

Control de Comunicacions Òptiques

Grup 10 - 21 de Desembre 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.

- La relació entre el número mitjà d'electrons per unitat de temps que lliura el fotodetector i el número mitjà de fotons per unitat de temps incident és:
a. L'eficiència quàntica
b. La responsivitat
c. La resposta quàntica
d. L'efectivitat
- 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
- L'efecte allau d'un fotodetector APD és un efecte:
a. Electro-òptic
b. Òpto-elèctric
c. Elèctronic
d. Òptic
- 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
- Considerant un fotodetector APD amb eficiència quàntica unitat, sense soroll tèrmic, corrent de fosc nul i un factor de soroll F, la relació senyal a soroll (assumint llum coherent i potència òptica constant) és:
a. El número mitjà de fotons per bit dividit pel factor de soroll
b. El número mitjà de fotons per bit multiplicat pel factor de soroll
c. El número mitjà de fotons per bit dividit pel factor de soroll al quadrat
d. El número mitjà de fotons per bit multiplicat pel factor de soroll al quadrat
- 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
- En un procés de fotodetecció en el que domina el soroll tèrmic:
a. La variància dels "1" és manifestament major que la variància dels "0"
b. La variància dels "1" és manifestament menor que la variància dels "0"
c. La variància dels "1" és pràcticament igual que la variància dels "0"
d. La variància dels "0" és zero
- Assumint una estadística Gaussiana, la relació entre el factor de qualitat Q i la SNR és:
a. $Q^2 \approx \text{SNR}$ quan domina el soroll shot i $Q^2 \approx \text{SNR}/4$ quan domina el soroll tèrmic
b. $Q^2 \approx \text{SNR}$ quan domina el soroll tèrmic i $Q^2 \approx \text{SNR}/4$ quan domina el soroll shot
c. $Q^2 \approx \text{SNR}$ sempre
d. $Q^2 \approx \text{SNR}/4$ sempre

9. La sensibilitat en una detecció heterodina és:
- 6 dB millor que en la detecció homodina
 - 6 dB pitjor que en la detecció homodina
 - 3 dB millor que en la detecció homodina
 - 3 dB pitjor que en la detecció homodina**
10. La sensibilitat en una detecció PSK és:
- 6 dB millor que en una detecció ASK
 - 6 dB pitjor que en una detecció ASK
 - 3 dB millor que en una detecció ASK**
 - 3 dB pitjor que en una detecció ASK
11. Un fotodiode PIN operant en condicions de límit quàntic (absència de soroll tèrmic, corrent de fosc nul i eficiència quàntica unitat), presenta una probabilitat d'error $P(E)=10^{-10}$ treballant a una longitud d'ona $\lambda=0.87 \mu\text{m}$. 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 es duplica la potència rebuda?:
- $P(E)=2 \cdot 10^{-20}$**
 - $P(E)=(1/2)^{1/2} \cdot 10^{-20}$
 - $P(E)=2 \cdot 10^{-5}$
 - $P(E)=(1/2)^{1/2} \cdot 10^{-5}$
12. 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:
- Augmenta en 10 Km
 - Disminueix en 10 Km**
 - Augmenta en 10 m
 - Disminueix en 10 m
13. En un receptor òptic basat en un fotodiode APD es compleix que el factor de soroll segueix una funció $F(M) = M^x$ on M és el factor de guany del dispositiu. En aquestes condicions es pot trobar un valor òptim per al factor de guany que maximitza la SNR en recepció. L'expressió resultant, en funció de la variància de corrent de soroll tèrmic i de soroll shot, és la següent:
- $M_{\text{OPT}} = \left[2\sigma_T^2 / x \sigma_s^2 \right]^{\frac{1}{x+2}}$**
 - $M_{\text{OPT}} = \left[2\sigma_T^2 / x \sigma_s^2 \right]^{x+2}$
 - $M_{\text{OPT}} = \left[2\sigma_s^2 / x \sigma_T^2 \right]^{\frac{1}{x+2}}$
 - $M_{\text{OPT}} = \left[2\sigma_s^2 / x \sigma_T^2 \right]^{x+2}$
14. Seguint amb l'exercici anterior: Si el corrent de fosc és nul, l'expressió de la SNR maximitzada es pot posar en funció de la variància de corrent de soroll tèrmic i de soroll shot:
- $\text{SNR}_{\text{max}} = (\sigma_T^2)^{\frac{x+1}{x+2}} / (2qB)^2 [\sigma_s^2]^{\frac{x}{x+2}} \left((2/x)^{\frac{x}{x+2}} + (x/2)^{\frac{2}{x+2}} \right)$
 - $\text{SNR}_{\text{max}} = (\sigma_s^2)^{\frac{x+1}{x+2}} / (2qB)^2 [\sigma_T^2]^{\frac{x}{x+2}} \left((2/x)^{\frac{x}{x+2}} + (x/2)^{\frac{2}{x+2}} \right)$**
 - $\text{SNR}_{\text{max}} = (\sigma_T^2)^{\frac{x+1}{x+2}} / (2qB)^2 [\sigma_s^2]^{\frac{x}{x+2}} \left((x/2)^{\frac{x}{x+2}} + (2/x)^{\frac{2}{x+2}} \right)$
 - $\text{SNR}_{\text{max}} = (\sigma_s^2)^{\frac{x+1}{x+2}} / (2qB)^2 [\sigma_T^2]^{\frac{x}{x+2}} \left((x/2)^{\frac{x}{x+2}} + (2/x)^{\frac{2}{x+2}} \right)$
15. En un receptor òptic basat en un fotodiode APD s'ha optimitzat el factor de multiplicació ($F(M) = M^x$) per tal de maximitzar la SNR quan la potència òptica és P . Si la potència òptica passa de manera sobtada a ser αP , determineu l'expressió de la nova SNR (assumiu un corrent de fosc menyspreable):
- $\text{SNR}_{\alpha P}^{\text{APD}} = \text{SNR}_P^{\text{APD}} \alpha (x+2) / (x+2\alpha)$
 - $\text{SNR}_{\alpha P}^{\text{APD}} = \text{SNR}_P^{\text{APD}} \alpha (x+2\alpha) / (x+2)$
 - $\text{SNR}_{\alpha P}^{\text{APD}} = \text{SNR}_P^{\text{APD}} \alpha^2 (x+2) / (x+2\alpha)$**
 - $\text{SNR}_{\alpha P}^{\text{APD}} = \text{SNR}_P^{\text{APD}} \alpha^2 (x+2\alpha) / (x+2)$

Control de Comunicacions Òptiques

Grup 10 - 21 de Desembre 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.

- En un receptor òptic basat en un fotodiode APD es compleix que el factor de soroll segueix una funció $F(M) = M^x$ on M és el factor de guany del dispositiu. En aquestes condicions es pot trobar un valor òptim per al factor de guany que maximitza la SNR en recepció. L'expressió resultant, en funció de la variància de corrent de soroll tèrmic i de soroll shot, és la següent:
 - $M_{OPT} = [2\sigma_s^2/x\sigma_T^2]^{1/x+2}$
 - $M_{OPT} = [2\sigma_s^2/x\sigma_T^2]^{x+2}$
 - $M_{OPT} = [2\sigma_T^2/x\sigma_s^2]^{1/x+2}$**
 - $M_{OPT} = [2\sigma_T^2/x\sigma_s^2]^{x+2}$
- Seguint amb l'exercici anterior: Si el corrent de foscor és nul, l'expressió de la SNR maximitzada es pot posar en funció de la variància de corrent de soroll tèrmic i de soroll shot:
 - $SNR_{max} = (\sigma_s^2)^{2 \frac{x+1}{x+2}} / (2qB)^2 [\sigma_T^2]^{x/x+2} \left((x/2)^{x/x+2} + (2/x)^{2/x+2} \right)$
 - $SNR_{max} = (\sigma_T^2)^{2 \frac{x+1}{x+2}} / (2qB)^2 [\sigma_s^2]^{x/x+2} \left((x/2)^{x/x+2} + (2/x)^{2/x+2} \right)$
 - $SNR_{max} = (\sigma_T^2)^{2 \frac{x+1}{x+2}} / (2qB)^2 [\sigma_s^2]^{x/x+2} \left((2/x)^{x/x+2} + (x/2)^{2/x+2} \right)$
 - $SNR_{max} = (\sigma_s^2)^{2 \frac{x+1}{x+2}} / (2qB)^2 [\sigma_T^2]^{x/x+2} \left((2/x)^{x/x+2} + (x/2)^{2/x+2} \right)$**
- En un receptor òptic basat en un fotodiode APD s'ha optimitzat el factor de multiplicació ($F(M) = M^x$) per tal de maximitzar la SNR quan la potència òptica és P . Si la potència òptica passa de manera sobtada a ser αP , determineu l'expressió de la nova SNR (assumiu un corrent de foscor menyspreable):
 - $SNR_{\alpha P}^{APD} = SNR_P^{APD} \alpha^2 (x+2)/(x+2\alpha)$**
 - $SNR_{\alpha P}^{APD} = SNR_P^{APD} \alpha^2 (x+2\alpha)/(x+2)$
 - $SNR_{\alpha P}^{APD} = SNR_P^{APD} \alpha (x+2)/(x+2\alpha)$
 - $SNR_{\alpha P}^{APD} = SNR_P^{APD} \alpha (x+2\alpha)/(x+2)$
- 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:
 - Augmenta en 10 m
 - Disminueix en 10 m
 - Augmenta en 10 Km
 - Disminueix en 10 Km**
- Un fotodiode PIN operant en condicions de límit quàntic (absència de soroll tèrmic, corrent de foscor nul i eficiència quàntica unitat), presenta una probabilitat d'error $P(E)=10^{-10}$ treballant a una longitud d'ona $\lambda=0.87 \mu m$. 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 es duplica la potència rebuda?:
 - $P(E)=2 \cdot 10^{-5}$
 - $P(E)=(1/2)^{1/2} \cdot 10^{-5}$
 - $P(E)=2 \cdot 10^{-20}$**
 - $P(E)=(1/2)^{1/2} \cdot 10^{-20}$

6. La sensibilitat en una detecció PSK és:
 - a. **3 dB millor que en una detecció ASK**
 - b. 3 dB pitjor que en una detecció ASK
 - c. 6 dB millor que en una detecció ASK
 - d. 6 dB pitjor que en una detecció ASK
7. La sensibilitat en una detecció heterodina és:
 - a. 3 dB millor que en la detecció homodina
 - b. **3 dB pitjor que en la detecció homodina**
 - c. 6 dB millor que en la detecció homodina
 - d. 6 dB pitjor que en la detecció homodina
8. Assumint una estadística Gaussiana, la relació entre el factor de qualitat Q i la SNR és:
 - a. $Q^2 \approx \text{SNR}$ sempre
 - b. $Q^2 \approx \text{SNR}/4$ sempre
 - c. **$Q^2 \approx \text{SNR}$ quan domina el soroll shot i $Q^2 \approx \text{SNR}/4$ quan domina el soroll tèrmic**
 - d. $Q^2 \approx \text{SNR}$ quan domina el soroll tèrmic i $Q^2 \approx \text{SNR}/4$ quan domina el soroll shot
9. En un procés de fotodetecció en el que domina el soroll tèrmic:
 - a. **La variància dels "1" és pràcticament igual que la variància dels "0"**
 - b. La variància dels "1" és manifestament major que la variància dels "0"
 - c. La variància dels "1" és manifestament menor que la variància dels "0"
 - d. La variància dels "0" és zero
10. En un procés de fotodetecció emprant un PIN:
 - a. Quan la potència òptica del senyal és elevada domina el soroll tèrmic mentre que quan la potència és reduïda domina el soroll shot
 - b. **Quan la potència òptica del senyal és reduïda domina el soroll tèrmic mentre que quan la potència és elevada domina el soroll shot**
 - c. Sempre domina el soroll tèrmic
 - d. Sempre domina el soroll shot
11. Considerant un fotodetector APD amb eficiència quàntica unitat, sense soroll tèrmic, corrent de fosc nul i un factor de soroll F , la relació senyal a soroll (assumint llum coherent i potència òptica constant) és:
 - a. El número mitjà de fotons per bit dividit pel factor de soroll al quadrat
 - b. El número mitjà de fotons per bit multiplicat pel factor de soroll al quadrat
 - c. **El número mitjà de fotons per bit dividit pel factor de soroll**
 - d. El número mitjà de fotons per bit multiplicat pel factor de soroll
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:
 - a. Gauss
 - b. Planck
 - c. Bose-Einstein
 - d. **Poisson**
13. L'efecte allau d'un fotodetector APD és un efecte:
 - a. **Elèctric**
 - b. Òptic
 - c. Electro-òptic
 - d. Òpto-elèctric
14. Comparant el fotodetector APD amb el PIN:
 - a. Tant la responsivitat com l'ample de banda són superiors
 - b. Tant la responsivitat com l'ample de banda són inferiors
 - c. **La responsivitat és major però l'ample de banda és inferior**
 - d. La responsivitat és inferior però l'ample de banda és major
15. La relació entre el número mitjà d'electrons per unitat de temps que lliura el fotodetector i el número mitjà de fotons per unitat de temps incident és:
 - a. La resposta quàntica
 - b. **L'eficiència quàntica**
 - c. L'efectivitat
 - d. La responsivitat

PROBLEMA (4 punts)

En un sistema de transmissió digital NRZ per fibra òptica, on el receptor està basat en un fotodiode PIN més l'electrònica corresponent, existeix la possibilitat de substituir el fotodiode per un APD. Assumint que el corrent de foscó és nul, es demana:

- Donada una potència òptica rebuda constant, determineu la condició que ha de complir el factor de soroll de l'APD per tal de millorar la relació senyal a soroll (SNR).
- Donada una potència òptica rebuda constant, determineu la condició que ha de complir el factor de soroll de l'APD per tal de millorar la probabilitat d'error (BER).
- Comparant les condicions de l'apartat a i c, raoneu quina és més restrictiva.

Nota: Podeu assumir que el factor de multiplicació de l'APD és molt més gran que la unitat.

Resolució

a) Millora SNR en funció de $F(M)$ donada P :

$$SNR_{PIN} = \frac{(\mathfrak{R}P)^2}{2qB(\mathfrak{R}P + I_D) + \sigma_T^2} = \frac{(\mathfrak{R}P)^2}{2qB\mathfrak{R}P + \sigma_T^2}$$

$$SNR_{APD} = \frac{(\mathfrak{R}P)^2}{2qB(\mathfrak{R}P + I_D)F(M) + \frac{1}{M^2}\sigma_T^2} = \frac{(\mathfrak{R}P)^2}{2qB\mathfrak{R}PF(M) + \frac{1}{M^2}\sigma_T^2}$$

$$SNR_{APD} > SNR_{PIN}$$

$$\frac{(\mathfrak{R}P)^2}{2qB\mathfrak{R}PF(M) + \frac{1}{M^2}\sigma_T^2} > \frac{(\mathfrak{R}P)^2}{2qB\mathfrak{R}P + \sigma_T^2}$$

$$2qB\mathfrak{R}P + \sigma_T^2 > 2qB\mathfrak{R}PF(M) + \frac{1}{M^2}\sigma_T^2$$

$$F(M) < 1 + \frac{\sigma_T^2}{2qB\mathfrak{R}P} \left(1 - \frac{1}{M^2} \right) \approx 1 + \frac{\sigma_T^2}{2qB\mathfrak{R}P} = 1 + \frac{\sigma_T^2}{\sigma_{PH}^2}$$

$M \gg 1$

b) Millora BER en funció de F(M) donada P:

$$Q_{APD} \equiv \frac{I_1 - I_0}{\sigma_1 + \sigma_0} = \frac{M \cancel{\Re P_1}}{\sqrt{2qBM^2 F(M) \cancel{\Re P_1} + \sigma_T^2 + \sigma_T}} \quad \bar{P} \equiv \frac{1}{2}(P_1 + P_0)$$

$$Q_{PIN} = \frac{\cancel{\Re P_1}}{\sqrt{2qB \cancel{\Re P_1} + \sigma_T^2 + \sigma_T}}$$

$$\begin{aligned} Q_{APD} &> Q_{PIN} \\ \frac{M \cancel{\Re P_1}}{\sqrt{2qBM^2 F(M) \cancel{\Re P_1} + \sigma_T^2 + \sigma_T}} &> \frac{\cancel{\Re P_1}}{\sqrt{2qB \cancel{\Re P_1} + \sigma_T^2 + \sigma_T}} \\ M(\sqrt{2qB \cancel{\Re P_1} + \sigma_T^2 + \sigma_T}) &> \sqrt{2qBM^2 F(M) \cancel{\Re P_1} + \sigma_T^2 + \sigma_T} \\ M\sqrt{2qB \cancel{\Re P_1} + \sigma_T^2 + \sigma_T} (M-1) &> \sqrt{2qBM^2 F(M) \cancel{\Re P_1} + \sigma_T^2} \\ M^2 2qB \cancel{\Re P_1} + M^2 \sigma_T^2 + \underbrace{\sigma_T^2 (M-1)^2}_{\sigma_T^2 M^2 + \cancel{\sigma_T^2} - 2M\sigma_T^2} + 2\sigma_T M(M-1) \sqrt{2qB \cancel{\Re P_1} + \sigma_T^2} &> 2qBM^2 F(M) \cancel{\Re P_1} + \cancel{\sigma_T^2} \\ M^2 2qB \cancel{\Re P_1} + 2\sigma_T^2 M(M-1) + 2\sigma_T M(M-1) \sqrt{2qB \cancel{\Re P_1} + \sigma_T^2} &> 2qBM^2 F(M) \cancel{\Re P_1} \\ F(M) < 1 + \frac{2\sigma_T^2}{2qB \cancel{M^2} \cancel{\Re P_1}} \frac{M(M-1)}{\cancel{M(M-1)}} + 2\sigma_T \frac{M(M-1)}{\cancel{M(M-1)}} \frac{\sqrt{2qB \cancel{\Re P_1} + \sigma_T^2}}{2qB \cancel{M^2} \cancel{\Re P_1}} \\ &\approx 1 + \frac{2\sigma_T^2}{2qB \cancel{\Re P_1}} + 2\sigma_T \frac{\sqrt{2qB \cancel{\Re P_1} + \sigma_T^2}}{2qB \cancel{\Re P_1}} = 1 + \frac{2\sigma_T^2}{\sigma_{PH}^2} + 2\sigma_T \frac{\sqrt{\sigma_{PH}^2 + \sigma_T^2}}{\sigma_{PH}^2} \\ M &\gg 1 \end{aligned}$$

c) Comparant les dues condicions tenim:

$$\begin{aligned} SNR &\longrightarrow F < 1 + \frac{\sigma_T^2}{\sigma_{PH}^2} \equiv F_{SNR} \\ BER &\longrightarrow F < 1 + \frac{2\sigma_T^2}{\sigma_{PH}^2} + 2\sigma_T \frac{\sqrt{\cancel{\sigma_{PH}^2} + \sigma_T^2}}{\sigma_{PH}^2} \equiv F_{BER} \\ F_{SNR} &< F_{BER} \end{aligned}$$

Es pot apreciar com la condició de millora de la SNR és més restrictiva ja que exigeix un factor de soroll millor.