

n'affecte pas significativement le profil des modes de la fibre, l'équation de propagation de F s'écrit

$$iA(x, y) \frac{\partial F}{\partial z} = -\frac{3\beta_0}{2n_0^2} \chi_{xxxx}^{(3)} |A|^2 A |F|^2 F |N|^2 N. \quad (1)$$

- 3) En multipliant cette équation par A^* , en l'intégrant sur le plan transverse et en choisissant N tel que $|F|^2$ représente la puissance instantanée du champ en z , que devient l'équation d'onde ? Dans le terme non linéaire, faites apparaître le coefficient $\gamma = k_0 n_2^I / A_{\text{eff}}$ où A_{eff} est l'aire effective du champ guidé et où n_2^I est le coefficient de Kerr relatif à l'intensité du champ. Sur quel(s) paramètre(s) peut-on agir pour augmenter ou diminuer l'importance des effets non linéaires ?

Complétez le tableau ci-dessous ($\lambda = 1,5 \mu\text{m}$) :

Type guide	n_2^I (m ² /W)	A_{eff} (μm ²)	γ
SMF	2.6×10^{-20}	80	
HNLF	4.5×10^{-20}	11	
Si waveguide	4.7×10^{-18}	0.064	

- 4) Que devient cette dernière équation d'onde lorsque l'on tient compte de la dispersion des vitesses de groupe et des pertes linéaires ?

2 Système d'équations d'onde couplées pour deux champs

Nous allons maintenant établir le système d'équations NLS couplées qui s'applique à la propagation de deux champs à des fréquences différentes (couplage incohérent).

Soit A l'enveloppe du champ à la fréquence ω_0 et B l'enveloppe du champ à la fréquence $\omega_0 + \Delta\omega$, de sorte que l'on puisse écrire le champ F sous la forme :

$$F(z, t) = A(z, t) + B(z, t)e^{-i\Delta\omega t}. \quad (2)$$

Montrez que l'équation d'onde peut se réduire à un système d'équations non linéaires couplées de la forme :

$$i\partial_z A - \frac{\beta_0''}{2} \partial_{tt} A + i\frac{\alpha}{2} A + \gamma (|A|^2 + 2|B|^2) A = 0, \quad (3a)$$

$$i\partial_z B + i\Delta\beta_0' \partial_t B - \frac{\beta_0''}{2} \partial_{tt} B + i\frac{\alpha}{2} B + \frac{\omega_B}{\omega_A} \gamma (|B|^2 + 2|A|^2) B = 0, \quad (3b)$$

où $\Delta\beta_0' = \beta_0'(\omega_0 + \Delta\omega) - \beta_0'(\omega_0)$.

3 Étude du NOLM

Soit A_{in} un signal de faible amplitude injecté dans le port 1 du coupleur C, et B , une impulsion intense de contrôle injectée dans la boucle par le coupleur WDM₁ et filtrée par le coupleur WDM₂.

Déterminez la fonction de transfert du NOLM sur les deux ports de sortie 1 & 2 dans l'hypothèse où le coupleur C est un coupleur 50/50 ne présentant pas de pertes d'insertion.

3.1 Déphasage du signal co-propageant avec l'impulsion de contrôle

Le déphasage du signal co-propageant ϕ_{co} avec l'impulsion de contrôle s'obtient en résolvant le système d'équations couplées Eq.3. Ce système peut être résolu analytiquement lorsque les pertes linéaires et la dispersion des vitesses de groupe sont négligées ainsi que les déphasages induits par le signal.

Sous ces hypothèses, résolvez le système Eq.3 et déduisez-en le déphasage ϕ_{co} .

3.2 Déphasage du signal contra-propageant avec l'impulsion de contrôle

Sur base de l'expression de ϕ_{co} , déduisez le déphasage ϕ_{contr}^1 induit par une impulsion de contrôle sur le signal contra-propageant. Pour cela, supposez que le signal en $z = 0$ ($A(z = 0, t_0)$) et $z = L$ ($A(z = L, t_0)$) n'a pas de recouvrement temporel avec l'impulsion de contrôle, c'est-à-dire que ces deux impulsions se croisent entièrement dans la boucle.

Dans le cas où le signal de contrôle est un train d'impulsions identiques dont le taux de répétition est ν_{rep} , quel est le déphasage total (ϕ_{contr}) induit par le signal de contrôle sur le signal contra-propageant ?

3.3 Application à la modulation d'amplitude

Déterminez l'amplitude du signal sur les deux ports de sortie de la boucle, en supposant que l'impulsion de contrôle est de la forme $B(t) = U \text{sech}(t/T_0)$ et représentez graphiquement ce résultat. Que devient-il dans la limite $\Delta\beta'_0 \rightarrow 0$?

3.4 Simulations numériques du fonctionnement d'un NOLM

1 La méthode de FOURIER à pas divisés

Il existe différentes méthodes numériques permettant de résoudre les équations de SCHRÖDINGER non linéaires (NLS) couplées. Parmi celles-ci, la méthode de FOURIER à pas divisés est l'une des plus utilisée en raison de sa rapidité par rapport à d'autres méthodes, à précision identique.

Sur base du document provenant de la référence [G.P. Agrawal, *Nonlinear fiber optics 4th edition*, Academic Press (2007), Chap.2], établissez l'organigramme expliquant le fonctionnement de la méthode de FOURIER à pas divisés.

2 Simulations numériques

- 1) Complétez les routines MATLAB[®] fournies afin de pouvoir simuler la propagation, dans une fibre optique non linéaire, de deux impulsions centrées sur des longueurs d'onde différentes.
- 2) Montrez qu'un NOLM peut être utilisé pour générer des impulsions au départ d'une onde continue. Mettez en évidence l'effet du glissement temporel entre les deux impulsions (terme en $\Delta\beta'_0$) et de la dispersion des vitesses de groupes et comparez au résultat analytique.
- 3) Vérifiez que l'auto-modulation de phase sur le signal de contrôle n'influence pas le déphasage induit sur le signal.
- 4) Montrez qu'un dispositif de type NOLM peut être utilisé pour démultiplexer temporellement un signal à 64 Gb/s. Pour cela, vous pouvez-vous baser sur les paramètres de l'expérience reportée dans l'article d'Andrekson (IEEE PTL, 4, 644 (1992)).