

Curso de Fotomultiplicadores de Silicio: fundamentos y aplicaciones

Ejercicios propuestos

Alumno: **Ignacio López de Rego**
Número de ejercicios: **6**
Fecha límite de entrega: **11 de junio de 2013**

NOTA. Al final de estas hojas de problemas se incluye una tabla de constantes universales y una tabla de desarrollos en serie.

Ejercicio 1 (distribución de Poisson)

Demuestre que la distribución de Poisson (dada por la siguiente expresión) es una función densidad de probabilidad.

$$P(n) = \frac{\mu^n}{n!} \cdot e^{-\mu}$$

Para ello verifique que se cumple: $\sum_{n=0}^{\infty} P(n) = 1$

NOTA. Puede resultarle útil tener en cuenta el desarrollo en serie de la función exponencial.

Ejercicio 2 (Detectividad en un fotoconductor)

Considere un fotoconductor cuya área activa es de 20 mm² y que posee una NEP de 15 pW cuando el ancho de banda considerado es de 2 kHz.

- Calcule la detectividad (**D**) y la detectividad corregida (**D***) en estas condiciones.
- Determine **NEP**, **D** y **D*** cuando el ancho de banda se reduce a 200 Hz. Justifique si esta limitación en ancho de banda es una decisión acertada.

NOTA. Exprese los resultados pedidos en las unidades adecuadas.

Ejercicio 3 (Ruido en un PIN ideal)

Considere un fotodiodo PIN ideal en el que su eficiencia cuántica es la máxima posible. Suponga que no hay resistor de carga y que el fotodiodo no genera ninguna corriente de oscuridad. Obtenga:

a) Una expresión para la potencia óptica incidente que corresponda con una relación señal a ruido unitaria.

b) Una expresión para la fotocorriente generada.

c) El valor de la fotocorriente que genera una excitación a 1300 nm, considerando un ancho de banda de 1 GHz, cuando la potencia incidente genera una $SNR = 1$. ¿Cuál es dicha potencia?

NOTAS. Considere que no hay pre-amplificador ($R_i = \infty$). Considere que el valor de la resistencia del fotodiodo está en el orden de los $M\Omega$.

Ejercicio 4 (Respuesta en un APD)

Un APD detecta a una longitud de onda de 15 μm con una responsividad de 0.7 $\text{A}\cdot\text{W}^{-1}$ y un factor de ganancia de 30. Considerando que el flujo fotónico incidente fuera de 10^{11} fotones $\cdot\text{s}^{-1}$, calcule la eficiencia cuántica del dispositivo y el valor eficaz de la fotocorriente generada.

Ejercicio 5 (Ruido en un APD)

Considere un APD de InGaAs con $x = 0.7$ y polarizado de tal modo que el factor de ganancia sea 10. La corriente de oscuridad no multiplicada es 10 nA. El ancho de banda a considerar es de 700 MHz.

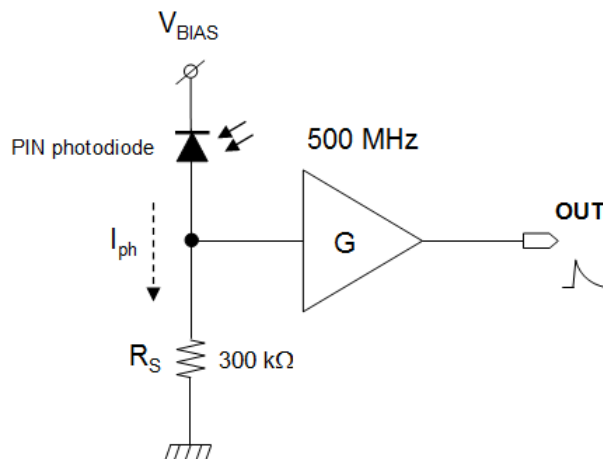
a) Obtenga la corriente de ruido shot que genera el dispositivo en ausencia de iluminación.

b) Si la responsividad es igual a $0.8 \text{ A}\cdot\text{W}^{-1}$ (cuando la ganancia intrínseca es unitaria), calcule la potencia óptica necesaria para lograr una $\text{SNR} = 10 \text{ dB}$. Tenga en cuenta únicamente el ruido de disparo.

NOTAS. Para el factor de ruido de exceso considere la forma simplificada $F \approx M^x$, donde M es la ganancia del fotodetector. Recuerde que $\text{SNR}(\text{dB}) = 10 \cdot \log(\text{SNR}(\text{u.n.}))$, donde $\text{SNR}(\text{u.n.})$ es la relación señal a ruido expresada en unidades naturales. Si en algún momento obtiene una corriente negativa, asuma que es un resultado a desechar.

Ejercicio 6 (SNR en un receptor)

Considere que el fotodiodo PIN del circuito receptor de la figura tiene una corriente de oscuridad de 5 nA . Considere que el amplificador tiene un ancho de banda de 500 MHz y que es ideal en términos de ruido (i.e. que es no ruidoso). Calcule la SNR del receptor cuando la potencia óptica incidente de 20 nW genera una fotocorriente de 15 nA . Exprese la SNR en unidades naturales y en decibelios. Justifique si en estas condiciones el fotodetector es capaz de detectar adecuadamente la señal óptica indicada.



NOTA. Asuma que la resistencia interna del fotodiodo y la impedancia de entrada del amplificador son mucho mayores que la resistencia de sentido (R_i y $R_d \sim \text{M}\Omega$; $R_s \sim \text{k}\Omega$)

Tabla de constantes	
Constante gravitación universal	$G = 6,673 \cdot 10^{-11} \text{ N.m}^2/\text{Kg}^2$
Velocidad de la luz en el vacío	$C = 2,997924589 \cdot 10^8 \text{ m/s}$
Aceleración normal de la gravedad	$g = 9,80665 \text{ m/s}^2$
Masa de la Tierra	$M_T = 6 \cdot 10^{24} \text{ Kg}$
Radio medio de la Tierra	$R_T = 6,367 \cdot 10^6 \text{ m}$
Distancia media Tierra-Sol	$D_{T-S} = 149,6 \cdot 10^9 \text{ m}$
Distancia media Tierra-Luna	$D_{T-L} = 3,84 \cdot 10^8 \text{ m}$
Velocidad orbital de la Tierra	$\Omega = 1,991 \cdot 10^{-7} \text{ rad.s}^{-1}$
Velocidad de rotación de la Tierra	$\omega = 7,292 \cdot 10^{-5} \text{ rad.s}^{-1}$
Número de Avogadro	$N_A = 6,023 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
Constante de los gases perfectos	$R = 8,314 \text{ JK}^{-1}\text{mol}^{-1}$
Volumen molar normal gas perfecto	$V = 22,4140 \text{ l}$
Densidad normal del mercurio (Hg)	$\rho = 1,35951 \cdot 10^4 \text{ Kg.m}^{-3}$
Presión atmosférica normal	$P_o = 1,01325 \cdot 10^5 \text{ N.m}^{-2}$
Temperatura del punto triple del agua	$T = 273,15 \text{ K}$
Constante de Boltzman	$K = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ JK}^{-1}$
Constante de Faraday	$F = 96.485,3 \text{ C/g.mol}$
Constante de Planck	$h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$
Constante de Stefan-Boltzman	$\sigma = 5,67032 \cdot 10^{-8} \text{ W.m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$
Permitividad en el vacío	$\epsilon_o = 8,854187818 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N.m}^2$
Permeabilidad en el vacío	$\mu_o = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T.m/A}$
Unidad de masa atómica	$u_{ma} = 1,6605655 \cdot 10^{-27} \text{ Kg}$
Carga del electrón	$e^- = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
Masa en reposo del electrón	$m_e = 9,109 \cdot 10^{-31} \text{ Kg}$
Masa en reposo del protón	$m_p = 1,672 \cdot 10^{-27} \text{ Kg}$
Masa en reposo del neutrón	$m_n = 1,675 \cdot 10^{-27} \text{ Kg}$
Magnetón de Bohr	$\mu_B = 9,274078 \cdot 10^{-24} \text{ J.T}^{-1}$
Magnetón nuclear	$\mu_N = 5,050824 \cdot 10^{-27} \text{ J.T}^{-1}$
Momento magnético electrón	$\mu_e = 9,284832 \cdot 10^{-24} \text{ J.T}^{-1}$
Momento magnético del protón	$\mu_p = 1,4106171 \cdot 10^{-26} \text{ J.T}^{-1}$

DESARROLLOS EN SERIE

$$\sum_{n=N}^M a^n = \frac{a^N - a^{M+1}}{1-a}$$

$$\sum_{n=n_0}^{\infty} a^n = \frac{a^{n_0}}{1-a}$$

$$\sum_{n=0}^{\infty} a^n = \frac{1}{1-a}$$

$$\sum_{n=1}^{\infty} a^n = \frac{a}{1-a}$$

$$\sum_{n=0}^{\infty} \frac{x^n}{n!} = e^x$$

$$\sum_{n=1}^{\infty} a_{n-1} = \sum_{n=0}^{\infty} a_n$$

$$\sum_{k=0}^N \binom{n}{k} \cdot \binom{m}{N-k} = \binom{n+m}{k}$$

$$\sum_{k=0}^n \binom{n}{k} \cdot a^k \cdot b^{n-k} = (a+b)^n$$

$$\binom{A}{B} = \frac{A!}{B! \cdot (A-B)!}$$