



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

SISTEMES DE RADIOFREQUÈNCIA I ÒPTICS

QP06

Examen 22.06.06 (repeca mínimos 1-6)

Las preguntas deben contestarse de forma clara, pero concisa, comenzando por las que os parezcan más sencillas y cortas de responder. Tiempo del examen: 90 minutos.

1. Fibra óptica: saber explicar su funcionamiento (propagación multimodo) y el concepto de dispersión intermodal en términos de óptica geométrica (rayos) y saber resolver ejemplos numéricos sencillos.

1. En una fibra óptica se define la diferencia relativa de índices en la forma $\Delta = (n_1 - n_2) / n_1$, donde n_1 es el índice de refracción del núcleo y n_2 el correspondiente al revestimiento.

a) (4p) Obtén, justificando todos los pasos, la expresión del ángulo de aceptación de la fibra. Expresa el resultado en términos de la diferencia relativa de índices Δ en el caso de que $|n_1 - n_2| \ll 1$.

En una fibra multimodo se sabe que cuando el rayo axial (según el eje) recorre 35.4 km, el rayo extremo (ángulo mayor posible compatible con la condición de reflexión total) recorre 36 km, lo que provoca que la duración de un pulso que viaja por la fibra aumente en 3 microsegundos.

b) (3p) Calcula el valor del índice de refracción del núcleo (n_1).

c) (3p) Un rayo (que no es el extremo) recorre un 1% más de distancia que el rayo axial. Calcula el ángulo con el que incide en la discontinuidad núcleo-vaina.

2. Fotones: recordar sus propiedades básicas, los procesos de absorción y emisión, su interacción con un gas y con un EDFA (espectros de emisión y de absorción) y saber resolver ejemplos numéricos sencillos de potencias absorbidas y emitidas.

2. Un amplificador de fibra óptica dopada con erbio (Erbium Doped Fiber Amplifier, EDFA) amplifica una señal de 1550 nm mediante bombeo con una longitud de onda de 1480 nm. El tiempo de vida media de los iones en el nivel 2 es de 5 milisegundos (nivel metaestable), entre los niveles 3 y 2 la transición es no radiante (la energía se cede al material en forma de calor) y muy rápida y, entre los niveles 2 y 1 las transiciones son radiantes.

✓ a) (2p) Identifica los 3 estados energéticos propios de los iones de erbio (E_1 , E_2 , E_3) y da su valor en Julios y en eV.

b) (2p) Para cada una de las situaciones que se presentan a continuación, indicar, justificándolo, que le ocurre al fotón incidente, que le ocurre al átomo y cómo se denomina el fenómeno físico que tiene lugar.

- un fotón de longitud de onda 1480 nm interacciona con un átomo que se encuentra en E_1 .
- un fotón de longitud de onda 1480 nm interacciona con un átomo que se encuentra en E_2 .
- un fotón de longitud de onda 1550 nm interacciona con un átomo que se encuentra en E_1 .
- un fotón de longitud de onda 1550 nm interacciona con un átomo que se encuentra en E_2 .

c) (3p) En ausencia de señal a la entrada y de bombeo, si en la fibra hay 5×10^{14} iones de erbio, ¿existe inversión de población? ($T = 296K$). Justifica la respuesta.

Se inyectan 150 mW de potencia de bombeo por un extremo de la fibra y sale por el otro una potencia residual de señal de bombeo de 50 mW.

d) (3p) Calcula, justificando todos los pasos, la potencia de bombeo que se pierde en forma de calor debido a la transición no radiante entre los niveles E_3 y E_2 .



3. Fotodiodo: saber explicar y utilizar los conceptos de eficiencia cuántica y responsividad y saber deducir la expresión que los relaciona. Para una señal óptica continua o digital, saber resolver ejemplos numéricos sencillos a partir de la estadística de Poisson.

3. Un receptor óptico de alta sensibilidad está formado por un fotodiodo de arseniuro de galio e indio seguido por un circuito de decisión. La responsividad del fotodiodo es de 0,6 A/W para 1300 nm y su corriente de oscuridad de 0,1 nA.

- (2p) Deduce la expresión que relaciona la eficiencia cuántica y la responsividad. Aplícala para calcular la eficiencia cuántica del fotodiodo.
- (4p) Demuestra que en ausencia de luz a la entrada del receptor, la probabilidad de que lleguen al circuito de decisión más de 3 electrones en un tiempo de 0,40 nanosegundos es de $1.33 \cdot 10^{-4}$.

Este receptor óptico se utiliza en un enlace digital binario con código NRZ a la velocidad de transmisión de 2,5 Gbps y a la longitud de onda de 1300nm, los dos símbolos son equiprobables y la potencia óptica que incide sobre el fotodiodo del receptor es de -50 dBm para el "1" binario y 0 W para el "0" binario.

- (4p) Calcula la probabilidad de error del sistema si el circuito de decisión requiere como mínimo 4 electrones para conmutar entre el estado bajo ("0" binario) y el estado alto ("1" binario).

Nota1: Para un número de electrones en el circuito de decisión exactamente igual al umbral se decide el estado alto.

Nota 2: Cuando sobre el receptor incide una señal continua de 1300 nm y 10 nW, la probabilidad de que lleguen al circuito de decisión menos de 4 electrones en un tiempo de 0,40 nanosegundos es de $2.15 \cdot 10^{-4}$.

- Dada una matriz S de una red, reconocer y justificar si se trata de un dispositivo activo o pasivo, si conserva la potencia o tiene pérdidas, y hacer con ella cálculos elementales (pérdidas de retorno y de inserción, potencia entregada por el generador y potencia entregada a la carga) en condiciones de generador adaptado y accesos terminados.

4) Se dispone de tres dispositivos (A, B y C) cuyas matrices de parámetros S referidas a 50 Ω son

$$[S_A] = \begin{pmatrix} 0.976/56^\circ & 0.023/-170^\circ \\ 1.240/-96^\circ & 0.973/-146^\circ \end{pmatrix}$$

$$[S_B] = \begin{pmatrix} 0.385/0^\circ & 0.923/-90^\circ \\ 0.923/-90^\circ & 0.385/0^\circ \end{pmatrix}$$

$$[S_C] = \begin{pmatrix} 0.235/68^\circ & 0.615/-122^\circ \\ 0.615/-122^\circ & 0.540/-7^\circ \end{pmatrix}$$

- (3p) Indica para cada dispositivo, justificándolo, si es activo o pasivo y si conserva la potencia o tiene pérdidas.
- (3p) Calcula las pérdidas de retorno del dispositivo A y las pérdidas de inserción del dispositivo B.
- (4p) Si, con la salida terminada, se conecta a la entrada del dispositivo C un generador de 50 Ω y potencia disponible 3 dBm, calcula la potencia disipada por el dispositivo (expresa el resultado en dBm).



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

5. Circuitos concretos (atenuadores, amplificadores, filtros, aisladores, puentes reflectométricos y acopladores direccionales): identificarlos a partir de su matriz S y, inversamente, ser capaz de escribir su matriz S a partir de su especificación o de los datos de un catálogo.

5). Escribe la matriz de parámetros S, con la mayor información posible, de los siguientes dispositivos

- a (2p) Puente reflectométrico ideal (sin pérdidas) de 10 dB de acoplamiento. Para medir el coeficiente de reflexión de un dispositivo se ha de conectar el generador al puerto 1 del puente reflectométrico, el DUT (Device Under Test) al puerto 2 y el voltímetro al puerto 3.
- b (2p) Filtro con unas pérdidas de retorno de 21.07 dB y unas pérdidas de inserción de 2.16 dB para la banda de paso y unas pérdidas de retorno de 0.01 dB y una atenuación de 55.84 dB para la banda atenuada (en esta caso deben escribirse dos matrices diferentes, una para la banda de paso y otra para la banda atenuada)

La matriz de parámetros S de un acoplador direccional es

$$[S] = \begin{pmatrix} 0.037/167^\circ & 0.271/166^\circ & 0.962/-104^\circ & 0.011/61^\circ \\ 0.271/166^\circ & 0.037/167^\circ & 0.011/61^\circ & 0.962/-104^\circ \\ 0.962/-104^\circ & 0.011/61^\circ & 0.037/167^\circ & 0.271/166^\circ \\ 0.011/61^\circ & 0.962/-104^\circ & 0.271/166^\circ & 0.037/167^\circ \end{pmatrix} \quad (S_{11})^2 = \frac{P_i}{P_r}$$

- c (2p) Indicar qué puertos están acoplados y cuales aislados.
- d (4p) Indicar la relación de onda estacionaria (VSWR), las pérdidas de inserción, el acoplamiento, el aislamiento y la directividad.

6. Circuitos concretos (atenuadores, amplificadores, filtros, aisladores, puentes reflectométricos y acopladores direccionales): resolver problemas elementales de circuitos (ganancia, atenuación, potencias, adaptación, lecturas en voltímetros escalares o vectoriales) para cualquier situación de generador y carga a partir de sus matrices S.

6). Un aislador que presenta la siguiente matriz de parámetros S referida a 50Ω

$$[S_A] = \begin{pmatrix} -0.070 & -j0.071 \\ -j0.966 & 0.070 \end{pmatrix}$$

se intercala entre un generador de 50 Ω de impedancia interna y potencia disponible -5 dBm y una carga de 300 Ω. Calcula:

- a) (3p) La impedancia de entrada que presenta el aislador.
- b) (3p) La potencia que vuelve reflejada al generador.
- c) (4p) La tensión en bornes de la carga de 300 Ω (dar el resultado en forma de módulo y fase).

$$h = 6.62620 \times 10^{-34} \text{ J s}, \quad k = 1.380 \times 10^{-23} \text{ J K}^{-1}, \quad e = 1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$$

$$P(z) = \frac{z_m^z e^{-z_m}}{z!}, \quad \frac{N_i}{N_j} = e^{-\frac{E_i - E_j}{kT}}$$

$$\rho_{in} = S_{11} + \frac{S_{12}S_{21}\rho_L}{1 - S_{22}\rho_L}$$

$$G_T = \frac{P_L}{P_{disp}} = \frac{|S_{21}|^2 (1 - |\rho_G|^2) (1 - |\rho_L|^2)}{|(1 - \rho_G S_{11})(1 - \rho_L S_{22}) - \rho_G \rho_L S_{21} S_{12}|^2}$$

SISTEMES DE RADIOFREQUÈNCIA I ÒPTICS

QP06

Examen 15.06.06 (mínimos 4-6)

Las preguntas deben contestarse de forma clara, pero concisa, comenzando por las que os parezcan más sencillas y cortas de responder. Tiempo del examen: 90 minutos.

4. Dada una matriz S de una red, reconocer y justificar si se trata de un dispositivo activo o pasivo, si conserva la potencia o tiene pérdidas, y hacer con ella cálculos elementales (pérdidas de retorno y de inserción, potencia entregada por el generador y potencia entregada a la carga) en condiciones de generador adaptado y accesos terminados.

4) Se dispone de tres dispositivos (A, B y C) cuyas matrices de parámetros S referidas a 50 Ω son

$$[S_A] = \begin{pmatrix} 0.108 / -173.38^\circ & 0.994 / -83.38^\circ \\ 0.994 / -83.38^\circ & 0.108 / -173.38^\circ \end{pmatrix}$$

$$[S_B] = \begin{pmatrix} 0.90 / 45^\circ & 0.04 / 50^\circ \\ 6.10 / 140^\circ & 0.66 / 0^\circ \end{pmatrix} \text{AMPLI } ?$$

$$[S_C] = \begin{pmatrix} 0.070 & 0.071 \\ 0.966 & 0.070 \end{pmatrix} \text{AISLADOR}$$

- a) (3p) Indica para cada dispositivo, justificándolo, si es activo o pasivo y si conserva la potencia o tiene pérdidas.
- b) (3p) Calcula las pérdidas de inserción del dispositivo A y las pérdidas de retorno del dispositivo B.
- c) (4p) Si, con la salida terminada, se conecta a la entrada del dispositivo C un generador de 50 Ω y potencia disponible 6 dBm, calcula la potencia disipada por el dispositivo (expresa los resultados en W y en dBm).
5. Circuitos concretos (atenuadores, amplificadores, filtros, aisladores, puentes reflectométricos y acopladores direccionales): identificarlos a partir de su matriz S y, inversamente, ser capaz de escribir su matriz S a partir de su especificación o de los datos de un catálogo.
- 5). Escribe la matriz de parámetros S, con la mayor información posible, de los siguientes dispositivos
- a) (2p) Filtro ideal (en esta caso deben escribirse dos matrices diferentes, una para la banda de paso y otra para la banda atenuada)
- b) (2p) Atenuador con una atenuación de 19.0 dB y 20.8 dB de pérdidas de retorno.
- c) (3p) Acoplador direccional de 20 dB de acoplamiento, 23 dB de directividad, 0.2 dB de pérdidas de inserción y relación de onda estacionaria (VSWR) de 1.15. Los puertos se han de numerar teniendo en cuenta que los accesos acoplados son el 1 - 4 y 2 - 3 y los accesos aislados son 1 - 3 y 2 - 4.
(Nota: La directividad relaciona el acoplamiento y el aislamiento).

La matriz de parámetros S de un aislador es

$$[S] = \begin{pmatrix} 0.063 & 0.100 \\ 0.955 & 0.063 \end{pmatrix}$$

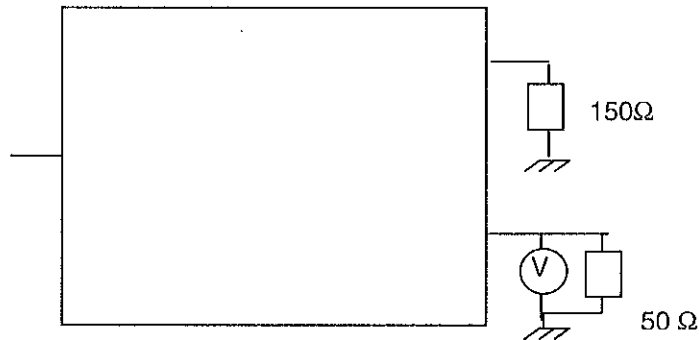
- d) (3p) Indicar las pérdidas de retorno, las pérdidas de inserción y el aislamiento.

6. Circuitos concretos (atenuadores, amplificadores, filtros, aisladores, puentes reflectométricos y acopladores direccionales): resolver problemas elementales de circuitos (ganancia, atenuación, potencias, adaptación, lecturas en voltímetros escalares o vectoriales) para cualquier situación de generador y carga a partir de sus matrices S.

6). Un puente reflectométrico presenta la siguiente matriz de parámetros S referida a 50Ω

$$[S] = \begin{pmatrix} 0 & -j0.865 & 0 \\ -j0.865 & 0 & -0.502 \\ 0 & -0.502 & 0 \end{pmatrix}$$

En el acceso 1 del puente se conecta un generador de 50Ω de impedancia interna y potencia disponible -13 dBm , el acceso 2 se termina con una resistencia de 150Ω y en el acceso 3 se coloca un voltímetro escalar ideal (solamente da información del módulo de la tensión, y tiene una impedancia interna muy alta, que puede suponerse infinita) en paralelo con una resistencia de 50Ω .



Calcula:

- (3p) La potencia que vuelve reflejada al generador.
- (3p) La lectura que da el voltímetro (valor eficaz).

Si se desconecta el voltímetro (dejando, por tanto, el acceso 3 en circuito abierto), calcula

- (4p) La potencia entregada a la resistencia de 150Ω

$$\rho_{in} = S_{11} + \frac{S_{12}S_{21}\rho_L}{1 - S_{22}\rho_L}$$

$$G_T = \frac{P_L}{P_{dis}} = \frac{|S_{21}|^2 (1 - |\rho_G|^2) (1 - |\rho_L|^2)}{|(1 - \rho_G S_{11})(1 - \rho_L S_{22}) - \rho_G \rho_L S_{21} S_{12}|^2}$$

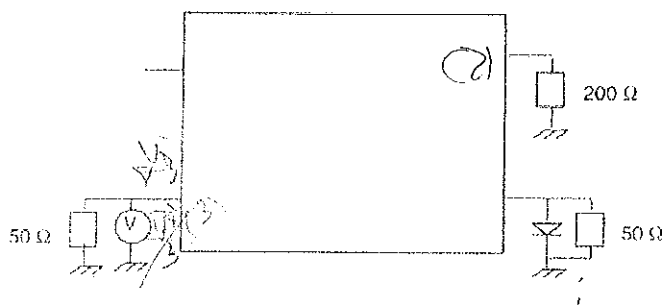


6. Circuitos concretos (atenuadores, amplificadores, filtros, aisladores, puentes reflectométricos y acopladores direccionales): resolver problemas elementales de circuitos (ganancia, atenuación, potencias, adaptación, lecturas en voltímetros escalares o vectoriales) para cualquier situación de generador y carga a partir de sus matrices S.

6). Un acoplador direccional de 3 dB presenta la siguiente matriz de parámetros S referida a 50Ω

$$[S] = \begin{bmatrix} 0 & -j\sqrt{2}/2 & -\sqrt{2}/2 & 0 \\ -j\sqrt{2}/2 & 0 & 0 & -\sqrt{2}/2 \\ \sqrt{2}/2 & 0 & 0 & -j\sqrt{2}/2 \\ 0 & -\sqrt{2}/2 & -j\sqrt{2}/2 & 0 \end{bmatrix}$$

El acceso 2 se termina con una carga de 200Ω , en el acceso 3 se coloca un voltímetro escalar ideal (solamente da información del valor eficaz del módulo de la tensión, y tiene una impedancia interna muy alta, que puede suponerse infinita) en paralelo con una resistencia de 50Ω y el acceso 4 se termina con una resistencia de 50Ω en paralelo con un diodo ideal (cuando el diodo está en el estado "ON" se comporta como un cortocircuito mientras que cuando está en estado "OFF" se comporta como un circuito abierto)



- a) (3p) Calcula la impedancia de entrada que presenta el acoplador con el diodo en estado "OFF"

Si en el acceso 1 del acoplador se conecta un generador de 50Ω de impedancia interna y potencia disponible 2 dBm y con el diodo en estado "ON", calcular:

- b) (4p) La potencia entregada a la resistencia de 200Ω
c) (3p) La lectura que da el voltímetro (valor eficaz)

$$\rho_{in} = S_{11} + \frac{S_{12}S_{21}\rho_L}{1 - S_{22}\rho_L}$$

$$G_{max} = \frac{P_L}{P_{dispon}} = \frac{|S_{21}|^2 (1 - |\rho_L|^2) (1 - |\rho_{in}|^2)}{|1 - \rho_{in} S_{11}|^2 |1 - \rho_L S_{22}|^2 - \rho_{in} \rho_L S_{12} S_{21}}$$

$$S_{11} = \frac{V_1^-}{V_1^+} \Big|_{V_2^+ = V_2^- \pm V_{diode}^+ = 0} = \rho_{in}$$



SISTEMES DE RADIOFREQUÈNCIA I ÒPTICS

QP06

Examen 12.06.06 (mínims 4-6)

Las preguntas deben contestarse de forma clara, pero concisa, comenzando por las que os parezcan más sencillas y cortas de responder. Tiempo del examen: 90 minutos.

4. Dada una matriz S de una red, reconocer y justificar si se trata de un dispositivo activo o pasivo, si conserva la potencia o tiene pérdidas, y hacer con ella cálculos elementales (pérdidas de retorno y de inserción, potencia entregada por el generador y potencia entregada a la carga) en condiciones de generador adaptado y accesos terminados.

4) Se dispone de tres dispositivos (A, B y C) cuyas matrices de parámetros S referidas a 50Ω son

$$|S_A| = \begin{pmatrix} 0.070 & 0.071 \\ 0.966 & 0.070 \end{pmatrix} \quad |S_B| = \begin{pmatrix} 0.440 & 0.320 \\ 0.320 & -0.030 \end{pmatrix}$$

$$|S_C| = \begin{pmatrix} 0.955/114.81^\circ & 0.296/24.81^\circ \\ 0.296/24.81^\circ & 0.955/114.81^\circ \end{pmatrix}$$

- a) (2p) Indica, justificándolo, si alguno de los tres dispositivos es pasivo y sin pérdidas.
b) (2p) Calcula las pérdidas de retorno del dispositivo A.
c) (2p) Calcula la impedancia de entrada del dispositivo B cuando la salida está terminada.
d) (4p) Si, con la salida terminada, se conecta a la entrada del dispositivo C un generador de 50Ω y potencia disponible 6 dBm, calcula la potencia entregada a la carga y la que vuelve reflejada al generador (expresa los resultados en W y en dBm).
5. Circuitos concretos (atenuadores, amplificadores, filtros, aisladores, puentes reflectométricos y acopladores direccionales): identificarlos a partir de su matriz S y, inversamente, ser capaz de escribir su matriz S a partir de su especificación o de los datos de un catálogo.
- 5). Escribe la matriz de parámetros S , con la mayor información posible, de los siguientes dispositivos

- a) (2p) Atenuador resistivo ideal de 12 dB simétrico.
b) (2p) Aislador con un aislamiento de 20 dB, pérdidas de inserción de 0.40 dB y 24 dB de pérdidas de retorno.
c) (3p) Puente reflectométrico de 6 dB de acoplamiento, 20 dB de directividad, 0.4 dB de pérdidas de inserción y relación de onda estacionaria (VSWR) de 1.22. Los puertos se han de numerar teniendo en cuenta que para medir el coeficiente de reflexión de un dispositivo se ha de conectar el generador al puerto 1 del puente reflectométrico, el DUT (Device Under Test) al puerto 2 y el voltímetro al puerto 3.
(Nota: La directividad relaciona el acoplamiento y el aislamiento).

La matriz de parámetros S de un amplificador es

$$|S| = \begin{pmatrix} 0.90/45^\circ & 0.04/50^\circ \\ 6.10/140^\circ & 0.66/0^\circ \end{pmatrix}$$

- d) (3p) Indicar las pérdidas de retorno, la ganancia y el aislamiento del amplificador.



$$\begin{pmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{pmatrix}$$