

ΦΩΤΟΝΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΣΤΙΣ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ
Εξέταση 17/2/2006

Θέμα (γ)

Καλείστε να σχεδιάσετε σύστημα μετάδοσης σημείο-προς-σημείο μήκους 60 km. Το σύστημα χρησιμοποιεί κοινή μονότροπη ίνα (SMF) με διασπορά $\beta_2=20 \text{ ps}^2/\text{km}$ και απώλεια $\alpha=0.4 \text{ dB/km}$ και πρέπει να μπορεί να χρησιμοποιηθεί με ρυθμό μετάδοσης 2.5 Gb/s. Επίσης το σύστημα πρέπει να δουλεύει με ρυθμό σφαλμάτων 10^{-12} και ο δέκτης του έχει ευαισθησία -23 dBm σε αυτό το ρυθμό σφαλμάτων. Σχεδιάστε το διάγραμμα του συστήματος. Από τι περιορίζεται το σύστημα, διασπορά η απώλεια? Ποιά θα πρέπει να είναι η ισχύς του πομπού?



Το μήκος διασποράς L_D δίνεται από τη σχέση:

$$L_D = \frac{T_0^2}{|\beta_2|}$$

όπου

$$T_0^{2.5 \text{ Gb/s}} = \frac{1}{2.5 \text{ Gb/s}} = 400 \text{ ps}$$

Άρα

$$L_D = \frac{400^2 \text{ ps}^2}{|20 \text{ ps}^2 / \text{km}|} = 8000 \text{ km}$$

Άρα το παραπάνω σύστημα δεν περιορίζεται από φαινόμενα διασποράς.

Για τη ζεύξη των 60km θα πρέπει να ισχύει η παρακάτω σχέση :

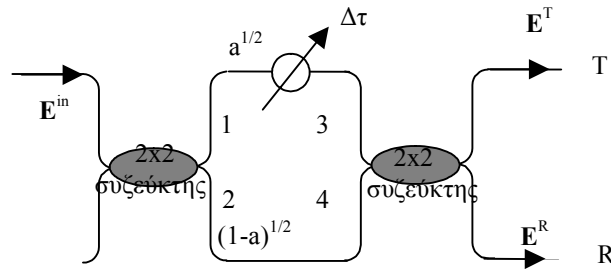
$$\text{Ισχύς πομπού} - 60 \text{ Km} * 0,4 \text{ dB/Km} > -23\text{dBm} \rightarrow$$

$$\text{Ισχύς πομπού} - 24 \text{ dB} > -23\text{dBm}$$

$$\text{Ισχύς πομπού} > 1 \text{ dB}$$

Θέμα (ε)

Θεωρείστε το συμβολόμετρο Mach-Zehnder (MZI) του παρακάτω σχήματος, κατασκευασμένο από τους ίδιους 2×2 συζευκτές με πηλίκιο διαχωρισμού ισχύος $\alpha/(1-\alpha)$. Ο ένας βραχίονας του συμβολομέτρου περιλαμβάνει μεταβαλλόμενη καθυστέρηση $\Delta\tau$.



Η διάταξη λειτουργεί σαν φίλτρο. Υπολογίστε τις συναρτήσεις μεταφοράς στις εξόδους T και R . Σχεδιάστε πρόχειρα τις συναρτήσεις μεταφοράς για $\alpha=0.5$ και $\alpha=0.1$. Ποια είναι η βέλτιστη επιλογή για το α , για τη λειτουργία της διάταξης σαν φίλτρο και γιατί.

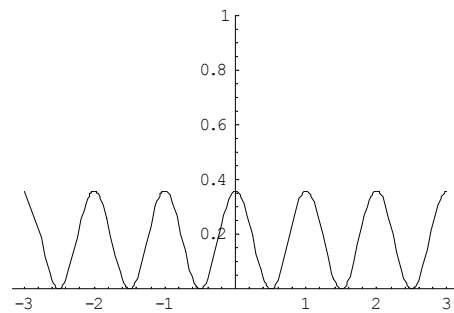
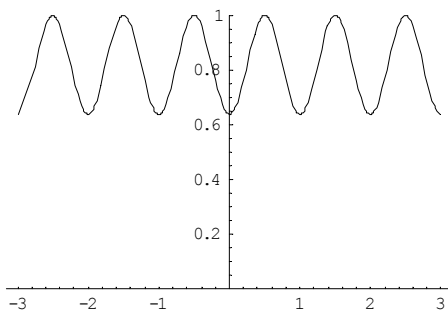
Σύμφωνα με την άσκηση A.1.1 στη σελίδα 215 του βιβλίου, οι συναρτήσεις μεταφοράς στις εξόδους T και R δίνονται από τις σχέσεις:

$$T^T(f) = 1 - 4 \cdot \alpha \cdot (1 - \alpha) \cdot \cos^2(\pi \cdot f \cdot \Delta\tau)$$

$$T^R(f) = 4 \cdot \alpha \cdot (1 - \alpha) \cdot \cos^2(\pi \cdot f \cdot \Delta\tau)$$

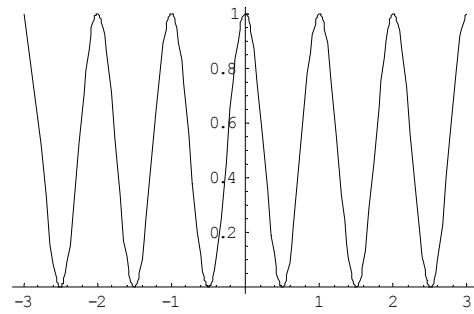
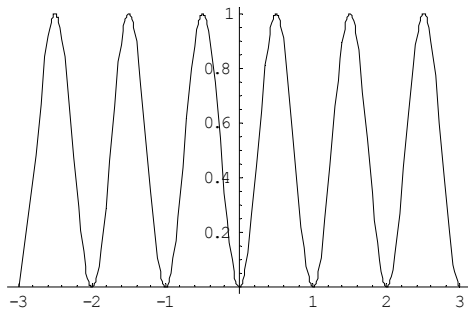
Προφανώς ισχύει ότι $T^T(f) + T^R(f) = 1$, αφού η διάταξη είναι ένα μη ενεργό στοιχείο χωρίς απώλειες.

Για $\alpha=0.1$ οι συναρτήσεις αυτές φαίνονται στα παρακάτω σχήματα:



Συνάρτηση Μεταφοράς Θύρας T Συνάρτηση Μεταφοράς Θύρας R

Για $\alpha=0.5$ οι συναρτήσεις αυτές φαίνονται στα παρακάτω σχήματα:



Συνάρτηση Μεταφοράς Θύρας T Συνάρτηση Μεταφοράς Θύρας R

Η βέλτιστη επιλογή για το α προκειμένου η διάταξη να λειτουργεί σαν φίλτρο γίνεται ως εξής:

$$T^T(f) = \max_{\cos(\omega\Delta\tau)=1} \Rightarrow \frac{\partial}{\partial \alpha} (\alpha - \alpha^2) = 0 \Rightarrow \alpha = 0.5$$

Σε αυτή την περίπτωση οι συναρτήσεις μεταφοράς παίρνουν την απλή μορφή:

$$T^T(f) = \sin^2(\pi \cdot f \cdot \Delta\tau)$$

$$T^R(f) = \cos^2(\pi \cdot f \cdot \Delta\tau)$$

Θέμα (στ)

Πρέπει να σχεδιάσετε τους δέκτες ενός συστήματος μετάδοσης WDM 8 καναλιών, με απόσταση 100 GHz μεταξύ διαδοχικών καναλιών και εύρος φάσματος 10 GHz για το κάθε ένα. Ο αρχισχεδιαστής του συστήματος θέλει να επιλέγει ένα οποιοδήποτε κανάλι από τα 8 διαθέσιμα και έχει καθορίσει τη χρήση αλυσίδας κατάλληλων φίλτρων MZI στους δέκτες για το σκοπό αυτό. Πόσα και τι MZI φίλτρα χρειάζονται στην αλυσίδα (καθορίστε το $\Delta\tau$)? Πόσα φίλτρα θα χρειαστούν για τον ίδιο σκοπό αν διπλασιαστεί ο αριθμός των καναλιών στα 16?

Σύμφωνα με την άσκηση A.1.1 στη σελίδα 215 του βιβλίου, η ελεύθερη φασματική περιοχή (FSR) του φίλτρου είναι:

$$FSR = \frac{1}{\Delta\tau}$$

και το εύρος ζώνης ημίσειας ισχύος είναι:

$$FWHM = \frac{1}{2 \cdot \Delta\tau}$$

Το FSR μιας αλυσίδας m πανομοιότυπων φίλτρων δίνεται από τη σχέση:

$$FSR = \frac{2^m}{\Delta\tau}$$

ενώ το εύρος ημίσειας ισχύος είναι:

$$FWHM = \frac{1}{2 \cdot \Delta\tau} = 10GHz \Rightarrow \Delta\tau = \frac{1}{20} nsec = 0.05nsec$$

Επομένως :

$$FSR = \frac{2^m}{\Delta\tau} = \frac{2^m}{0.05nsec} = 2^m \cdot 20GHz = 800GHz \Rightarrow m = 6$$

Επομένως χρειάζονται 6 MZI με $\Delta\tau=0.05nsec$. Αν διπλασιαστεί ο αριθμός των καναλιών στα 16 θα πρέπει:

$$FSR = \frac{2^m}{\Delta\tau} = \frac{2^m}{0.05nsec} = 2^m \cdot 20GHz = 1600GHz \Rightarrow m = 7$$

Επομένως θα χρειαστούν 7 τέτοια φίλτρα.

Θέμα (ζ)

Ο παραπάνω τρόπος σχεδιασμού σας φαίνεται κακός (ισως?) και πιστεύετε ότι θα ήταν προτιμότερη η χρήση ενός φίλτρου Fabry-Perot. Ποιες θα ήταν οι προδιαγραφές αυτού του φίλτρου για την ελεύθερη φασματική του περιοχή και τη λεπτότητα του? Τι θα λέγατε στον αρχισχεδιαστή για να τον πείσετε?

Η ελεύθερη φασματική του περιοχή του Fabry-Perot φίλτρου θα πρέπει να είναι:

$$FSR=800GHz$$

και το εύρος ημίσειας ισχύος θα πρέπει να είναι:

$$FWHM=10GHz$$

Επομένως, η λεπτότητα του φίλτρου θα πρέπει να είναι:

$$Finesse = \frac{FSR}{FWHM} = \frac{800GHz}{10GHz} = 80$$

Είναι προτιμότερο να χρησιμοποιήσουμε ένα Fabry-Perot φίλτρο με αυτές τις προδιαγραφές παρά 6 ή 7 φίλτρα MZI!

ΦΩΤΟΝΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΣΤΙΣ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ

Εξέταση 30/9/2006

Θέμα (δ)

Είστε σχεδιαστές συστήματος μετάδοσης οπτικών ινών. Το σύστημα που πρόκειται να σχεδιάσετε, θα χρησιμοποιήσει μονότροπη ίνα με διασπορά $\beta_2=5 \text{ ps}^2/\text{km}$ και η ζεύξη έχει μήκος 2000 km. Όσον αφορά στη διασπορά, εξηγήστε αν το σύστημα μπορεί να χρησιμοποιήσει πομπο-δέκτες και των 10 Gb/s (με παλμούς των 100 ps) και των 40 Gb/s.

10 Gb/s:

Το μήκος διασποράς L_D δίνεται στη σελίδα 50 του βιβλίου και είναι:

$$L_D = \frac{T_0^2}{|\beta_2|}$$

όπου $T_0=100 \text{ ps}$ και $\beta_2=5 \text{ ps}^2/\text{km}$. Οπότε :

$$L_D = \frac{100^2 \text{ ps}^2}{|5 \text{ ps}^2 / \text{km}|} = 2000 \text{ km}$$

Συμπέρασμα: Στην περίπτωση αυτή τα φαινόμενα διασποράς δεν κυριαρχούν στη διάδοση του παλμού για τη ζεύξη των 2000 km. Άρα το σύστημα μπορεί να χρησιμοποιήσει πομπο-δέκτες των 10 Gb/s.

40 Gb/s:

$$T_0^{40 \text{ Gb/s}} = \frac{1}{40 \text{ Gb/s}} = 25 \text{ ps}$$

$$L_D = \frac{25^2 \text{ ps}^2}{|5 \text{ ps}^2 / \text{km}|} = 125 \text{ km}$$

Συμπέρασμα: Στην περίπτωση αυτή τα φαινόμενα διασποράς κυριαρχούν στη διάδοση του παλμού. Άρα το σύστημα δεν μπορεί να χρησιμοποιήσει πομπο-δέκτες των 40 Gb/s. Για να γίνει αυτό εφικτό θα πρέπει να γίνει αντιστάθμιση της διασποράς

(dispersion compensation) χρησιμοποιώντας κατάλληλο μήκος ίνας με αρνητικό συντελεστή διασποράς β_2 .

Θέμα (ε)

Η ίνα έχει επίσης συντελεστή μη-γραμμικότητας $\gamma=3 \text{ W}^{-1}\text{km}^{-1}$ και η ισχύς κορυφής του σήματος στην έξοδο του πομπού των 10 Gb/s είναι 0.1 mW. Ας υποθέσουμε ότι οι δέκτες των 10 και 40 Gb/s χρειάζονται την ίδια ενέργεια ανά bit για λήψη χωρίς σφάλματα. Όσον αφορά στα μη-γραμμικά φαινόμενα, εξηγήστε αν το σύστημα μπορεί να χρησιμοποιήσει πομπο-δέκτες και των 10 Gb/s και των 40 Gb/s.

10 Gb/s:

Το μήκος μη γραμμικότητας L_{NL} είναι:

$$L_{NL} = \frac{1}{\gamma P_0}$$

όπου $P_0=0.1 \text{ mW}$ η ισχύς κορυφής των παλμών και $\gamma=3 \text{ W}^{-1}\text{km}^{-1}$. Οπότε :

$$L_{NL} = \frac{1}{3\text{W}^{-1}\text{km}^{-1} \times 0.1 \times 10^{-3} \text{W}} = 3333.33 \text{ km}$$

Η ενέργεια/bit E που παρέχει ο πομπός είναι:

$$\begin{aligned} E &= P_0 \times T_0 = 0.1 \text{ mW} \times 100 \text{ ps} = 10 \times 10^{-3} \text{ W} \times 10^{-12} \text{ sec} \\ &= 10 \times 10^{-15} \text{ J} = 10 \text{ fJ} \end{aligned}$$

Συμπέρασμα: Για τη ζεύξη που εξετάζουμε ισχύει $L < L_{NL}$, οπότε τα μη γραμμικά φαινόμενα δεν επιδρούν στη μετάδοση του παλμού. Έτσι είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί ένας πομπός μετάδοσης στα 10 Gbps.

40 Gb/s:

Σύμφωνα με την εκφώνηση της άσκησης, οι δέκτες των 10 και 40 Gb/s χρειάζονται την ίδια ενέργεια ανά bit για λήψη χωρίς σφάλματα. Επομένως, η ισχύς κορυφής των παλμών στο σύστημα των 40 Gb/s θα πρέπει να είναι:

$$P_0 = \frac{E}{T_0} = \frac{10 \times 10^{-15}}{25 \times 10^{-12}} = 0.4 \text{ mW}$$

Επομένως το μήκος μη γραμμικότητας L_{NL} είναι:

$$L_{NL} = \frac{1}{3W^{-1} km^{-1} \times 0.4 \times 10^{-3} W} = 833.33 \text{ km}$$

Συμπέρασμα: Για το σύστημα των 40 Gb/s ισχύει $L > L_{NL}$, οπότε η ζεύξη περιορίζεται από τα μη γραμμικά φαινόμενα. Επομένως, το σύστημα δεν μπορεί να χρησιμοποιήσει πομπο-δέκτες των 40 Gb/s.

Θέμα (στ)

Τέλος πρέπει να αποφασίσετε για τις αποστάσεις μεταξύ των οπτικών ενισχυτών. Η απώλεια της ίνας είναι $\alpha=0.3 \text{ dB/km}$ και για την αντιστάθμιση της θα πρέπει να τοποθετούνται περιοδικά ενισχυτές EDFA, με κέρδος ίσο με την απώλεια του τμήματος ίνας που προηγείται. Η συνολική ισχύς θορύβου $P^{\text{διακριτ}}$ που προέρχεται από μια αλυσίδα, πανομοιότυπων διακριτών οπτικών ενισχυτών κέρδους G (σε γραμμική κλίμακα), δίνεται από τη σχέση:

$$P^{\text{διακριτ}} = P^{\text{κατανεμ}} (G-1) / \ln G$$

όπου $P^{\text{κατανεμ}}$ είναι η αντίστοιχη συνολική ισχύς θορύβου που προέρχεται από έναν μόνο ενισχυτή κατανεμημένου κέρδους για όλο το μήκος της ζεύξης. Υπολογίστε το $P^{\text{διακριτ}}$ αν οι ενισχυτές τοποθετούνται ανά 100 km ή ανά 10 km και σχολιάστε με ποιό τρόπο το κέρδος των ενισχυτών επηρεάζει το προυπολογισμό θορύβου του συστήματος, αλλά και τι σημαίνει για το προυπολογισμό κόστους κατασκευής της ζεύξης.

➤ Για την πρώτη περίπτωση όπου οι ενισχυτές τοποθετούνται ανά 100 km, για τη ζεύξη των 2000 Km θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν $2000 \text{ km}/100 \text{ km} = 20$ ενισχυτές. Η απώλεια του τμήματος των 100 km είναι:

$$0.3 \text{ dB/km} * 100 \text{ km} = 30 \text{ dB}$$

Επομένως, θα πρέπει να τοποθετηθούν περιοδικά ενισχυτές με κέρδος G ίσο με 30 dB. Τα 30dB σε γραμμική κλίμακα είναι:

$$10 \log(G) = 30 \text{ dB} \Rightarrow G = 10^3$$

Επομένως η συνολική ισχύς θορύβου $P^{\text{διακριτ}}$ που προέρχεται από την αλυσίδα των 20 πανομοιότυπων ενισχυτών είναι:

$$P^{\text{διακριτ}} = P^{\text{κατανεμ}} \frac{G-1}{\ln G} = P^{\text{κατανεμ}} \frac{1000-1}{\ln 1000} = 144.72 P^{\text{κατανεμ}}$$

➤ Στη δεύτερη περίπτωση, οι ενισχυτές τοποθετούνται ανά 10 km και άρα θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν $2000 \text{ km}/10 \text{ km} = 200$ ενισχυτές στη ζεύξη των 2000 Km. Η απώλεια του τμήματος των 10 km είναι:

$$0.3 \quad \text{dB/km} * 10 \text{ km} = 3 \text{ dB}$$

Επομένως οι ενισχυτές θα πρέπει να έχουν κέρδος G ίσο με 3 dB. Τα 3dB σε γραμμική κλίμακα είναι:

$$10\log(G) = 3\text{dB} \Rightarrow G = 2$$

Η συνολική ισχύς θορύβου $P^{\text{διακριτ}}$ που προέρχεται από την αλυσίδα των 200 ενισχυτών είναι:

$$P^{\text{διακριτ}} = P^{\text{κατανεμ}} \frac{G-1}{\ln G} = P^{\text{κατανεμ}} \frac{2-1}{\ln 2} = 1.44 P^{\text{κατανεμ}}$$

Συμπέρασμα: Το κέρδος των ενισχυτών επηρεάζει το συνολικό θορύβο που εισάγει το σύστημα. Όσο μικρότερο είναι το κέρδος των ενισχυτών που χρησιμοποιούνται, τόσο μικρότερη είναι και η συνολική ισχύς θορύβου που προέρχεται από την αλυσίδα τους. Παρόλ' αυτά, συγκρίνοντας τις δύο παραπάνω περιπτώσεις συμπεραίνουμε ότι προκειμένου να μειώσουμε τη συνολική ισχύ θορύβου περίπου 100 φορές θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε 180 ενισχυτές παραπάνω ☹.