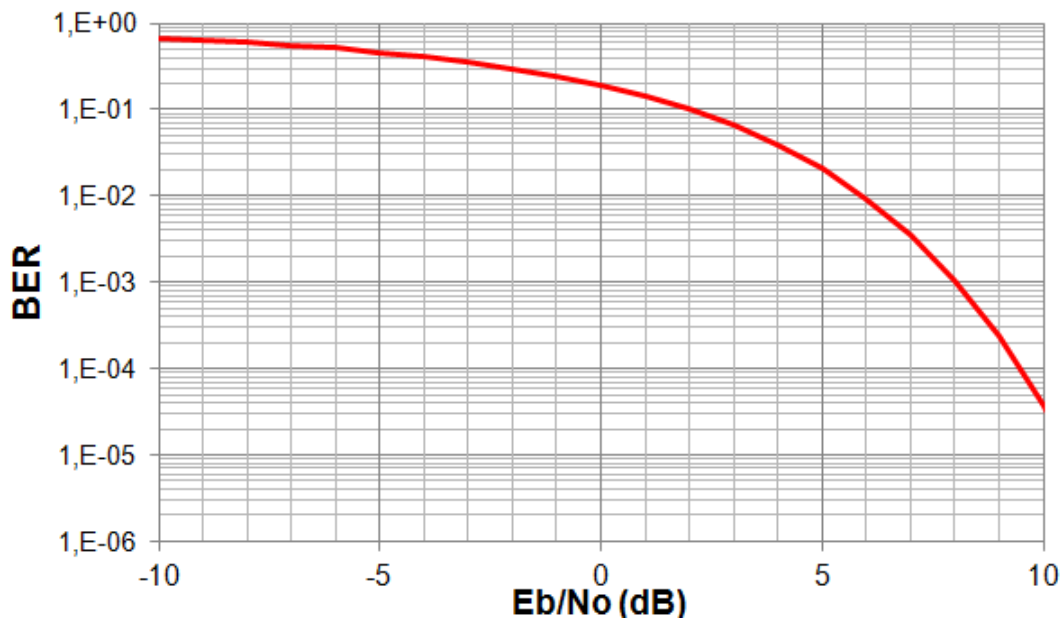
On considère ici l'interface radio OQPSK 2.4 GHz, dont les caractéristiques sont données ci-dessous



- Bande de fréquence : Bande ISM à 2.4 GHz (2400 - 2483 MHz)
- Modulation OQPSK (on pourra la supposer identique à la modulation QPSK)
- Débit binaire : 250 kbits/s
- Puissance électrique de l'émetteur : 0 dBm
- Gain antenne émission / réception : 0 dB
- Pertes à l'émission/réception : 3 dB
- Noise Figure : 8 dB
- BER maximal : 0.01 %

Avant d'être transmis, le signal binaire est d'abord étalé par DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum), donnant un signal avec un débit de symbole de 1 MBds. Ces symboles sont ensuite utilisés par le modulateur QPSK.

Dans la suite, on suppose que le système fonctionne à température ambiante. On considère que le canal de transmission est AWGN. Ci-dessous, la relation théorique entre le taux d'erreur binaire et le rapport signal à bruit par bit dans un canal AWGN pour un signal modulé en OQPSK.



1. Le signal étalé est mis en forme à l'aide d'un filtre à cosinus surélevé avec un coefficient de raidissement  $r$  égal à 0.22. Quelle est la bande passante nécessaire pour transmettre le signal après modulation ? (1.5 pts)

*Avec un filtre en cosinus surélevé, la bande passante nécessaire (en bande de base)  $B = M/2*(1+r)$ , où  $M$  est le débit de symbole issu de la modulation QPSK (donc  $10^6/2 = 500$  kBds)  $\rightarrow B = 5.10^5/2*(1+0.22) = 305$  kHz. Après modulation, le spectre de base est transposé autour de la fréquence porteuse, donc la bande passante nécessaire double :  $2*305$  kHz = 610 kHz.*

2. Quel est le rapport  $E_b/N_0$  minimum pour assurer la contrainte sur le taux d'erreur binaire ? (1 pt)

*$BER < 0.01\% \rightarrow E_b/N_0 > 9.5$  dB*

3. Calculez le rapport signal à bruit minimum pour assurer la contrainte sur le taux d'erreur binaire. (1 pt)

*$SNR = E_b/N_0 + 10\log(D/B)$ , avec  $D$  le débit binaire et  $B$  la bande passante  
 $SNR > 9.5 + 10\log(250.10^3/610.10^3) = 9.5 - 3.9 = 5.6$  dB*

4. Compléter le bilan de liaison ci-dessous et donnez la perte de propagation maximum. La colonne Justifications indique le calcul employé. (5 pts)

	Valeurs	Justifications
<b>Emetteur</b>		
Puissance électrique $P_e$ (dBm)	0	
Gain antenne émettrice $G_e$ (dB)	0	
Pertes émetteur $L_e$ (dB)	3	
PIRE (dBm)	-3	$P_e + G_e - L_e$

	Valeurs	Justifications
<b>Récepteur</b>		
Densité de bruit thermique $n_0$ (dBm/Hz)	-174	$k*T$ pour $T = 300$ K

Noise Figure NF (dB)	8	
Seuil de bruit récepteur No (dBm)	-108	$-174+10*\log(B)+NF$
SNR (dB) (BER < 0.01 %)	5.6	
Gain antenne réception Gr(dB)	0	
Pertes récepteur Lr (dB)	3	
Seuil de réception Pmin (dBm)	-99	$No+SNR-Gr+Lr$ (-99.4 arrondi à -99)
<b>Pertes de propagation max. Lp (dB)</b>	<b>96</b>	<b>PIRE-Pmin</b>

5. La présence d'un signal interférent à proximité d'un récepteur Zigbee induit une puissance de -85 dBm (mesure en sortie d'antenne). Que devient alors la perte de propagation maximale ? (1.5 pts)

*Dans le bilan de liaison, la puissance minimum de réception, mesurée en entrée de l'antenne et liée au bruit thermique du récepteur, était de -99 dBm. Le signal interférent s'ajoute à ce bruit thermique. Néanmoins, l'interférence ayant une puissance 15 dB au-dessus de la puissance du bruit thermique, l'interférence est prédominante et on peut négliger le bruit thermique. Le seuil de réception du récepteur est donc de -85 dBm. En supposant que l'interférence est gaussienne (hypothèse canal AWGN), la relation entre le BER et le SNR ne change pas. Tant que le SNR est de 0 dB, on assure un BER < 0.01 %. La perte de propagation devient :  $-3-(-85) = 82$  dB.*