

Comunicaciones Ópticas

El Láser

Jesús Sanz Marcos

e-mail: jesus.sanz@upcnet.es

Barcelona, España. 4/11/2000

Introducción

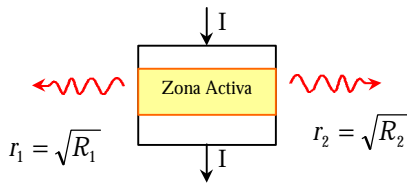
Podemos distinguir entre dos tipos de modulación:

- modulación de intensidad (IM-DD)
- modulación coherente (detección heterodina - CM-HD). En el receptor encontramos una fuente óptica en fase (coherente) con la señal recibida.

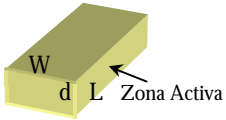
L.A.S.E.R. Light Amplification By Stimulated Emission of Radiation

Dos mecanismos fundamentales:

- Medio con ganancia (en Zona Activa)
- Realimentación (con reflexión).



Mecanismo de Ganancia óptica



$$W, d \downarrow \downarrow$$

$$df = \frac{v}{2L} \begin{cases} v = c/n \\ 2L = I_{\text{máx}} \end{cases}$$

$$f_m = m d f \Rightarrow I_m = \frac{I_{\text{máx}}}{m} \Rightarrow dI \cong \frac{I_p^2}{2L} = cte$$

$$\Gamma = \frac{\int_{ZA} |E(x, y)|^2 dx dy}{\int_T |E(x, y)|^2 dx dy} = \Gamma(I)$$

$$g = \Gamma g_m - a_s$$

$$a_s : \text{pérdidas scattering} \quad g_m = a(N - N_t)$$

$$g(I) = \Gamma g_m(I) - a_s$$

$$g_m(I) = a(N - N_t) - g(I - I_p)^2$$

Condición de oscilación

$$E(t, 0^+) = r_1 r_2 E_0 e^{\frac{g}{2} L} e^{-j2bL} e^{j\omega t}$$

$$E^* \cong E_0 \sqrt{R_1 R_2} e^{gL} e^{-j2bL}$$

$$\text{oscila} \Leftrightarrow \begin{cases} \sqrt{R_1 R_2} e^{gL} = 1 \\ e^{-j2bL} = 1 \end{cases}$$

\Downarrow

$$g = \frac{1}{2L} \ln \frac{1}{R_1 R_2} : \text{cond. amplitud}$$

$$b = p \frac{p}{L} \mid p \in \mathbb{Z} : \text{cond. fase}$$

Corriente umbral efecto Láser

$$g = \Gamma g_m - a_s$$

$$N_{th} = N_t + \frac{a_s}{\Gamma a}$$

electrones/vol que hay que inyectar en la banda de conducción para que se produzca el efecto *laser*.

$$a_t = a_s + g = a_s + \frac{1}{2L} \ln \frac{1}{R_1 R_2}$$

$$t_{\text{photon}} = \frac{1}{v t_{ph}} \approx 10^{-12} \text{ seg} \quad I_{th} = \frac{qV}{t_{sp}} N_{th}$$

Anchura de línea

$$W_L = \frac{df}{F} \quad F = \frac{p}{L a_t} \Rightarrow$$

$$W_L = \frac{V}{2p} \left(a_s + \frac{1}{2L} \ln \frac{1}{R_1 R_2} \right)$$

Ecuaciones de ritmo

Ecuación de portadores

$$\frac{dN}{dt} = R - \frac{N}{t_{sp}} - v \Gamma g_m(I) S(I)$$

$$R = \frac{I}{qV} = \frac{N^o}{t_{sp}} : \text{bombeo}$$

N : densidad de portadores en eq. señal.

$V = W L d$: volumen zona activa

$S(I)$: densidad volumen de fotones

v : velocidad en zona activa

Ecuación de la densidad de fotones

$$\frac{dS(I)}{dt} = v(\Gamma g_m(I) - a_t) S(I) + b \frac{N}{t_{sp}}$$

b : factor de emisión espontánea

$$a_t = a_s + \frac{1}{2L} \ln \frac{1}{R_1 R_2} : \text{pérdidas totales}$$

t_{sp} : tiempo de vida del portador

Γ : factor de confinamiento

1ª Ecuación de ritmo (estacionario)

$$\frac{J}{qd} = \left(\frac{1}{t_{sp}} + v \Gamma a S \right) N - v \Gamma a S N_t$$

$$\text{bombeo} = \text{vaciamiento} \begin{cases} sp \\ st \end{cases} - \text{llenado}$$

2ª Ecuación de ritmo

$$b \frac{N}{t_{sp}} + v\Gamma aNS = v\Gamma aN_t S + va_t S$$

$$EM.SP + EM.ST = ABS.EST + "pérdidas"$$

Régimen estacionario

$$S_0 = (N - N_{th}) \frac{t_{ph}}{t_{sp}} = (I - I_{th}) \frac{t_{ph}}{qV} = (J - J_{th}) \frac{t_{ph}}{qd}$$

Potencia de salida

$$\text{Si } R_1 = R_2 = R \Rightarrow$$

$$S_{out} = \frac{1}{2} \frac{1-R}{\sqrt{R}} S_0 \quad P_{out} = vhfWdS_{out}$$

$$P_{out} = \frac{1}{2} \frac{1-R}{\sqrt{R}} \frac{hfW}{qa_t} (J - J_{th}) \propto (I - I_{th})$$

Comportamiento real

$$\frac{P_k}{P_0} = \frac{1}{1 + P_0 / P_k^{sat}}$$

$$\text{Laser "monomodo"} \quad \frac{P_0}{P_1} \geq \begin{cases} 13 \text{ dB (2ª ventana)} \\ 20 \text{ dB (3ª ventana)} \end{cases}$$

$$b \propto \frac{I^4}{\Delta I Vol}$$

Interesa $b \downarrow$ (reducimos anchura espectral.
factor de emisión espontánea acoplada.

Estructuras

Cavidad resonadora compuesta (externa)

Está formada por dos cavidades, una de distancia L y otra de distancia D, con respectivos índices de refracción.

$$dI_{tot} = \frac{I_p^2}{2(Dn_D - Ln_L)}$$

Laser con realimentación distribuida (DFB)

La parte superior de la zona activa tiene una forma triangular con un periodo de "grating" de:

$$m \frac{\lambda}{2}$$

Modulación digital laser

$$a) \quad I_{OFF} < I_{th} < I_{ON}$$

$$N(t) = -\frac{t_{sp}}{qV} (I_{ON} - I_{OFF})^2 e^{-t/t_{sp}} + \frac{I_{ON} t_{sp}}{qV}$$

$$t_D = t_{sp} \ln \frac{I_{ON} - I_{OFF}}{I_{ON} - I_{th}} < t_{sp}$$

$$b) \quad I_{th} < I_{OFF}$$

$$N(t) \cong N_{th} + \frac{I_{ON} - I_{off}}{qV} t \quad 0 < t < t_{ON}$$

$$S(t) \cong S_{OFF} e^{\frac{v\Gamma A}{2qV} (I_{ON} - I_{OFF}) t^2}$$

$$S(t_{ON}) = S_{ON} \rightarrow$$

$$t_{ON}^2 = \frac{2qV \ln(P_{ON} / P_{OFF})}{v\Gamma A (I_{ON} - I_{OFF})}$$