

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

1.- Un tubo de vidrio de 1 litro de volumen contiene helio a baja presión, con un total de 2.69×10^{20} átomos. Por el gas ionizado se hace circular una corriente intensa de manera que emite radiación luminosa en la que se observa una línea espectral de 1.2 W a 667.8 nm. Calcular:

- a) (3.5p) La diferencia de energía (en J y en eV) entre los dos niveles implicados en la emisión de esta línea espectral y el número de transiciones que se producen entre estos dos niveles en un segundo.

Supongamos ahora una lámpara de vapor de sodio. Los átomos de sodio emiten dos rayas amarillas de longitudes de onda $\lambda_1 = 589.592$ nm y $\lambda_2 = 588.995$ nm por transiciones entre dos estados de energías E_1 y E_2 al estado de equilibrio de energía E_0 . La lámpara contiene $N = 2.69 \times 10^{23}$ átomos a una temperatura tal que la proporción de poblaciones N_1/N_0 vale 2.49×10^{-11} .

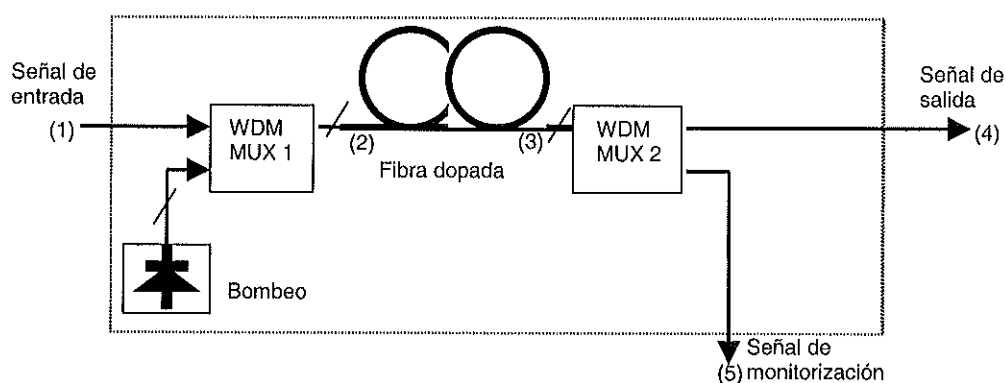
- b) (3.5p) Calcular la potencia que emite la lámpara a la longitud de onda λ_1 si la vida media de un átomo en el estado E_1 es de 10 ns.
- c) (3p) Indicar, justificándolo, que le ocurre a un fotón de 581.69 μm cuando interacciona con un átomo que se encuentra en E_1 .

2. 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.

2. Un receptor óptico de alta sensibilidad está formado por un fotodiodo seguido por un circuito de decisión que requiere como mínimo 4 electrones para conmutar entre el estado bajo ("0" binario) y el estado alto ("1" binario). La responsividad del fotodiodo para una longitud de onda de 1550 nm es de 0.60 y su corriente de oscuridad de 0.96 nA. Este receptor se utiliza en un enlace digital binario con código NRZ a la velocidad de transmisión de 3 Gbps y en el que los dos símbolos son equiprobables y la potencia óptica que incide sobre el fotodiodo del receptor es de -49 dBm para el "1" binario y 0 W para el "0".

- a) (5p) Calcular el número medio de electrones que llegan al circuito de decisión en el tiempo que llega un "1" binario (no despreciar la corriente de oscuridad).
- b) (5p) Calcular la probabilidad de error cuando se recibe un "1" binario.

3. Amplificación óptica: saber explicar la interacción de fotones con una fibra dopada con erbio, la inversión de población, los procesos de bombeo y emisión estimulada y saber resolver ejemplos numéricos sencillos de ganancia y potencias de un módulo EDFA formado por fibra dopada, láseres de bombeo, multiplexores y aisladores.



El módulo EDFA de la figura amplifica una señal de 1530 nm utilizando un bombeo de 980 nm. Los multiplexores presentan unas pérdidas de inserción de 0.3 dB y un aislamiento de 20 dB. Los dispositivos están interconectados mediante empalmes de 0.05 dB (símbolo "/" en la figura) y el dispositivo global cuenta con tres conectores de entrada/salida que presentan unas pérdidas de 0.2 dB cada uno de ellos. En el punto (2) de la figura hay 3.51 mW de señal de 1530 nm y 182 mW de señal de bombeo y en el punto (3) 82.22 mW de señal de 1530 nm y una potencia residual de bombeo.

- a) (2p) Si en el proceso de amplificación intervienen tres niveles de energía de los iones de Erblio (E_0 , E_1 y E_2), calcular el valor en eV de los tres niveles.
- b) (4p) Calcular la potencia de bombeo que se pierde en forma de calor en la fibra (el tiempo de vida media de los iones de erblio en el nivel 2 es muy pequeño y se puede considerar que se relajan de forma instantánea al estado E_1).
- d) (4p) Calcular, en mW, la potencia de señal de 1530 presente en la salida del módulo (punto 4) y en la salida de monitorización (punto 5).
4. 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.
4. Escribir la matriz de parámetros S (sólo el módulo y en lineal) de los siguientes dispositivos
- a) (5p) Aislador con unas pérdidas de inserción de 0.6 dB, una relación de onda estacionaria (VSWR) de 1.35:1 y un aislamiento de 17 dB.
- b) (5p) Acoplador direccional con unas pérdidas de inserción de 0.3 dB, pérdidas de retorno de 21 dB, acoplamiento de 10 dB y directividad de 20 dB y (accesos acoplados: 1-4 y 2-3 ; accesos aislados: 1-3 y 2-4).
5. Circuitos concretos de dos accesos (atenuadores, amplificadores, filtros y aisladores): 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.
5. Un atenuador se intercala entre un generador de impedancia interna Z_G y 5 dBm de potencia disponible y una carga Z_L . La matriz de parámetros S del atenuador referida a 50 Ω es

$$\begin{bmatrix} 0.095 & -0.42 - j0.66 \\ -0.42 - j0.66 & 0.095 \end{bmatrix}$$

Calcular (dar los resultados en dBm):

- a) (3p) La potencia disipada por el atenuador si $Z_G = Z_L = 50 \Omega$
- b) (3.5p) La potencia que vuelve reflejada al generador si $Z_G = 50 \Omega$ y $Z_L = 200 \Omega$
- c) (3.5p) La potencia entregada a la carga si $Z_G = 75 \Omega$ y $Z_L = 50 \Omega$
6. Circuitos concretos de más de dos accesos (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 50 Ω

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & -j0.900 \\ 0 & 0 & -0.316 \\ -j0.900 & -0.316 & 0 \end{bmatrix}$$

En el acceso 1 se conecta un generador de impedancia interna 50 Ω y en el acceso 2 un voltímetro escalar ideal (solo da información del módulo de la tensión, y tiene una impedancia interna muy alta, que puede suponerse infinita). Para calibrar el puente se cortocircuita el acceso 3 y, en estas circunstancias, la lectura del voltímetro es de 22 mV (valor eficaz).

- a) (5p) Calcular la potencia disponible del generador.
- b) (5p) Calcular las pérdidas de retorno medidas en el acceso 1.

CONSTANTES Y FÓRMULAS:

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

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

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

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



SISTEMES DE RADIOFREQUÈNCIA I ÒPTICS

QT06

Examen 10.11.06 (mínimos 1-3)

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

1.- El Mercurio (Hg) emite radiación en tres longitudes de onda: 435.8 nm (color añil), 2159 nm (infrarrojo cercano) y una tercera que corresponde al color verde (entre 492 y 577 nm). Para simplificar consideramos que un átomo aislado de mercurio presenta tan solo tres estados (o niveles de energía) posibles que denominamos E_0 , E_1 y E_2 , y asignamos al estado fundamental un valor cero de energía ($E_0=0$ eV).

- a) (3p) Demuestra que $E_1=2.271$ eV y $E_2= 2.845$ 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 2.159 μm interacciona con un átomo que se encuentra en E_1 .
 - un fotón de longitud de onda 517 nm interacciona con un átomo que se encuentra en E_0 .

Se tiene en una ampolla de cristal vapor de mercurio y se sabe que a una cierta temperatura $N_1/N_0 = 9.2 \times 10^{-6}$, que el número de átomos total es de $N = 2.42 \times 10^{17}$ átomos y que el tiempo de vida media de un átomo en el estado E_1 es de $\tau_1=1 \times 10^{-8}$ s.

- c) (5p) Explica, indicando el nombre del fenómeno físico que tiene lugar, por qué el gas radia potencia a la longitud de onda que corresponde a la transición E_1-E_0 y calcula, justificando todos los pasos que realices, la potencia radiada por el gas.

2. 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.

2. Un receptor óptico de alta sensibilidad está formado por un fotodiodo con responsividad $R=0.66$ A/W seguido por un circuito de decisión.

1. (2p) Definir el concepto de eficiencia cuántica y demostrar que $R \text{ (A/W)} = \eta \lambda \text{ (}\mu\text{m)} / 1.24$.
2. (3p) Calcular la corriente de oscuridad del fotodiodo si se sabe que, en ausencia de luz a la entrada del receptor, la probabilidad de que no llegue al circuito de decisión ningún electrón en un tiempo de 16 nanosegundos es del 36.79%.

Este receptor óptico se utiliza en un enlace digital binario con código NRZ a la velocidad de transmisión de 2.0 Gbps y la potencia óptica que incide sobre el fotodiodo del receptor para el "1" binario es de -48 dBm. El circuito de decisión requiere como mínimo 3 electrones para conmutar entre el estado bajo ("0" binario) y el estado alto ("1" binario).

3. (5p) Calcular la probabilidad de error cuando se recibe un "1" binario.

3. Amplificació òptica: saber explicar la interacció de fotones con una fibra dopada con erbio, la inversió de població, los procesos de bombeo y emisión estimulada y saber resolver ejemplos numéricos sencillos de ganancia y potencias de un módulo EDFA formado por fibra dopada, láseres de bombeo, multiplexores y aisladores.

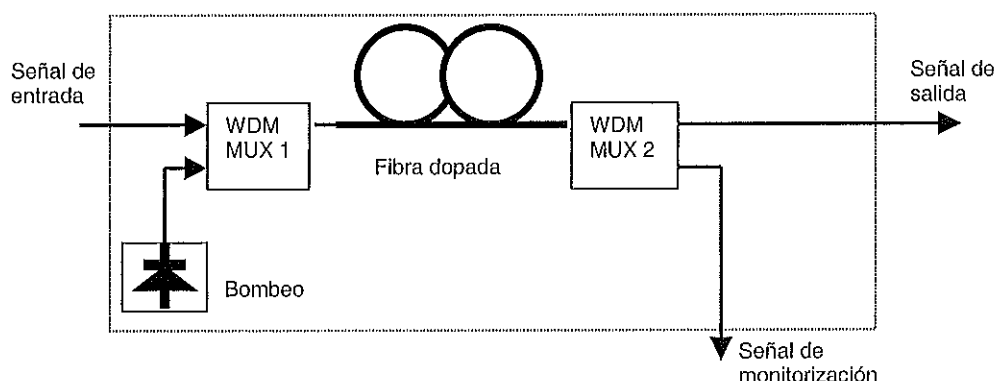
3. En el proceso de amplificación de un EDFA (*Erbium Doped Fiber Amplifier*) intervienen tres niveles de energía de los iones de Erblio: $E_0 = 0$ eV, $E_1 = 0.800$ eV y $E_2 = 0.838$ eV.

- a) (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 1480 nm interacciona con un ión que se encuentra en E_0 .
 - un fotón de 1480 nm interacciona con un ión que se encuentra en E_1 .
 - un fotón de 1550 nm interacciona con un átomo que se encuentra en E_0 .
 - un fotón de 1550 nm interacciona con un átomo que se encuentra en E_1 .
- b) (2p) Justificar por qué es necesaria la inversión de población para que tenga lugar la amplificación y por qué es conveniente que el nivel E_1 sea un nivel metaestable (un nivel con un tiempo de vida media anormalmente grande).

Cuando se inyecta en la fibra una potencia de bombeo de 120 mW, a la salida de la misma hay una potencia residual de bombeo de 28.65 mW.

- c) (3p) Calcular la potencia que se pierde en forma de calor debido a la transición entre los niveles 2 y 1 (el tiempo de vida media de los iones de erbio en el nivel 2 es muy pequeño y se puede considerar que se relajan de forma instantánea al estado E_1).

La fibra dopada con Erblio forma parte del módulo EDFA de la figura.



MUX 1 y 2

- Pérdidas de inserción: 0.5 dB Aislamiento: 18 dB

Fibra dopada con Erblio

- Ganancia para la señal: 13.70 dB Atenuación para el bombeo: 6.22 dB

Conectores y empalmes

- Los dispositivos están interconectados mediante empalmes de 0.05 dB y cada conector de entrada/salida del dispositivo global presenta unas pérdidas de 0.2 dB.

- d) (3p) Si la señal de entrada es de 4 mW y la potencia emitida por el láser de bombeo es de 100 mW, calcular la potencia de señal y de bombeo presente en la salida de monitorización (dar el resultado en mW y en dBm).

CONSTANTES Y FÓRMULAS:

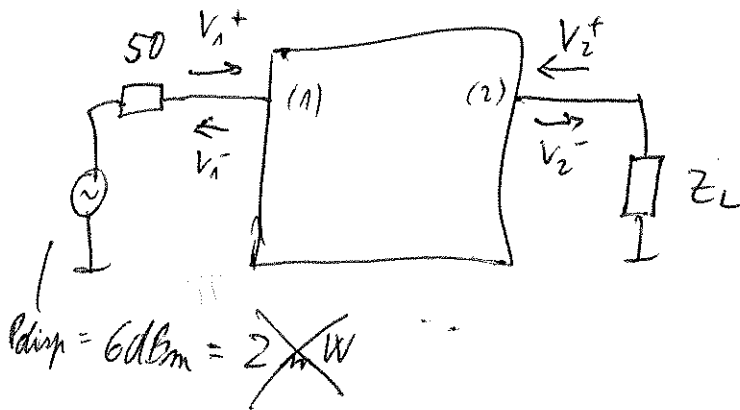
$$h = 6.62620 \times 10^{-34} \text{ J s}, \quad k = 1.380 \times 10^{-23} \text{ J K}^{-1}, \quad e = 1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$$

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

5.)

$$[S_A] = \begin{pmatrix} 0'070 & -j'0'071 \\ -j'0'966 & 0'070 \end{pmatrix}$$

④



Potencia disipada por el dispositivo: $P_{disipada} = (P_1^+ + P_2^+) - (P_1^- + P_2^-)$

a) $Z_L = 50 \Omega$

En este caso, el terminal 2 está terminado. ($Z_L = Z_0$)

Por ello, $V_2^+ = 0 \rightarrow P_2^+ = 0$

$P_1^+ = P_{diss} = 2 \text{ mW}$

¿por qué?

Sabemos que:

$$\begin{cases} V_1^- = S_{11} V_1^+ + S_{12} V_2^+ \\ V_2^- = S_{21} V_1^+ + S_{22} V_2^+ \end{cases}$$

$$S_{11} = \frac{V_1^-}{V_1^+} = 0'070$$

$$S_{21} = \frac{V_2^-}{V_1^+} = -j'0'966$$

$$V_1^- = \frac{0'070}{-j'0'966} \cdot V_2^-$$

$$\rho_G = \frac{50-50}{50+50} = 0$$

$$P_L = P_2^- - P_2^+$$

$$\rho_L = \frac{50-50}{50+50} = 0$$

$$\frac{P_L}{P_{diss}} = \frac{|S_{21}|^2 (1 - |\rho_G|^2) (1 - |\rho_L|^2)}{|(1 - \rho_G S_{11})(1 - \rho_L S_{22}) - \rho_G \rho_L S_{21} S_{12}|^2} = \frac{|S_{21}|^2}{1} = 0'933$$

$$P_L = P_{\text{disip}} \cdot 0'933 = 0'933 \cdot 2 \text{ mW} = 1'866 \text{ mW} =$$

$$= P_2^- - P_2^+$$

$$V_1^- = \frac{0'070}{-j0'966} \cdot V_2^-$$

$$2/5 \quad P_1^- = |V_1^-|^2 = \left| \frac{0'070}{-j0'966} \cdot V_2^- \right|^2 = -5'25 \cdot 10^{-3} \cdot P_2^- = -9'79 \cdot 10^{-6} \text{ W}$$

$$P_{\text{disipada}} = (2 \cdot 10^{-3} + 0) - (-9'79 \cdot 10^{-6} + 1'866 \cdot 10^{-3}) =$$

$$= 0'143 \text{ mW}$$

$$= -16'89 \text{ dBm}$$

$$b) Z_L = 75 \Omega$$

El puerto 2 ahora no está adaptado.

$$P_{\text{disipada}} = (P_1^+ + P_2^+) - (P_1^- + P_2^-) \quad \checkmark$$

$$P_L = \frac{75 - 50}{75 + 50} = 0'2 \quad \checkmark$$

$$2/5 \quad \Gamma_G = \frac{50 - 50}{50 + 50} = 0$$

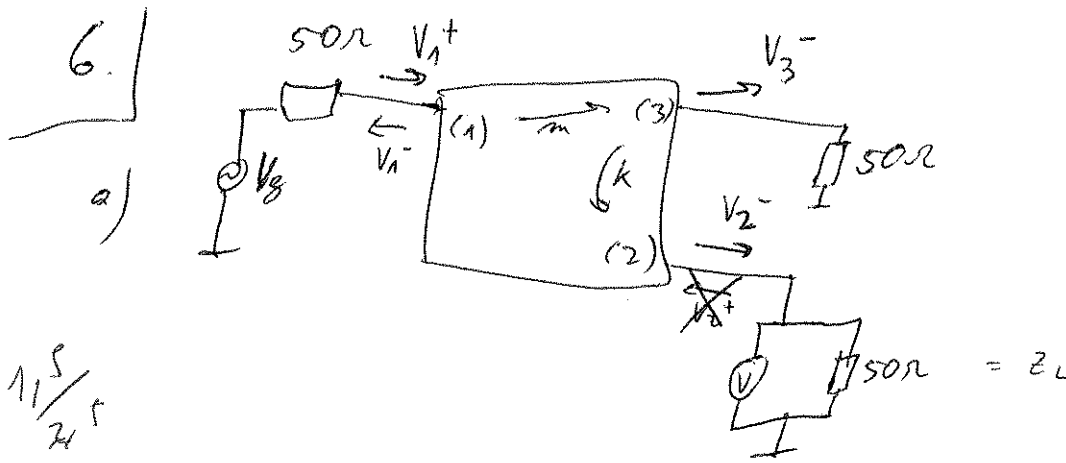
$$\frac{P_L}{P_{\text{disip}}} = \frac{|S_{21}|^2 (1 - |\Gamma_G|^2) (1 - |P_L|^2)}{|(1 - \Gamma_G S_{11})(1 - P_L S_{22}) - \Gamma_G P_L S_{12} S_{21}|^2} =$$

$$= \frac{|S_{21}|^2 (1 - |P_L|^2)}{|(1 - P_L S_{22})|^2} = \frac{|-j0'966|^2 (1 - 0'2^2)}{|(1 - 0'2 \cdot 0'070)|^2} = 0'921 \quad \checkmark$$

$$\begin{aligned} V_1^- &= S_{11} V_1^+ + S_{12} V_2^+ \\ V_2^- &= S_{21} V_1^+ + S_{22} V_2^+ \end{aligned}$$

$$P_L = P_{\text{disip}} \cdot 0'921 = 1'842 \cdot 10^{-3} \text{ W} = P_2^- - P_2^+$$

2,5



1,5
2,5

b) $LR_{(1)} = -20 \log |S_{11}| = -20 \log 0 = -20 \cdot (-\infty) = +\infty$

δ ¿Por qué?

Las pérdidas de retorno en el acceso 1 son máximas.

1,5
2,5

c) Tensión del voltímetro = tensión de $Z_L = V_2^- - V_2^+$

$$\begin{aligned} V_1^- &= S_{11} V_1^+ + S_{12} V_2^+ + S_{13} V_3^+ \rightarrow V_1^- = i V_2^+ \\ V_2^- &= S_{21} V_1^+ + S_{22} V_2^+ + S_{23} V_3^+ \rightarrow V_2^- = i V_1^+ \\ V_3^- &= S_{31} V_1^+ + S_{32} V_2^+ + S_{33} V_3^+ \rightarrow V_3^- = m V_1^+ + k V_2^+ \end{aligned}$$

$$V_{Z_L} = V_2^- - V_2^+ = i V_1^+ - \frac{V_1^-}{i} = i V_g - \frac{V_3^- - m V_1^+}{k} =$$

$$= i V_g - \frac{m V_g - m V_g}{k} = i V_g$$

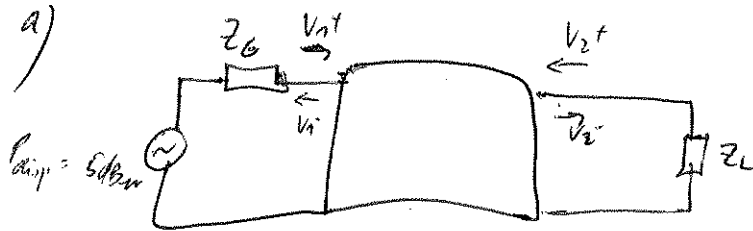
d) Igual que en c)

5.)

$$P_{\text{disip}} = 5 \text{ dBm} = 3.16 \text{ mW}$$

SERGI MARI
GRUP ZAT 3
22-1-2007
SRO

a)



(6) (6)

$$P_{\text{disipada}} = (P_1^+ + P_2^+) - (P_1^- + P_2^-)$$

Dado que $Z_G = 50\Omega = Z_0$, $P_1^+ = P_{\text{disip}}$ ✓

A la vez, dado que la carga está adaptada ya que $Z_L = 50\Omega = Z_0$,
 $P_2^+ = 0$.

$$\Gamma_L = \frac{50 - 50}{50 + 50} = 0$$

$$\Gamma_G = \frac{50 - 50}{50 + 50} = 0$$

Está terminada:

$$\frac{P_L}{P_{\text{disip}}} = \frac{|S_{21}|^2 (1 - |\Gamma_G|^2)(1 - |\Gamma_L|^2)}{|(1 - \Gamma_G S_{11})(1 - \Gamma_L S_{22}) - \Gamma_G \Gamma_L S_{21} S_{12}|^2} = \frac{|S_{21}|^2 \cdot 1}{1}$$

3/3

~~$P_L = P_{\text{disip}} \cdot 0.612 = 1.93 \text{ mW} = -27.13 \text{ dBm}$~~
 ~~$P_L = P_{\text{disip}} \cdot 0.612 = 1.93 \text{ mW} = -27.13 \text{ dBm}$~~
 ~~$P_L = P_{\text{disip}} \cdot 0.612 = 1.93 \text{ mW} = -27.13 \text{ dBm}$~~

Como en este caso $P_2^+ = 0$, $P_2^- = P_L = 1.93 \text{ mW}$

~~$P_{\text{disipada}} = 3.16 \text{ mW} - 28.5 \mu\text{W} - 1.93 \text{ mW} = 1.20 \text{ mW}$~~

~~$P_{\text{disipada}} = 3.16 \text{ mW} - 28.5 \mu\text{W} - 1.93 \text{ mW} = 1.20 \text{ mW}$~~

$$\frac{P_1^-}{P_1^+} = |S_{11}|^2 \rightarrow P_1^- = P_1^+ \cdot |S_{11}|^2 = 2.85 \cdot 10^{-5} \text{ W} = 28.5 \mu\text{W} = -15.45 \text{ dBm}$$

$$P_{\text{disipada}} = 3.16 \text{ mW} - 28.5 \mu\text{W} - 1.93 \text{ mW} = 1.20 \text{ mW} \checkmark$$

$$= 0.79 \text{ dBm}$$

b) $Z_G = 50 \Omega$
 $Z_L = 200 \Omega$
 $P_1^- ?$

En este caso, dado que $Z_L \neq Z_G$, P_2^+ será distinta de cero.

De todos modos, nos preguntan P_1^- , y esta no se ve afectada por P_2^+ , por lo que, viendo que $Z_G = Z_0 = 50 \Omega$ tal y como era en el

caso anterior, el cálculo será el mismo:

$$\frac{P_1^-}{P_1^+} = |S_{11}|^2 \rightarrow P_1^- = |S_{11}|^2 \cdot P_1^+ = 28.5 \mu W = -15.45 \text{ dBm}$$

c) En este nuevo caso:

$$\rho_G = \frac{75 - 50}{75 + 50} = 0.2 \quad \checkmark$$

$$\rho_L = \frac{50 - 50}{50 + 50} = 0$$

~~P_{out}~~

3/3, 5

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

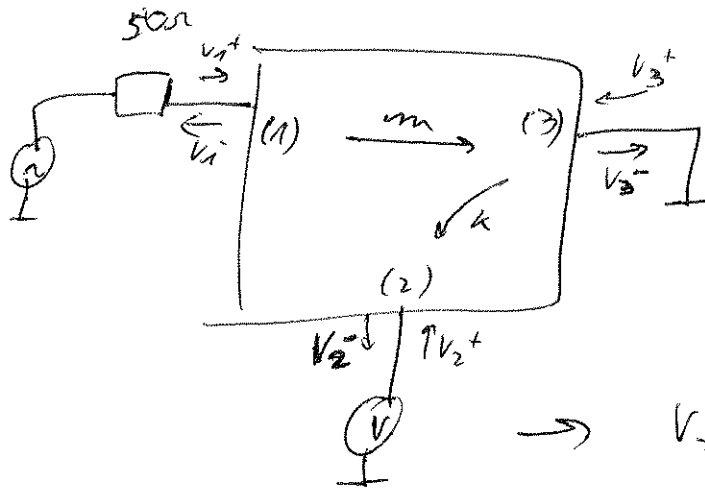
$$= \frac{0.612 (1 - 0.04) (1)}{1 - (0.019)(1 - 0) - 0} = 0.610$$

$$P_L = 0.610 \cdot P_{\text{out}} = 1.929 \text{ mW} = -27.14 \text{ dBm}$$

6

SERGI MARI
GRUP 2473
22-1-2007
SRO

6.)



→ $V_3^+ = V_3^-$
($\rho = 1$) por estar en CC.

→ $V_2^- - V_2^+ = 22 \text{ mV}$

~~scribbles~~

b) $Z_G = Z_0 = 50 \Omega \Rightarrow P_1^+ = P_{\text{disip}}$

$$\begin{aligned} V_1^- &= S_{11} V_1^+ + S_{12} V_2^+ + S_{13} V_3^+ \\ V_2^- &= S_{21} V_1^+ + S_{22} V_2^+ + S_{23} V_3^+ \\ V_3^- &= S_{31} V_1^+ + S_{32} V_2^+ + S_{33} V_3^+ \end{aligned}$$

→ $S_{13} = \frac{V_1^-}{V_3^+} = -j0'900$

→ $S_{23} = \frac{V_2^-}{V_3^+} = -0'316$

→ $V_3^- = -j0'900 V_1^+ - 0'316 V_2^+ = V_3^+$

$V_3^+ = \frac{V_1^-}{-j0'900}$

$V_3^+ = \frac{V_2^-}{-0'316}$

$-j0'900 V_1^+ - 0'316 V_2^+ = \frac{V_2^-}{-0'316} = \frac{V_2^+}{-0'316}$

$-j0'900 V_1^+ = V_2^+ \left(\frac{1}{-0'316} + 0'316 \right) = V_2^+ \cdot (-2'848)$

$V_2^+ = \frac{+j0'900 V_1^+}{+2'848} = j \cdot 0'316 V_1^+$

$-j0'900 V_1^+ - 0'316 \cdot j \cdot 0'316 V_1^+ = \frac{V_1^-}{-j0'900}$

$-j0'900 V_1^+ = V_1^- \left(\frac{1}{-j0'900} + j0'11 \right) = V_1^- \left(\frac{j}{0'900} + j0'11 \right) =$

$= V_1^- (j \cdot 1'211)$

$$\frac{V_1^-}{V_1^+} = \frac{-j \cdot 0'900}{j \cdot 1'211} = -0'743 \quad \neq S_{11} \quad \leftarrow \text{es bastante}$$

s/s $LR = -20 \log |S_{11}| = 2'58 \text{ dB}$

a) P_{amp}?

$$V_3^- = V_1^+ \cdot m$$

$$m = S_{31} = -j \cdot 0'900$$

$$V_3^- = V_3^+$$

$$k = S_{23} = -0'316$$

$$V_2^- = V_3^+ \cdot k$$

1/s $V_2^- - V_2^+ = 22 \cdot 10^{-3} \rightarrow V_2^- = 22 \cdot 10^{-3} + V_2^+$

Por otro lado:

$$|S_{11}|^2 = \frac{P_1^-}{P_1^+} = 0'552$$

$$\rightarrow \text{cancelado}$$

$$P_1^- = 0'552 \cdot P_1^+$$

$$V_1^+ = \frac{V_3^-}{m} = \frac{\frac{V_2^-}{k}}{m} = \frac{V_2^-}{k \cdot m} = \frac{22 \cdot 10^{-3} + V_2^+}{k \cdot m} = \frac{22 \cdot 10^{-3} + V_2^+}{j \cdot 0'284}$$

Dejantes tenemos que:

$$\frac{V_2^-}{-j \cdot 0'900} = \frac{V_2^+}{-0'316}$$

$$P_{\text{amp}} = \frac{|V_g|^2}{8 R_g} = \frac{(V_1^+ - V_1^-)^2}{8 \cdot 50} = \frac{(V_1^+)^2 + (V_1^-)^2 - 2 V_1^+ V_1^-}{400}$$

$$= \frac{(V_1^+)^2 + 0'552 (V_1^+)^2 - 2 \cdot 0'743 (V_1^+)^2}{400}$$

$$= \frac{1}{400} (V_1^+)^2 (1 + 0'552 - 1'486) = (V_1^+)^2 \cdot 1'65 \cdot 10^{-4}$$

Ahora tenemos que sustituir.

$$\lambda = \frac{124}{\Delta E}$$

1.) a) $435'8 \text{ nm}$, 2159 nm , $492-577 \text{ nm}$

$$E_1 = 2'271 \text{ eV} = \frac{124}{\lambda (\mu\text{m})} \rightarrow \lambda_1 = \frac{124}{2'271} = 0'546 \mu\text{m} = 546 \text{ nm} \in (492, 577 \text{ nm})$$

$$E_2 = 2'845 \text{ eV} = \frac{124}{\lambda (\mu\text{m})} \rightarrow \lambda_2 = \frac{124}{2'845} = 0'438 \mu\text{m} = 435'8 \text{ nm}$$

¿de dónde sale?

Si calculamos el tercero nos sale que $\lambda_3 \Rightarrow E_3 = 0'574 \text{ eV}$.

Pero démonos cuenta que eso no es ~~un~~ un nuevo nivel sino que concuerda con la diferencia $E_2 - E_1$!!

b) 1.) el fotón será absorbido, subiendo al átomo del nivel E_1 al nivel E_2 . ABSORCIÓN ESTIMULADA. ¿Por qué?

1/2 2.) No interaccionarán, puesto que el fotón no tiene la energía ^{exacta} correspondiente a ningún salto. ¿Cómo lo sabes?

$$e^{-\frac{\Delta E}{kT}} = 9'2 \cdot 10^{-6} \rightarrow +\frac{\Delta E}{kT} = \ln 9'2 \cdot 10^{-6} = -11'59$$

$$\rightarrow \frac{\Delta E}{T} = 11'59 \text{ K} = 1'599 \cdot 10^{-22}$$

Dado que τ_1 es muy pequeño, los átomos tardarán muy poco en caer de E_2 a E_1 . $\Rightarrow N_0 \simeq N$

$$N_1 = N_0 \cdot 9'2 \cdot 10^{-6} \simeq N \cdot 9'2 \cdot 10^{-6} = 2'22 \cdot 10^{12} \text{ átomos}$$

$$P = \frac{N_1}{\tau_1} \cdot |e| = \frac{2'22 \cdot 10^{12}}{1 \cdot 10^{-8}} \cdot 1'602 \cdot 10^{-19} = 35'66 \text{ W}$$

será la potencia emitida por el gas.

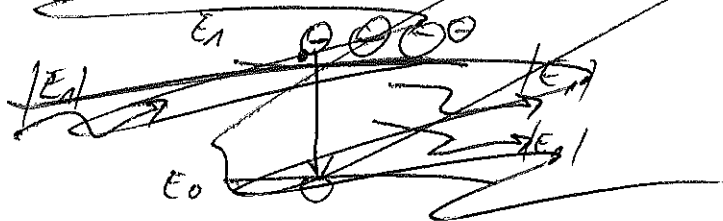
$$\Delta E \cdot 1'602 \cdot 10^{-19} = 1'599 \cdot 10^{-22} \cdot T$$

Si forzamos $\Delta E = 0'577 \text{ eV}$ para cumplir el enunciado, $T = 575'07^\circ \text{ K} =$

¡¡¡ ESTO SI QUE ES VÁLIDO !!

\uparrow (4000)

El fenómeno se llama INVERSIÓN DE POBLACIÓN, y consiste en que hay más átomos ~~que~~ en E_1 que en E_0 , con lo que la señal incidente se ve ~~amplificada~~ a la salida.



Si ocurre esto tendremos al menos que $N_1 = N_0$. Este ~~seremos este caso~~.

$$N_1 = N_0 = \frac{N}{2}$$

Dado que $N_1 = N_0 \cdot 9.2 \cdot 10^{-6}$, vemos que el caso de inversión de población es muy evidente, habiendo muchos más átomos en N_1 que en N_0 .

2.1 $R = 0.66$

1.) La eficiencia cuántica se define como el cociente entre el número de ^{para} electrones-hueco que tenemos y el número de fotones que inciden en el medio:

2/2
$$\eta = \frac{n^{\circ} \text{ pares e-h}}{n^{\circ} \text{ fotones}}$$

$$R = \eta \frac{\lambda (\mu\text{m})}{1.24}$$

Sabemos que $\Delta E (\text{eV}) = \frac{1.24}{\lambda (\mu\text{m})}$

$$R = \frac{I_{\text{osc}}}{P_{\text{pot}}} = \frac{\frac{n^{\circ} |e^-|}{\tau} \cdot |q e^-|}{\frac{n^{\circ} \text{ fot}}{\tau} \cdot \Delta E \cdot |q e^-|} = \frac{n^{\circ} |e^-|}{n^{\circ} \text{ fot}} \cdot \frac{1}{\Delta E} = \eta \cdot \frac{\lambda (\mu\text{m})}{1.24}$$

2.) $P(\text{ningun electron en } 16 \text{ ns}) = 0.3679$

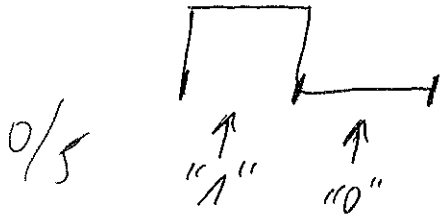
$$\Delta E = h \frac{c}{\lambda} =$$

0/3 $R = 0.66 = \frac{I_{\text{osc}}}{P_{\text{pot}}}$

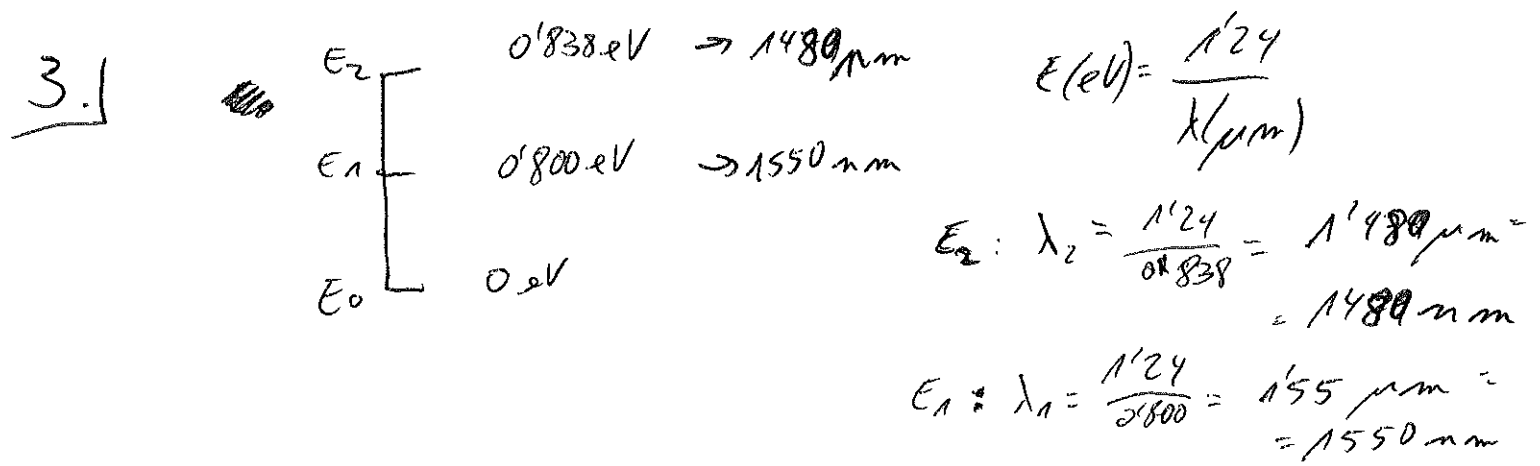
$$3.) T_G = \frac{1}{2 \text{ Gps}} = 500 \cdot 10^{-12} = 500 \text{ ps} = 0.5 \text{ ns}$$

$$-48 \text{ dBm} = 15.84 \cdot 10^{-6} \text{ W} = 15.84 \text{ } \cancel{\mu\text{W}}$$

NRZ:



$$P(0 / "1") = P(z \leq 3 / "1") = 1 - P(z = 1 / "1") - P(z = 2 / "1") - P(z = 0 / "1")$$



a) 1.] ABSORCIÓN ESTIMULADA: dado que el fotón tiene la energía justa del salto $0 \rightarrow 2$, el ión subirá al nivel E_2 , absorbiendo la energía del fotón por el proceso.

2.] No sucederá nada con ese ión, no interaccionará, puesto que la energía del fotón no corresponde a la energía de ningún salto MIRANDO DESDE EL NIVEL E_1 .

2/ 3.] ABSORCIÓN ESTIMULADA: lo mismo que en el caso 1, pero el salto será $0 \rightarrow 1$, puesto que el fotón incidente tiene la energía exacta de dicho salto $0 \rightarrow 1$.

4.] EMISIÓN ESTIMULADA: el átomo ~~que~~ que está en E_1 bajará a E_0 emitiendo ~~un~~ fotón igual que el incidente, a la vez que el incidente también continuará su camino. Esto es porque la $E_{\text{fotón}} = E_{\text{salto } 0 \rightarrow 1}$. En resumen, que entrará un fotón, saldrán dos iguales (el que ha entrado y uno gemelo) y el ~~fotón~~ átomo caerá a E_0 .

b) ~~La~~ La amplificación se producirá gracias a lo descrito en el apartado a.4, pero con muchos átomos a la vez. Si no hubiese inversión de población no habría suficientes átomos bajando el camino $1 \rightarrow 0$ (ó $2 \rightarrow 0$ si fuera el caso), sino que lo que pasaría es que subirían más átomos de los que bajan, y evitando por tanto que se

emitieran los "fotones duplicados".

Es como si los átomos en E_1 fueran el "combustible" para que hubiese amplificación, y los fotones incidentes fueran la chispa que enciende ese combustible.

Conviene que E_1 sea metaestable porque cuanto más tardan los átomos en caer espontáneamente $\frac{1}{2}$ a E_0 más fácil nos será acumularlos en E_1 . Si tuviera un tiempo de vida corto, la amplificación se daría tan sólo durante un instante, al inicio, y luego ya no amplificaría (o necesitaríamos un bombeo muy rápido y potente).

~~P bombeo = 100 mW~~
~~P señal = 28'65 mW~~

d) $P_S = 4 \text{ mW} \rightarrow 6'02 \text{ dBm}$
 $P_{\text{bombeo}} = 100 \text{ mW} \rightarrow 20 \text{ dBm}$

En la salida de señal: (NO SE PIDE)

$$\begin{aligned} \text{señal: } 6'02 \text{ dBm} & - 0'2 \text{ dB} \text{ (conector)} - 0'5 \text{ dB} \text{ (MUX1)} - 0'05 \text{ dB} \text{ (empalme)} + 13'70 \text{ dB} \text{ (fibra)} - 0'05 \text{ dB} \text{ (empalme)} \\ & - 0'5 \text{ dB} \text{ (MUX2)} = 0'2 \text{ dB} = 18'22 \text{ dBm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{bombeo: } 20 \text{ dBm} & - 0'05 \text{ dB} \text{ (empalme)} - 0'5 \text{ dB} \text{ (MUX1)} - 0'05 \text{ dB} \text{ (empalme)} - 6'22 \text{ dB} \text{ (atenuación fibra)} - 0'05 \text{ dB} \text{ (empalme)} \\ & - (0'5 \text{ dB} + 18 \text{ dB}) - 0'2 \text{ dB} \text{ (conector)} = -5'57 \text{ dBm} \end{aligned}$$

En la salida de monitorización:

$$\begin{aligned} \text{señal: } 6'02 \text{ dBm} & - 0'2 \text{ dB} - 0'5 \text{ dB} - 0'05 \text{ dB} + 13'70 \text{ dB} - 0'05 \text{ dB} - 0'5 \text{ dB} - 18 \text{ dB} - 0'2 \text{ dB} = \\ & = 0'22 \text{ dBm} = 0'05 \text{ mW} \\ \text{bombeo: } 20 \text{ dBm} & - 0'05 \text{ dB} - 0'5 \text{ dB} - 0'05 \text{ dB} - 6'22 \text{ dB} - 0'05 \text{ dB} - (0'5 \text{ dB} + 18 \text{ dB}) - 0'2 \text{ dB} = \\ & = -5'57 \text{ dBm} = 0'27 \text{ mW} \end{aligned}$$

2,5/3



6,9 SERGI MARI LLADO
GRUPO 2AT3

SISTEMES DE RADIOFREQUÈNCIA I ÒPTICS

QT06

Examen 11.01.07 (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. 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.

4. Este ejercicio debe contestarse en esta misma hoja

a) La matriz de parámetros S de un dispositivo de dos accesos es

$$[S] = \begin{pmatrix} a - j0.028 & -0.421 - j0.656 \\ -0.421 - j0.656 & a - j0.028 \end{pmatrix}$$

donde a es un número real positivo.

a1) (2.5 p) Obtener el valor de a en los dos supuestos siguientes:

- El dispositivo presenta una relación de onda estacionaria (VSWR) de 1.21:1..

0'095 V

- Las pérdidas de retorno del dispositivo son de 21.34 dB

0'081 V

a2) (1 p) Obtener la ganancia o atenuación en dB's del dispositivo.

2'16 dB V

a3) (1.5 p) Escribir el parámetro S_{21} en forma módulo/fase, con el módulo en dB's.

2'16 ~~59'30°~~ dB

b) La matriz de parámetros S de un acoplador direccional es

$$[S] = \begin{pmatrix} 0.037/167^\circ & 0.271/166^\circ & 0.962/-104^\circ & 0.011/61^\circ \\ 0.271/166^\circ & 0.037/167^\circ & 0.011/61^\circ & 0.962/-104^\circ \\ 0.962/-104^\circ & 0.011/61^\circ & 0.037/167^\circ & 0.271/166^\circ \\ 0.011/61^\circ & 0.962/-104^\circ & 0.271/166^\circ & 0.037/167^\circ \end{pmatrix}$$

b1) (1 p) Indicar que accesos están acoplados y cuáles están aislados.

1 y 2 están acoplados, así como 3 y 4. V
Están aislados 1-4 y 2-3. V

b2) (4 p) Indicar, en dB's, los valores de los siguientes parámetros: Pérdidas de retorno, Pérdidas de inserción, Acoplamiento, Aislamiento y Directividad.

LR = 28'63 dB V C = 11'34 dB V

LI = 0'33 dB V I = 28'63 dB

D = 17'29 dB

5. Circuitos concretos de dos accesos (atenuadores, amplificadores, filtros y aisladores): 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.

5) 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 50Ω de impedancia interna y 6 dBm de potencia disponible y una carga de valor Z_L . Calcular la potencia (en miliwatios y en dBm) disipada por el aislador en los dos casos siguientes:

- (5p) $Z_L = 50\Omega$
 - (5p) $Z_L = 75\Omega$
6. Circuitos concretos de más de dos accesos (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

$$\begin{bmatrix} 0 & i & m \\ i & 0 & k \\ m & k & 0 \end{bmatrix}$$

En el acceso 1 del puente se conecta un generador de tensión máxima V_g e impedancia interna 50Ω , en el acceso 3 se conecta una terminación ($R = 50\Omega$) y en el acceso 2 un voltímetro vectorial de impedancia 50Ω .

- (2.5 p) Dibujar un esquema del puente reflectométrico, junto con los elementos adicionales, numerar los puertos del puente e indicar todas las ondas de tensión no nulas que intervienen en el problema.
- (2.5 p) Obtener la expresión de las pérdidas de retorno medidas en el acceso 1.
- (2.5 p) Obtener la expresión de la lectura del voltímetro (valor eficaz).
- (2.5 p) Si en lugar de un voltímetro vectorial, utilizamos un voltímetro escalar ideal (solamente da información del módulo de la tensión, y tiene una impedancia interna muy alta, que puede suponerse infinita), obtener la expresión de la lectura del voltímetro (valor eficaz).

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

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