

Control de Comunicacions Òptiques

Grup 30 - 1 de Juny de 2007

Temps : 1h 15'

Nom:

TEST (6 punts)

Marqueu la resposta correcta. Cada resposta correcta suma 0,4 punts mentre que cada resposta errònia resta 0,1 punts.

1. La relació entre el corrent que lliura el fotodetector i la potència òptica incident és:
 - a. L'eficiència quàntica
 - b. La responsivitat**
 - c. La resposta quàntica
 - d. L'efectivitat
2. Comparant el fotodetector APD amb el PIN:
 - a. La responsivitat és major però l'ample de banda és inferior**
 - b. La responsivitat és inferior però l'ample de banda és major
 - c. Tant la responsivitat com l'ample de banda són superiors
 - d. Tant la responsivitat com l'ample de banda són inferiors
3. La tensió d'alimentació en els fotodetectors és:
 - a. Positiva en el PIN i negativa en l'APD
 - b. Negativa en el PIN i positiva en l'APD
 - c. Positiva tant en el PIN com en l'APD
 - d. Negativa tant en el PIN com en l'APD**
4. El número de fotons que arriben al fotodetector (assumint llum coherent i potència òptica constant) en un temps d'integració T segueix una estadística de:
 - a. Bose-Einstein
 - b. Poisson**
 - c. Gauss
 - d. Planck
5. La relació senyal a soroll quan es té un fotodetector PIN ideal (assumint llum coherent i potència òptica constant) es correspon amb:
 - a. El número mitjà de fotons per bit "1" que arriben al fotodetector**
 - b. El número mitjà de fotons per bit "1" que arriben al fotodetector elevat al quadrat
 - c. El número mitjà de fotons per bit "1" que arriben al fotodetector dividit per la seva desviació tipus
 - d. El número mitjà de fotons per bit "1" que arriben al fotodetector elevat al quadrat dividit per la seva desviació tipus
6. En un procés de fotodetecció emprant un PIN:
 - a. Sempre domina el soroll tèrmic
 - b. Sempre domina el soroll shot
 - c. Quan la potència òptica del senyal és elevada domina el soroll tèrmic mentre que quan la potència és reduïda domina el soroll shot
 - d. Quan la potència òptica del senyal és reduïda domina el soroll tèrmic mentre que quan la potència és elevada domina el soroll shot**
7. En un procés de fotodetecció emprant un APD:
 - a. Si el factor multiplicatiu (M) creix, es redueix la influència del soroll shot mentre que la influència del soroll tèrmic augmenta
 - b. Si el factor multiplicatiu (M) creix, es redueix la influència del soroll tèrmic mentre que la influència del soroll shot augmenta**
 - c. Si el factor multiplicatiu (M) creix, es redueix la influència del soroll tèrmic mentre que la influència del soroll shot es manté
 - d. Si el factor multiplicatiu (M) creix, es redueix la influència del soroll shot mentre que la influència del soroll tèrmic es manté

8. En una detecció coherent emprant un fotodiode PIN, el soroll dominant és:
 - a. El soroll tèrmic
 - b. El soroll shot**
 - c. El soroll d'emissió espontània
 - d. Cap dels anteriors
9. En un procés de fotodetecció d'un senyal NRZ emprant un PIN ideal, la sensibilitat per una probabilitat d'error 10^{-9} és (en fotons promig per bit):
 - a. 36 fotons/bit
 - b. 20 fotons/bit
 - c. 18 fotons/bit
 - d. 10 fotons/bit**
10. En un procés de fotodetecció estàndard:
 - a. La variància dels "1" és major que la variància dels "0"**
 - b. La variància dels "1" és menor que la variància dels "0"
 - c. La variància dels "1" és igual que la variància dels "0"
 - d. La variància dels "0" és zero
11. Assumint una estadística Gaussiana, la relació entre el factor de qualitat Q i la relació senyal a soroll és:
 - a. $Q^2 = \text{SNR}$ quan domina el soroll shot i $Q^2 = \text{SNR}/4$ quan domina el soroll tèrmic**
 - b. $Q^2 = \text{SNR}$ quan domina el soroll tèrmic i $Q^2 = \text{SNR}/4$ quan domina el soroll shot
 - c. $Q^2 = \text{SNR}$ sempre
 - d. $Q^2 = \text{SNR}/4$ sempre
12. Per a detectar un senyal RZ ideal es disposa d'un receptor amb fotodetector del tipus PIN amb eficiència quàntica unitat i corrent de foscort menyspreable. Treballant amb una probabilitat d'error de 10^{-9} , el receptor presenta una variància del soroll tèrmic 100 vegades superior a la de soroll shot. Aplicant les aproximacions que considereu justificades, determineu el nombre de fotons promig rebuts per bit.
 - a. 14.400 fotons/bit
 - b. 7.200 fotons/bit
 - c. 3.600 fotons/bit**
 - d. 1.800 fotons/bit
13. Un fotodiode PIN operant en condicions de límit quàntic (absència de soroll tèrmic i corrent de foscort, i eficiència quàntica unitat), presenta una probabilitat d'error $P(E) = 10^{-10}$ treballant a una longitud d'ona $\lambda = 1.3 \mu\text{m}$. El senyal rebut està en format NRZ amb nivell de potència dels "1" P i nivell nul de potència dels "0". Quina és la probabilitat d'error quan $\lambda = 0.87 \mu\text{m}$?:
 - a. $P(E) = 3.2 \cdot 10^{-15}$
 - b. $P(E) = 1.6 \cdot 10^{-15}$
 - c. $P(E) = 3.2 \cdot 10^{-7}$
 - d. $P(E) = 1.6 \cdot 10^{-7}$**
14. Un fotodiode APD que opera a tercera finestra ($\lambda = 1.55 \mu\text{m}$) té una eficiència quàntica $\eta = 0.75$ i un factor de soroll constant $F = 2$. El dispositiu detecta un senyal ideal que segueix el format NRZ al una velocitat de transmissió $R_B = 2.5 \text{ Gb/s}$. Suposant absència de soroll tèrmic i corrent de foscort nul, per a obtenir una probabilitat d'error de 10^{-9} , la potència mitjana mínima necessària és:
 - a. -78 dBm
 - b. -75 dBm
 - c. -48 dBm**
 - d. -45 dBm
15. Sigui un sistema de transmissió digital PSK homodí la longitud del qual no està limitada per la dispersió de la fibra. Si l'atenuació de la fibra és de 0.3 dB/Km, quan la velocitat de transmissió es duplica, la longitud màxima de l'enllaç:
 - a. Augmenta en 10 Km
 - b. Disminueix en 10 Km**
 - c. Augmenta en 10 m
 - d. Disminueix en 10 m

Control de Comunicacions Òptiques

Grup 30 - 1 de Juny de 2007

Temps : 1h 15'

Nom:

TEST (6 punts)

Marqueu la resposta correcta. Cada resposta correcta suma 0,4 punts mentre que cada resposta errònia resta 0,1 punts.

1. Segui un sistema de transmissió digital PSK homodí la longitud del qual no està limitada per la dispersió de la fibra. Si l'atenuació de la fibra és de 0.3 dB/Km, quan la velocitat de transmissió es duplica, la longitud màxima de l'enllaç:
 - a. Augmenta en 10 m
 - b. Disminueix en 10 m
 - c. Augmenta en 10 Km
 - d. Disminueix en 10 Km**
2. Un fotodiode APD que opera a tercera finestra ($\lambda=1.55 \mu\text{m}$) té una eficiència quàntica $\eta=0.75$ i un factor de soroll constant $F=2$. El dispositiu detecta un senyal ideal que segueix el format NRZ al una velocitat de transmissió $R_B=2.5 \text{ Gb/s}$. Suposant absència de soroll tèrmic i corrent de fosc nul, per a obtenir una probabilitat d'error de 10^{-9} , la potència mitjana mínima necessària és:
 - a. -48 dBm**
 - b. -45 dBm
 - c. -78 dBm
 - d. -75 dBm
3. Un fotodiode PIN operant en condicions de límit quàntic (absència de soroll tèrmic i corrent de fosc, i eficiència quàntica unitat), presenta una probabilitat d'error $P(E)=10^{-10}$ treballant a una longitud d'ona $\lambda=1.3 \mu\text{m}$. El senyal rebut està en format NRZ amb nivell de potència dels "1" P i nivell nul de potència dels "0". Quina és la probabilitat d'error quan $\lambda=0.87 \mu\text{m}$?:
 - a. $P(E)=3.2 \cdot 10^{-7}$
 - b. $P(E)=1.6 \cdot 10^{-7}$**
 - c. $P(E)=3.2 \cdot 10^{-15}$
 - d. $P(E)=1.6 \cdot 10^{-15}$
4. Per a detectar un senyal RZ ideal es disposa d'un receptor amb fotodetector del tipus PIN amb eficiència quàntica unitat i corrent de fosc menyspreable. Treballant amb una probabilitat d'error de 10^{-9} , el receptor presenta una variància del soroll tèrmic 100 vegades superior a la de soroll shot. Aplicant les aproximacions que considereu justificades, determineu el nombre de fotons promig rebuts per bit.
 - a. 3.600 fotons/bit**
 - b. 1.800 fotons/bit
 - c. 14.400 fotons/bit
 - d. 7.200 fotons/bit
5. Assumint una estadística Gaussiana, la relació entre el factor de qualitat Q i la relació senyal a soroll és:
 - a. $Q^2=\text{SNR}$ sempre
 - b. $Q^2=\text{SNR}/4$ sempre
 - c. $Q^2=\text{SNR}$ quan domina el soroll shot i $Q^2=\text{SNR}/4$ quan domina el soroll tèrmic**
 - d. $Q^2=\text{SNR}$ quan domina el soroll tèrmic i $Q^2=\text{SNR}/4$ quan domina el soroll shot
6. En un procés de fotodetecció estàndard:
 - a. La variància dels "1" és igual que la variància dels "0"
 - b. La variància dels "0" és zero
 - c. La variància dels "1" és major que la variància dels "0"**
 - d. La variància dels "1" és menor que la variància dels "0"

7. En un procés de fotodetecció d'un senyal NRZ emprant un PIN ideal, la sensibilitat per una probabilitat d'error 10^{-9} és (en fotons promig per bit):
- 18 fotons/bit
 - 10 fotons/bit**
 - 36 fotons/bit
 - 20 fotons/bit
8. En una detecció coherent emprant un fotodiode PIN, el soroll dominant és:
- El soroll d'emissió espontània
 - El soroll tèrmic
 - El soroll shot**
 - Cap dels anteriors
9. En un procés de fotodetecció emprant un APD:
- Si el factor multiplicatiu (M) creix, es redueix la influència del soroll tèrmic mentre que la influència del soroll shot es manté
 - Si el factor multiplicatiu (M) creix, es redueix la influència del soroll shot mentre que la influència del soroll tèrmic es manté
 - Si el factor multiplicatiu (M) creix, es redueix la influència del soroll shot mentre que la influència del soroll tèrmic augmenta
 - Si el factor multiplicatiu (M) creix, es redueix la influència del soroll tèrmic mentre que la influència del soroll shot augmenta**
10. En un procés de fotodetecció emprant un PIN:
- Quan la potència òptica del senyal és elevada domina el soroll tèrmic mentre que quan la potència és reduïda domina el soroll shot
 - Quan la potència òptica del senyal és reduïda domina el soroll tèrmic mentre que quan la potència és elevada domina el soroll shot**
 - Sempre domina el soroll tèrmic
 - Sempre domina el soroll shot
11. La relació senyal a soroll quan es té un fotodetector PIN ideal (assumint llum coherent i potència òptica constant) es correspon amb:
- El número mitjà de fotons per bit "1" que arriben al fotodetector dividit per la seva desviació tipus
 - El número mitjà de fotons per bit "1" que arriben al fotodetector elevat al quadrat dividit per la seva desviació tipus
 - El número mitjà de fotons per bit "1" que arriben al fotodetector**
 - El número mitjà de fotons per bit "1" que arriben al fotodetector elevat al quadrat
12. El número de fotons que arriben al fotodetector (assumint llum coherent i potència òptica constant) en un temps d'integració T segueix una estadística de:
- Gauss
 - Planck
 - Bose-Einstein
 - Poisson**
13. La tensió d'alimentació en els fotodetectors és:
- Positiva tant en el PIN com en l'APD
 - Negativa tant en el PIN com en l'APD**
 - Positiva en el PIN i negativa en l'APD
 - Negativa en el PIN i positiva en l'APD
14. Comparant el fotodetector APD amb el PIN:
- Tant la responsivitat com l'ample de banda són superiors
 - Tant la responsivitat com l'ample de banda són inferiors
 - La responsivitat és major però l'ample de banda és inferior**
 - La responsivitat és inferior però l'ample de banda és major
15. La relació entre el corrent que lliura el fotodetector i la potència òptica incident és:
- La resposta quàntica
 - L'efectivitat
 - L'eficiència quàntica
 - La responsivitat**

PROBLEMA (4 punts)

Considereu un receptor òptic basat en un APD que és l'encarregat de detectar un senyal digital amb modulació d'intensitat i format NRZ. Assumint que el fotodiode presenta un factor de soroll F i un corrent de foscó menyspreable, es demana:

- Seguint el requeriment de qualitat donat pel paràmetre Q , trobeu l'expressió de la potència òptica mitjana mínima que garanteix les especificacions de qualitat de la recepció (sensibilitat del sistema).
- Assumint ara que el factor de soroll del fotodiode segueix l'expressió $F(M) = M^x$ ($0.2 < x < 1$), trobeu el valor òptim del guany M_{opt} que maximitza la sensibilitat del receptor.
- Determineu la millora de la sensibilitat que s'ha aconseguit respecte el cas amb fotodetector PIN. Assumiu que en aquest cas domina el soroll tèrmic.

Resolució

- a) En el procés de detecció tenim que els valors mitjos i les variàncies dels corrents són els següents:

$$\begin{aligned} I_1 &= M\mathfrak{R}P_1 & I_0 &= 0 \\ \sigma_1^2 &= 2qBM^2F(M)\mathfrak{R}P_1 + \sigma_T^2 & \sigma_0^2 &= \sigma_T^2 \end{aligned}$$

On hem assumit que el corrent de foscó és menyspreable. Ara, el factor de qualitat quedarà de la manera següent:

$$Q_{APD} \equiv \frac{I_1 - I_0}{\sigma_1 + \sigma_0} = \frac{M\mathfrak{R}P_1}{\sqrt{2qBM^2F(M)\mathfrak{R}P_1 + \sigma_T^2} + \sigma_T}$$

Per tant, si es vol que la qualitat del sistema estigui per sobre d'un cert valor mínim preestablert (Q), el que ha de succeir és:

$$\frac{M\mathfrak{R}P_1}{\sqrt{2qBM^2F(M)\mathfrak{R}P_1 + \sigma_T^2} + \sigma_T} \geq Q$$

Ara només cal aïllar la potència òptica:

$$\begin{aligned} \sqrt{2qBM^2F(M)\mathfrak{R}P_1 + \sigma_T^2} + \sigma_T &\leq \frac{M\mathfrak{R}P_1}{Q} \\ 2qBM^2F(M)\mathfrak{R}P_1 + \cancel{\sigma_T^2} &\leq \left(\frac{M\mathfrak{R}P_1}{Q} - \sigma_T \right)^2 = \left(\frac{M\mathfrak{R}P_1}{Q} \right)^2 + \cancel{\sigma_T^2} - 2\frac{M\mathfrak{R}P_1}{Q}\sigma_T \\ 2qBM^2F(M) &\leq \frac{M\mathfrak{R}P_1}{Q^2} - 2\frac{\sigma_T}{Q} \quad \longrightarrow \quad P_1 \geq 2Q^2qB\frac{F(M)}{\mathfrak{R}} + 2Q\frac{\sigma_T}{M\mathfrak{R}} \end{aligned}$$

Finalment, la potència mitjana ve determinada pel promig entre els bits "1" i "0":

$$\bar{P} \equiv \frac{1}{2}(P_1 + P_0) = \frac{1}{2}P_1 \quad \longrightarrow \quad \bar{P} \geq Q^2qB\frac{F(M)}{\mathfrak{R}} + Q\frac{\sigma_T}{M\mathfrak{R}} \equiv S$$

- b) Ara assumint que el factor de soroll presenta una dependència del guany del fotodetector com $F(M)=M^x$ ($0.2 < x < 1$), es pot optimitzar la sensibilitat:

$$F(M) = M^x \longrightarrow S = Q^2 qB \frac{M^x}{\mathfrak{R}} + Q \frac{\sigma_T}{M \mathfrak{R}}$$

$$\frac{\partial S}{\partial M} = Q^2 x qB \frac{M^{x-1}}{\mathfrak{R}} - Q \frac{\sigma_T}{M^2 \mathfrak{R}} = 0 \longrightarrow M_{\text{OPT}}^{x+1} = \frac{\sigma_T}{Q x qB}$$

Per tal de veure si es tracta d'un mínim nomès cal analitzar la funció: es tracta d'una funció monòtona i positiva que tendeix a infinit tant per valors grans de M com per valors petits, per tant el valor trobat ha de ser un mínim.

Una manera alternativa és avaluar la segona derivada i veure quan és positiva:

$$\frac{\partial^2 S}{\partial M^2} = Q^2 x(x-1) qB \frac{M^{x-2}}{\mathfrak{R}} + 2Q \frac{\sigma_T}{M^3 \mathfrak{R}} > 0$$

$$Q^2 x(x-1) \frac{qB}{\mathfrak{R}} \left[\frac{\sigma_T}{Q x qB} \right]^{\frac{x-2}{x+1}} + 2Q \frac{\sigma_T}{\mathfrak{R}} \left[\frac{Q x qB}{\sigma_T} \right]^{\frac{3}{x+1}} > 0$$

$$2\sigma_T \left[\frac{Q x qB}{\sigma_T} \right]^{\frac{3}{x+1}} > -Q x(x-1) qB \left[\frac{\sigma_T}{Q x qB} \right]^{\frac{x-2}{x+1}} = Q x(1-x) qB \left[\frac{\sigma_T}{Q x qB} \right]^{\frac{x-2}{x+1}}$$

$$Q x(1-x) qB \left[\frac{\sigma_T}{Q x qB} \right]^{\frac{x-2}{x+1}} < 2\sigma_T \left[\frac{Q x qB}{\sigma_T} \right]^{\frac{3}{x+1}}$$

$$Q x(1-x) qB \left[\frac{\sigma_T}{Q x qB} \right]^{\frac{x-2}{x+1} + \frac{3}{x+1}} < 2\sigma_T \longrightarrow 1-x < 2 \longrightarrow x > -1 \text{ (sempre)}$$

- c) En el cas del PIN quan domina el soroll tèrmic tenim:

$$\begin{aligned} I_1 &= \mathfrak{R} P_1 & I_0 &= 0 \\ \sigma_1^2 &\approx \sigma_T^2 & \sigma_0^2 &= \sigma_T^2 \end{aligned}$$

Per tant:

$$Q_{\text{PIN}} \equiv \frac{I_1 - I_0}{\sigma_1 + \sigma_0} \approx \frac{\mathfrak{R} P_1}{2\sigma_T} \geq Q \longrightarrow P_1 \geq 2Q \frac{\sigma_T}{\mathfrak{R}} \longrightarrow \bar{P} \geq Q \frac{\sigma_T}{\mathfrak{R}} = S_{\text{PIN}}$$

Ara només cal substituir la M òptima a l'expressió de la sensibilitat de l'APD i comparar:

$$\begin{aligned}
S_{\text{OPT}} &= \frac{Q^2 qB}{\Re} \left[\frac{\sigma_T}{QxqB} \right]^{\frac{x}{x+1}} + Q \frac{\sigma_T}{\Re} \left[\frac{QxqB}{\sigma_T} \right]^{\frac{1}{x+1}} \\
&= Q \frac{\sigma_T}{\Re} \left\{ \frac{QqB}{\sigma_T} \left[\frac{\sigma_T}{QxqB} \right]^{\frac{x}{x+1}} + \left[\frac{QxqB}{\sigma_T} \right]^{\frac{1}{x+1}} \right\} = Q \frac{\sigma_T}{\Re} \left\{ \left[\frac{1}{x} \right]^{\frac{x}{x+1}} \left[\frac{\sigma_T}{QqB} \right]^{\frac{x}{x+1}-1} + x^{\frac{1}{x+1}} \left[\frac{QqB}{\sigma_T} \right]^{\frac{1}{x+1}} \right\} = \\
&Q \frac{\sigma_T}{\Re} \left\{ \left[\frac{1}{x} \right]^{\frac{x}{x+1}} \left[\frac{QqB}{\sigma_T} \right]^{\frac{1}{x+1}} + x^{\frac{1}{x+1}} \left[\frac{QqB}{\sigma_T} \right]^{\frac{1}{x+1}} \right\} = Q \frac{\sigma_T}{\Re} \left[\frac{QqB}{\sigma_T} \right]^{\frac{1}{x+1}} \left\{ \left[\frac{1}{x} \right]^{\frac{x}{x+1}} + x^{\frac{1}{x+1}} \right\} = \\
&= Q \frac{\sigma_T}{\Re} \underbrace{\left[\frac{QqB}{\sigma_T} \right]^{\frac{1}{x+1}} x^{\frac{1}{x+1}} \left\{ \frac{1}{x} + 1 \right\}}_K = K \cdot S_{\text{PIN}}
\end{aligned}$$

Per tant, per tal de millorar la sensibilitat del receptor cal que $K < 1$.