

Il Guadagno Parametrico nella Fibra e i suoi Effetti sul Rumore ASE

Andrea Carena[‡], Vittorio Curri[‡], Roberto Gaudino[‡],
Filippo Bentivoglio Ravasio[†], Paolo Ottolenghi[†],

[‡] Dipartimento di Elettronica, Politecnico di Torino,
Corso Duca degli Abruzzi 24, 10129, Torino, Italia.

E-mail (Internet) [*cognome*]@polito.it,
Fax +39.11.5644099.

[†] Submarine Transmission Systems, R&D Dept., Pirelli Cavi S.p.A.,
Viale Sarca 222, 20126, Milano, Italia.

E-mail (Internet) [*nome.cognome*]@pirelli.com,
Fax +39.2.64429346.

Sommario

- Si studia la propagazione non lineare nella fibra di un un “probe” a bassa potenza (rumore ASE) in presenza di una “pompa”.
- Si ottiene un innovativo formalismo a matrice di trasmissione (TM).
- Utilizzando il formalismo a TM si studia il Guadagno Parametrico (PG) in entrambi i regimi dispersivi dimostrando la presenza del fenomeno anche in dispersione normale ($D < 0$). Con $D > 0$ si conferma la presenza della Instabilità di Modulazione (MI).
- I risultati analitici vengono validati mediante uno strumento simulativo.
- Si analizza il PG anche in presenza di birifrangenza dimostrando che lo studio senza birifrangenza può essere usato per la valutazione delle prestazioni sistemiche.

Lo studio analitico in assenza di birifrangenza (I)

Si assume che il segnale sia nella forma:

$$U(z, T) = \left[\sqrt{P_0} + a(z, T) \right] e^{[-\alpha z + j(\omega_0 T - \Phi_{NL})]} \quad (1)$$

dove P_0 è la potenza della pompa, $a(z, T)$ è il rumore ASE, α è il coefficiente di perdita, γ è il coefficiente di non linearità e Φ_{NL} è lo sfasamento non lineare.

Si sostituisce questo segnale nella equazione non lineare di Schrödinger e si trascurano i termini contenenti $|a|^2$.

Risolviendo nel dominio spettrale si ottiene la soluzione espressa attraverso la matrice di trasmissione:

$$\begin{bmatrix} A_r(z, \Omega) \\ A_i(z, \Omega) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_{11}(z, \Omega) & T_{12}(z, \Omega) \\ T_{21}(z, \Omega) & T_{22}(z, \Omega) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_r(0, \Omega) \\ A_i(0, \Omega) \end{bmatrix} \quad (2)$$

dove

$$A_r(z, \Omega) = \mathcal{F} \{ \text{Re}[a(z, T)] \} \quad A_i(z, \Omega) = \mathcal{F} \{ \text{Im}[a(z, T)] \}$$

sono le componenti in fase e in quadratura del rumore ASE.

Lo studio analitico in assenza di birifrangenza (II)

La matrice spettrale di guadagno del rumore è:

$$\underline{\underline{G}}(z, \Omega) = \frac{2}{N_0} \begin{bmatrix} \mathcal{G}_{rr}(z, \Omega) & \mathcal{G}_{ri}(z, \Omega) \\ \mathcal{G}_{ir}(z, \Omega) & \mathcal{G}_{ii}(z, \Omega) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathcal{F}\{R_{a_r a_r}(z, \tau)\} & \mathcal{F}\{R_{a_r a_i}(z, \tau)\} \\ \mathcal{F}\{R_{a_i a_r}(z, \tau)\} & \mathcal{F}\{R_{a_i a_i}(z, \tau)\} \end{bmatrix}$$

dove N_0 è la densità spettrale di potenza del rumore ASE.

La matrice spettrale di guadagno del rumore in ingresso è $\underline{\underline{G}}(0, \Omega) = \underline{\underline{I}}$ perché le componenti di rumore in fase e in quadratura sono statisticamente indipendenti.

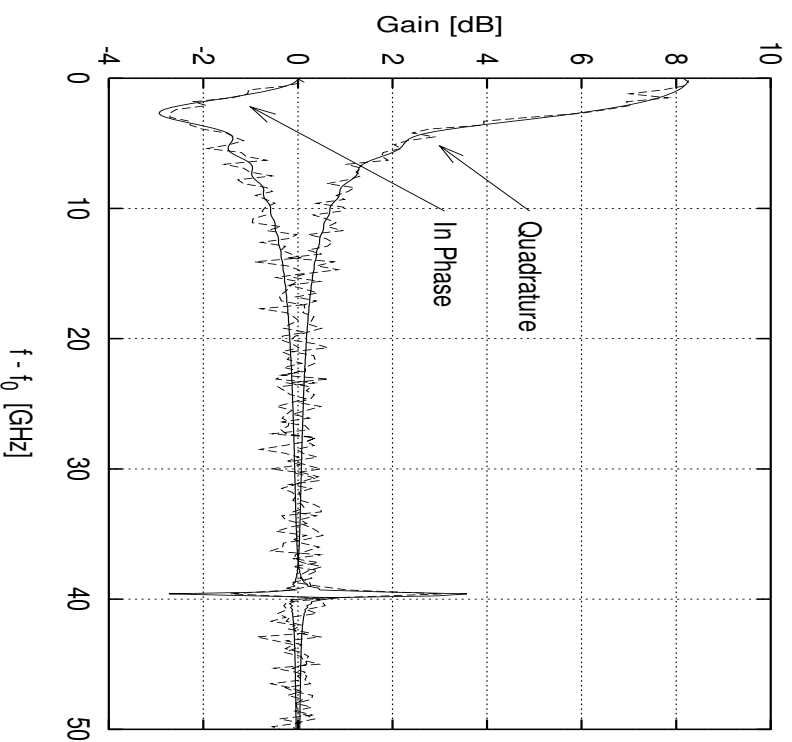
Dopo l'effetto del PG la matrice di guadagno del rumore in uscita assume la forma:

$$\underline{\underline{G}}(z, \Omega) = \begin{bmatrix} |T_{11}|^2 + |T_{12}|^2 & T_{11}T_{21} + T_{12}T_{22} \\ T_{11}T_{21} + T_{12}T_{22} & |T_{21}|^2 + |T_{22}|^2 \end{bmatrix}$$

dove gli elementi T_{ij} sono esprimibili analiticamente attraverso le funzioni di Hankel.

Spettri di guadagno del rumore ASE dopo 3000 km

(a)



(b)

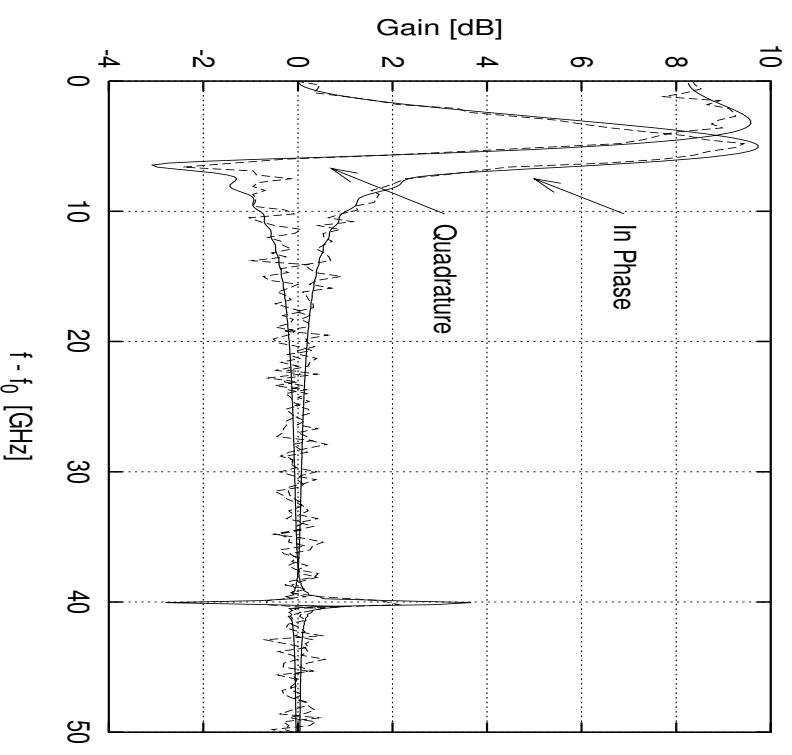


Figura 1: Guadagno del rumore in fase e in quadratura (G_{ii} e G_{rr}) con $D < 0$ (a) e $D > 0$ (b). Risultati analitici (curve continue) e simulativi (curve tratteggiate).

Commenti ai risultati (Fig. 1)

- Eccellente convergenza tra teoria e simulazione.
- Le componenti in fase e in quadratura hanno diverse caratteristiche.
- Nella regione di dispersione anomala il PG induce la formazione di picchi di rumore (che provocano la MI).
- Nella regione di dispersione normale la MI non si manifesta e solo la componente di rumore in quadratura subisce un guadagno.
- I sistemi a demodulazione diretta hanno una maggiore sensibilità alla componente di rumore in fase rispetto a quella in quadratura. Ciò indica che il regime di dispersione normale può essere più indicato per le applicazioni sistemistiche.
- Anche la Sideband Instability (picchi spettrali in Fig. 1), causata dalla periodicità del collegamento, viene descritta analiticamente.

Il PG in presenza della birifrangenza

- Trattazione analitica del PG simile a quella descritta in assenza di birifrangenza.
- La birifrangenza varia lungo z , perciò si mediano i risultati.
- Eccellente convergenza tra i risultati analitici e simulativi.
- Per il rumore (v. Fig. 2) parallelo alla pompa in fase (a) e in quadratura (b) l'effetto del PG è di poco inferiore a quello ricavato in assenza di birifrangenza, mentre per il rumore perpendicolare alla pompa (c) l'effetto del PG è trascurabile.
- In assenza di birifrangenza si valuta il caso peggiore di influenza del PG.
- In Fig. 2 si riportano gli spettri ottenuti in presenza (curve continue) e in assenza (curve tratteggiate) di birifrangenza.

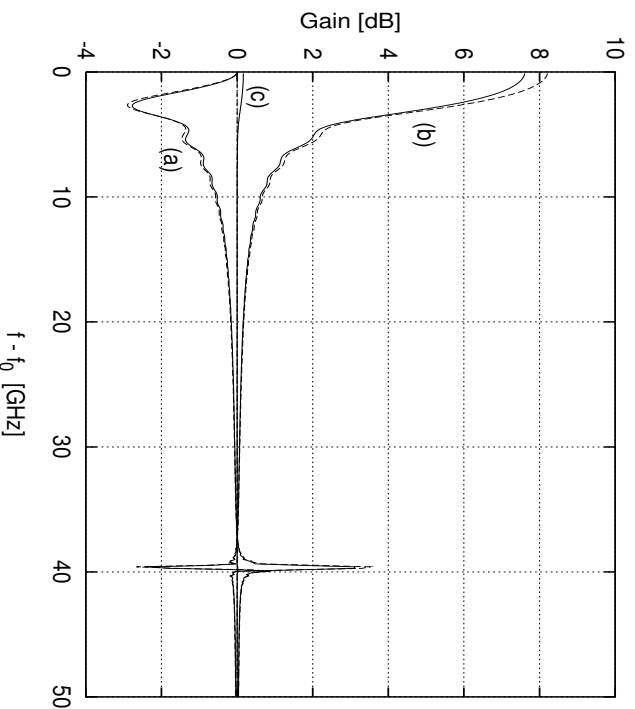


Figura 2

Conclusioni

- Nei sistemi dove viene accumulata una grossa quantità di rumore ASE (collegamenti a lunga distanza) il PG può influire sulle prestazioni di sistema sia in regime di dispersione anomala ($D > 0$), sia in regime di dispersione normale ($D < 0$).
- Il formalismo a T_M si rivela utile nello studio di collegamenti con catena amplificativa, poiché consente di includere il rumore introdotto da ciascun amplificatore.
- Anche nel caso di recupero della dispersione lo strumento analitico descritto può aiutare ad ottimizzare i parametri di sistema.
- La conoscenza degli spettri del rumore in ricezione consente la valutazione della penalità indotta dal PG per quanto riguarda il parametro Q