

Formulario di Optoelettronica

Lorenzo Rossi - lorenzo14.rossi@mail.polimi.it

AA 2019/2020

Email: lorenzo14.rossi@mail.polimi.it

GitHub: <https://github.com/lorossi>

Quest'opera è distribuita con Licenza Creative Commons Attribuzione

Non commerciale 4.0 Internazionale 

Versione aggiornata al 30/04/2021

Indice

| | | |
|----------|--------------------------------------|----------|
| 1 | Riguardo al formulario | 1 |
| 2 | Richiami di elettromagnetismo | 1 |
| 3 | Cavità di Fabry-Perot | 2 |
| 4 | Guida d'onda | 3 |
| 5 | Bragg reflector | 3 |
| 6 | Fibra ottica | 4 |
| 6.1 | Fibra step index | 4 |

1 Riguardo al formulario

Quest'opera è distribuita con Licenza Creative Commons - Attribuzione Non commerciale 4.0 Internazionale 

Questo formulario verrà espanso (ed, eventualmente, corretto) periodicamente fino a fine corso (o finché non verrà ritenuto completo).

Link repository di GitHub: <https://github.com/lorossi/formulario-optoelettronica>

L'ultima versione può essere scaricata direttamente cliccando [su questo link](#).

In questo formulario ho cercato prima di tutto di mettere le formule importanti per la risoluzione degli esercizi, preferendole a quelle utili alla comprensione della materia.

2 Richiami di elettromagnetismo

- Velocità pacchetto d'onda (velocità di gruppo) $v = \frac{\partial \omega}{\partial k} = \frac{c}{N_g}$
- Velocità di fase $v_f = \frac{\omega}{k} = \frac{c}{n}$
- Indice di gruppo $N_g = n - \lambda_0 \frac{dn}{d\lambda_0}$
- Angoli $\theta_i \rightarrow$ fascio incidente, $\theta_r \rightarrow$ fascio riflesso, $\theta_t \rightarrow$ fascio trasmesso
- Leggi di Snell, con $n_1 > n_2$
 1. $\theta_i = \theta_r$
 2. $n_1 \sin(\theta_i) = n_2 \sin(\theta_t)$
 3. Per $\theta_i > \theta_c$ si ha riflessione interna totale (TIR), $\theta_c = \arcsin \frac{n_2}{n_1}$
- Tunneling ottico
 1. Campo evanescente $\vec{E}_t(y, z, t) \propto \exp -\alpha_2 y \exp j(\omega t - k_{iz} z)$
 2. Coefficiente di attenuazione $\alpha_2 = \frac{2\pi n_2}{\lambda_0} \left[\left(\frac{n_1}{n_2} \right)^2 \sin^2(\theta_i) - 1 \right]^{1/2} = \frac{2\pi n_2}{\lambda_0} \left(\frac{\sin^2(\theta_i)}{\sin^2(\theta_c)} - 1 \right)^{1/2}$
 3. Se $\theta_i > \theta_c$, α_2 aumenta
- Perdita dovuta alla riflessione $r = \frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2}$, $R = r^2$
- Perdita dovuta alla trasmissione $t = \frac{2n_1}{n_1 + n_2}$
- Sfasamento
 - Dovuto alla riflessione interna $\phi = 0$
 - Dovuto alla riflessione esterna $\phi = \pi$
 - Dovuto all'attraversamento di un mezzo di lunghezza $d\phi = d \frac{2\pi n}{\lambda_0}$
 - Dovuto alla riflessione interna totale (TIR) $\tan \left(\frac{1}{2} \Phi_{\perp} \right) = \frac{\left(\sin^2(\theta_1) - \left(d \frac{n_1}{n_2} \right)^2 \right)}{\cos(\theta_i)}$, $\tan \left(\frac{1}{2} \Phi_{\parallel} + \frac{1}{2} \pi \right) = \left(\frac{n_1}{n_2} \right)^2 \tan(\Theta_{\perp})$

- Coerenza
 - Spaziale $l_c = c \cdot \Delta\nu$
 - Temporale $t_c = \frac{1}{\Delta\nu}$
- Interferenza
 - Fasci individuali $\vec{E}_1 = \vec{E}_{10} \exp j(kr_1 - \omega t + \phi_1)$, $\vec{E}_2 = \vec{E}_{20} \exp j(kr_2 - \omega t + \phi_2)$
 - Campo totale $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$
 - Modulo quadro $|\vec{E}|^2 = |\vec{E}_1|^2 + |\vec{E}_2|^2 + 2\vec{E}_1 \times \vec{E}_2$
 - Intensità $I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos(\delta)$ con $\delta = k(r_2 - r_1) + \phi_2 - \phi_1$
- Interferenza costruttiva $\delta = 2m\pi$, $I = 4I_1 = 4I_2$
- Interferenza distruttiva $\delta = 2(m+1)\pi$, $I = 0$

3 Cavit  di Fabry-Perot

- Interferenza costruttiva per $\nu = m \frac{c}{2L}$, $L = m \frac{\lambda}{2}$
- Spettro massimo per $L = m \frac{\lambda}{2}$
- Campo elettrico totale $\vec{E} = \frac{A_0}{1 - R \cdot e^{j2kl}}$
- Intensit  totale $I = |E|^2 = \frac{A_0^2}{(1 - R)^2 + 4R \sin(kL)^2}$
- Massima ampiezza $I_{max} = \frac{I_0}{(1 - R)^2}$
- Mezza larghezza a met  altezza $\frac{I_{max}}{2} = \frac{I_0}{(1 - R)^2 + 4R \sin(kL)^2} \Rightarrow \sin(kL) = \frac{1 - R}{2\sqrt{R}}$
- Finezza spettrale $F = \frac{\pi\sqrt{R}}{1 - R}$
- Assunto $R \approx 1$ si ottiene $kL \approx \frac{1 - R}{2\sqrt{R}} = \frac{2L}{c} \pi \nu \Rightarrow \nu = \frac{1}{2} \frac{\frac{c}{2L}}{\frac{\pi\sqrt{R}}{1 - R}}$
- Full width half maximum (FWHM) $\Delta\nu = \frac{\frac{C}{2L}}{\frac{\pi\sqrt{R}}{1 - r}}$
- $\Delta\nu_{FWHM} = \frac{C}{2n_s L}$
- Fattore qualit  $Q = \frac{\nu_m}{\Delta\nu} = mF$

4 Guida d'onda

- Angolo caratteristico del modo $\theta_m = \sqrt{1 - \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2}$
- Condizione di guida d'onda $\frac{2\pi n_1(2a)}{\lambda} \cos(\theta_m) - \Phi_m = m\pi$
- Componenti del modo
 1. Componente viaggiante $\beta_m = k_1 \sin(\theta_m)$
 2. Componente stazionaria $\kappa_m = k_1 \cos(\theta_m)$
- Numero di modi
 - V-number $V = \frac{2\pi a n_1}{\lambda} \sqrt{1 - \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2}$
 - Numero di modi $m < \frac{2V - \Phi_m}{\pi}$
 - Numero totale di modi $\text{int}\left(\frac{2V}{\pi}\right) + 1$
 - Propagazione monomodale $V < \frac{\pi}{2}$
 - Lunghezza di cut-off $\lambda > \lambda_c = 4a\sqrt{n_1^2 - n_2^2}$
- Dispersione
 1. Intermodale
 - Stima della dispersione intermodale $\Delta\tau = \frac{Ln_1}{c} - \frac{Ln_2}{c}$
 - Dispersione per unità di lunghezza $\frac{\Delta\tau}{L} = \frac{n_1 - n_2}{c}$
 2. Intramodale
 - In presenza di un solo modo ($\omega < \omega_{cutoff}$) il pacchetto si distribuisce su un range di frequenze angolari
 - $\Delta\omega = \frac{2\pi}{\Delta\tau}$
 3. Di materiale
 - Prescinde dalla propagazione in guida e discende dalla dipendenza di n dalla lunghezza d'onda
 - $v_g = \frac{d\omega}{dk} = \frac{c}{n - \lambda_0 \frac{dn}{d\lambda_0}} = \frac{c}{N_g}$

5 Bragg reflector

- Massima riflettanza $R_N = \left(\frac{n_1^{2N} - (n_0/n_3) \cdot n_2^{2N}}{n_1^{2N} + (n_0/n_3) \cdot n_2^{2N}} \right)^2$ con N numero di doppi strati utilizzati
- Riflettanza $R = \sqrt{R_1 R_2}$
- Larghezza di banda $\Delta\lambda \approx \frac{4}{\pi} \arcsin\left(\frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2}\right)$

6 Fibra ottica

6.1 Fibra step index

- Differenza di indice relativa $\Delta = \frac{n_1 - n_2}{n_1}$
- V number $V = \frac{2\pi a}{\lambda} \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = \frac{2\pi a}{\lambda} \sqrt{2n_1\Delta}$ con $n = \frac{n_1 + n_2}{2}$. Per $V < 2.405$ ho fibra monomodale.
- Numero di modi $M \approx \frac{V^2}{2}$
- Attenuazione in fibra $\alpha = -\frac{1}{P} \frac{dP}{dx} \rightarrow P = P_0 e^{-\alpha L}$, $E = E_0 e^{-\alpha L/2}$
- Dispersione
 1. Intermodale $\frac{\Delta\tau}{L} \approx \frac{n_1 - n_2}{c} = \frac{n_1\Delta}{c}$
 2. Di materiale $\frac{\Delta\tau}{L} = |D_m| \Delta\lambda$ con $D_m = -\frac{\lambda}{c} \frac{d^2 n}{d\lambda^2}$
 3. Di guida/cromatica $\frac{\Delta\tau}{L} = |D_w| \Delta\lambda$
 4. Sommando D_m e D_w si ottiene la dispersione cromatica $\frac{\Delta\tau}{L} = |D_m + D_w| \Delta\lambda = |D_{Cr}| \Delta\lambda$
- Apertura numerica (NA)
 1. $NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$
 2. Angolo di accettanza massimo $\alpha = \arcsin\left(\frac{NA}{n_0}\right)$
 3. V-Number $V = \frac{2\pi a}{\lambda} NA$