

LA RESPUESTA A LA MODULACIÓN DE LOS LASER'S SEMICONDUCTORES

- DETERMINAR UNA SOLUCIÓN A LAS ECUACIONES DE LA VELOCIDAD DE VARIACIÓN.

$$\frac{dP}{dt} = GP - R_{sp} - \frac{P}{\tau_p}, \quad \frac{dN}{dt} = \frac{I}{q} - \frac{N}{\tau_c} - GP$$

- PARA UNA CORRIENTE DEPENDIENTE DEL TIEMPO DE LA FORMA:

$$I(t) = I_b + I_m f_p(t)$$

- I_b = CORRIENTE DE POLARIZACIÓN
- I_m = CORRIENTE
- $f_p(t)$ = FORMA DEL IMPULSO DE CORRIENTE.

PRIMER CAMBIO PARA DETERMINAR LA DESCRIPCIÓN REAL.

- PARA “G”=LA VELOCIDAD DE LA VARIACIÓN DE LA EMISIÓN ESTIMULADA DE LA RED. $G = \Gamma v_g \cdot g = G_N(N - N_0)$

- SE MODIFICA DE LA FORMA:

$$G = G_N(N - N_0)(1 - \epsilon_{NL} P)$$

- ϵ_{NL} =PARÁMETRO DE GANANCIA NO LINEAL.

- PERMITE UNA REDUCCIÓN INSIGNIFICANTE DE “G” CON INCREMENTO DE “P”.

- FENÓMENOS FÍSICOS QUE EXPLICAN ESTA REDUCCIÓN:

- RECALENTAMIENTO ESPACIAL Y ESPECTRAL DE LOS HUECOS, RECALENTAMIENTO DE PORTADORES, ABSORCIÓN DE FOTONES.

- VALOR TÍPICO: $\epsilon_{NL} = 10^{-7}$

•SIMPLIFICACIÓN:

- LA VELOCIDAD DE LA VARIACIÓN DE LA EMISIÓN ESTIMULADA “G”

$$G = G_N(N - N_0) \left(1 + \frac{P}{P_s} \right)^{-b} \quad \text{con } \epsilon_{NL} P \ll 1$$

- P_s =ES UN PARÁMETRO DEL MATERIAL.

- SI LA POTENCIA >10mW

- OCURRE UN RECALENTAMIENTO ESPECTRAL DE HUECOS: $b = \frac{1}{2}$
- b SE PUEDE VARIAR EN EL RANGO DE 0,2 A 1,0

- DEBIDO AL EFECTO DE RECALENTAMIENTO DE PORTADORES.

SEGUNDO CAMBIO PARA DETERMINAR LA DESCRIPCIÓN REAL

•REPRESENTA UNA PROPIEDAD IMPORTANTE DE LOS LASERS SEMICONDUCTORES.

•**UN CAMBIO DEL ÍNDICE DE REFRACCIÓN SE PRODUCE:**

•SIEMPRE QUE LA GANANCIA ÓPTICA CAMBIE

•**COMO RESULTADO DE CAMBIOS EN LA VECINDAD DE PORTADORES “N”.**

•**PUNTO DE VISTA FÍSICO:**

•EN LOS LASER’S SEMICONDUCTORES LA MODULACIÓN DE AMPLITUD ESTÁ SIEMPRE ACOMPÑADA **POR MODULACIÓN DE FASE.**

•ESTO ES CONSECUENCIA A CAMBIOS INDUCIDOS **DE PORTADORES DE CARGA EN EL ÍNDICE DE REFRACCIÓN MODAL.**

•MODULACIÓN DE FASE SE PUEDE INCLUIR POR MEDIO DE LA ECUACIÓN:

$$\frac{d\phi}{dt} = \frac{1}{2}\beta_c \left(G_N(N - N_0) - \frac{1}{\tau_p} \right)$$

• β_c =PARÁMETRO DE ACOPLAMIENTO AMPLITUD-FASE (FACTOR DE INCREMENTO DE LA ANCHURA DE LÍNEA)

• β_c PERMITE UN INCREMENTO DE LA ANCHURA ESPECTRAL ASOCIADA CON EL MODO ÚNICO LONGITUDINAL.

•VALORES TÍPICOS PARA β_c EN LASERS DE **InGaAsP** EN EL RANGO DE 4 A 8.

•DEPENDE DE LA LONGITUD DE ONDA DE OPERACIÓN.

•EN LASERS **MQW** (CON MULTIPOZOS CUÁNTICOS) SE OBTIENE BAJOS VALORES DE β_c

MODULACIÓN CON PEQUEÑA SEÑAL

• LA NATURALEZA **NO LINEAL** DE LAS ECUACIONES DE VELOCIDAD DE VARIACIÓN: $\frac{dP}{dt} = GP + R_{sp} - \frac{P}{\tau_p}$; $\frac{dN}{dt} = \frac{I}{q} - \frac{N}{\tau_c} - GP$

• HACE NECESARIO DETERMINAR UNA **SOLUCIÓN NUMÉRICA**.

•CONDICIONES PARA PEQUEÑA SEÑAL

• SE DETERMINA UNA SOLUCIÓN ANALÍTICA.

• EL LASER SE POLARIZA POR ENCIMA DEL NIVEL UMBRAL:

$$I_b > I_{th}$$

• SE MODULA DE TAL FORMA QUE CUMPLA:

$$I_m \ll I_b - I_{th}$$

• **EN ESTE CASO SE PUEDE LINEALIZAR LAS ECUACIONES DE VELOCIDAD DE VARIACIÓN.**

• SE RESUELVEN ANALÍTICAMENTE POR MEDIO DE LA TÉCNICA DE LAS TRANSFORMADAS DE FOURIER; **PARA UNA FORMA ARBITRARIA DE : $f_p(t)$**

EL ANCHO DE BANDA DE LA MODULACIÓN PARA PEQUEÑA SEÑAL

• SE DETERMINA CONSIDERANDO LA **RESPUESTA DE LOS LASERS SEMICONDUCTORES** A LA MODULACIÓN SENOIDAL.

• PARA LA FRECUENCIA: ω_m

• CON UNA SEÑAL: $f_p(t) = \text{sen}(\omega_m t)$

• LA SALIDA DEL LASER SE MODULA SENOIDÁLMENTE.

SOLUCIONES GENERALES PARA LAS ECUACIONES DE VELOCIDAD DE VARIACIÓN.

$$P(t) = P_b + |p_m| \text{sen}(\omega_m t + \theta_m)$$

$$N(t) = N_b + |n_m| \text{sen}(\omega_m t + \psi_m)$$

• “P”=NÚMERO DE FOTONES. “N”=NÚMERO DE ELECTRONES

• “ P_b Y N_b ”=VALORES EN EL ESTADO ESTACIONARIO. PARA LA CORRIENTE DE POLARIZACIÓN I_b .

• $|p_m|$ y $|n_m|$ =CAMBIOS PEQUEÑOS GENERADOS POR LA MODULACIÓN DE CORRIENTE.

• θ_m y ψ_m =CONTROLAN LA **POSICIÓN DE LA FASE** ASOCIADA CON LA MODULACIÓN DE PEQUEÑA SEÑAL.

- P_m RESPONDE COMO:

$$p_m = |p_m| e^{j\theta_m}; \quad p_m(\omega_m) = \frac{P_b G_N \frac{I_m}{q}}{(\Omega_R + \omega_m - j\Gamma_R)(\Omega_R - \omega_m + j\Gamma_R)}$$

$$\text{donde } \Omega_R = [G G_N P_b - (\Gamma_P - \Gamma_N)^2 / 4]^{1/2}$$

$$\Gamma_P = R_{sp} / P_b + \epsilon_{NL} G P_b; \quad \Gamma_R = (\Gamma_P + \Gamma_N) / 2; \quad \Gamma_N = \tau_C^{-1} + G_N P_b$$

- Γ_P = FRECUENCIA DE LA OSCILACIÓN DE RELAJACIÓN.
- Γ_N = VELOCIDAD DE AMORTIGUACIÓN DE LA OSCILACIÓN DE RELAJACIÓN.
- **ESTOS DOS PARÁMETROS JUEGAN UN PAPEL IMPORTANTE EN EL CONTROL DE LA RESPUESTA DINÁMICA DEL LASER SEMICONDUCTOR.**
- **LA EFICIENCIA DISMINUYE SI LA FRECUENCIA DE MODULACIÓN EXCEDE A LA FRECUENCIA Ω_R EN UNA CANTIDAD MUY GRANDE.**

LA FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA

- SE INTRODUCE SIMILAR AL CASO DEL LED, COMO:

$$H(\omega_m) = \frac{p_m(\omega_m)}{p_m(0)} = \frac{\Omega_R^2 + \Gamma_R^2}{(\Omega_R + \omega_m - j\Gamma_R)(\Omega_R - \omega_m + j\Gamma_R)}$$

LA RESPUESTA A LA MODULACIÓN

- **PLANA:** $H(\omega_m) \approx 1$ para frecuencia $\omega_m \ll \Omega_R$
- **MUESTRA UN PICO MÁXIMO:** $\omega_m = \Omega_R$
- **MUESTRA UNA CAIDA ABRUPTA:** PARA $\omega_m \gg \Omega_R$
 - ESTAS CARACTERÍSTICAS SE OBSERVAN EN TODOS LOS LASERS SEMICONDUCTORES
 - **EL ANCHO DE BANDA DE 3dB (f_{3dB})**
 - SE DEFINE COMO LA FRECUENCIA A PARTIR DE LA CUAL $|H(\omega_m)|$ SE REDUCE EN 3dB O EN EL FACTOR 2 COMPARADO CON SU VALOR d.c. DE CORRIENTE DIRECTA.

LA FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA $H(\omega_m)$ PARA 3 d.B. (f_{3dB})

$$f_{3dB} = \frac{1}{2\pi} \left[\Omega_R^2 + \Gamma_R^2 + 2(\Omega_R^4 + \Omega_R^2 \Gamma_R^2 + \Gamma_R^4)^{1/2} \right]^{1/2}$$

•**SIMPLIFICACIÓN:** PARA LA MAYORÍA DE LOS LASERS, ES VÁLIDO:
 $\Gamma_R \ll \Omega_R \rightarrow f_{3dB}$ se aproxima a :

$$f_{3dB} \approx \frac{\sqrt{3}\Omega_R}{2\pi} \approx \left(\frac{3G_N P_b}{4\pi^2 \tau_p} \right)^{1/2} = \left[\frac{3G_N}{4\pi^2 q} (I_b - I_{th}) \right]^{1/2}$$

• f_{3dB} SE INCREMENTA CON UN AUMENTO EN EL NIVEL DE LA POLARIZACIÓN DE ACUERDO A: $\sqrt{P_b}$ o $\sqrt{(I_b - I_{th})}$

• P_b =NÚMERO DE FOTONES EN ESTADO ESTACIONARIO PARA LA CORRIENTE DE POLARIZACIÓN I_b .

•SE OBSERVA UNA **DEPENDENCIA DE LA RAIZ CUADRA** VERIFICADA EN MUCHOS LASERS SEMICONDUCTORES.

•**FIGURA:** RESPUESTA A LA MODULACIÓN DE PEQUEÑA SEÑAL MEDIDA EN UN **LASER DFB PARA $1,3\mu m$** , EN FUNCIÓN DE LA FRECUENCIA DE MODULACIÓN PARA VARIOS NIVELES DE POLARIZACIÓN:

