

ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ, ΔΙΚΤΥΑ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ

9^η Διάλεξη

- Σχεδίαση Ψηφιακών Οπτικών Συστημάτων
 - Ισολογισμός ισχύος
 - Ισολογισμός εύρους ζώνης
- Πολυπλεξία
 - Με διαίρεση χρόνου
 - Με διαίρεση μήκους κύματος



Ισολογισμός ισχύος

Σκοπός: Εξασφάλιση της απαιτούμενης οπτικής ισχύος στο δέκτη ώστε να διατηρηθεί η αξιόπιστη μετάδοση του σήματος σε όλη τη διάρκεια λειτουργίας του συστήματος

$$\bar{P}_{\text{ΠΟ}} = \bar{P}_{\text{ΔΕΚ}} + C_K + M$$

$\bar{P}_{\text{ΠΟ}}$: Μέση εκπεμπόμενη οπτική ισχύ πομπού (dBm),

$\bar{P}_{\text{ΔΕΚ}}$: Μέση ισχύ που απαιτείται στον δέκτη (dBm),

C_K : Ολική απώλεια οπτικού καναλιού (dB/km),

M : Περιθώριο ασφαλείας (τυπική τιμή 5-10 dB)

Απώλειες οπτικού καναλιού μετάδοσης

$$C_K = \alpha_{\text{ΙΝΑΣ}} L + \alpha_{\text{ΣΥΝΔ}} + \alpha_{\text{ΕΝ}}$$

$\alpha_{\text{ΙΝΑΣ}}$: Απώλεια οπτικού καλωδίου (dB/km),

L : Μήκος οπτικού καλωδίου (km),

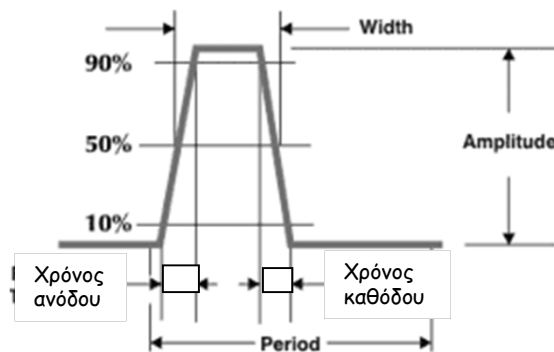
$\alpha_{\text{ΣΥΝΔ}}$: Απώλειες λόγω των συνδετήρων σε πομπό, δέκτη,

$\alpha_{\text{ΕΝ}}$: Απώλειες λόγω ενώσεων οπτικών ινών (σε dB ανά ένωση ή σε dB/km για όλο το μήκος της ίνας. Στην δεύτερη περίπτωση ο όρος $\alpha_{\text{ΕΝ}}$ γίνεται $\alpha_{\text{ΕΝ}} L$)

Ισολογισμός εύρους ζώνης (χρόνου ανόδου)

Σκοπός: Εξασφάλιση σωστής λειτουργίας στο ζητούμενο ρυθμό μετάδοσης bit

Χρόνος ανόδου / καθόδου



Ο συνολικός χρόνος ανόδου της ζεύξης προσδιορίζεται από τους επιμέρους χρόνους ανόδου των τμημάτων της:

$$T_{\text{ΟΛΙΚΟΣ}} = 1.1 \left[T_{\text{ΠΟΜΠΟΥ}}^2 + T_{\text{ΔΕΚΤΗ}}^2 + T_{\text{ΔΙΑΤΡ/ΔΙΑΣΠ}}^2 + T_{\text{ΕΝΔΟΤΡ/ΔΙΑΣΠ}}^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

- $T_{\text{ΠΟΜΠΟΥ}}$: ο χρόνος ανόδου της πομπής
- $T_{\text{ΔΕΚΤΗ}}$: ο χρόνος ανόδου του δέκτη
- $T_{\text{ΔΙΑΤΡ/ΔΙΑΣΠ}}$: ο χρόνος ανόδου της οπτικής ίνας λόγω διατροπικής διασποράς
- $T_{\text{ΕΝΔΟΤΡ/ΔΙΑΣΠ}}$: ο χρόνος ανόδου της οπτικής ίνας λόγω ενδοτροπικής διασποράς

Η σχέση χρόνου ανόδου $T_{\text{ΟΛΙΚΟΥ}}$ - εύρους ζώνης $f_{3\text{dB}}$ κατά προσέγγιση υπολογίζεται από:

$$f_{3\text{dB}} = \frac{0.35}{T_{\text{ΟΛΙΚΟΣ}}}$$

Η σχέση μεταξύ του εύρους ζώνης $f_{3\text{dB}}$ και του μέγιστου ρυθμού μετάδοσης των bit B_{max} εξαρτάται από την ψηφιακή διαμόρφωση που χρησιμοποιείται.

$$B_{\text{max}} (\text{NRZ}) = 2 f_{3\text{dB}}$$

$$B_{\text{max}} (\text{RZ}) = f_{3\text{dB}}$$

Ασκήσεις εξάσκησης

- Έστω οπτική ζεύξη με δομικά στοιχεία με τα παρακάτω χαρακτηριστικά:
 - Μέση οπτική ισχύ που εισέρχεται στην ίνα: -3 dBm
 - Απώλειες οπτικής ίνας: 0.4 dB/Km
 - Απώλειες ενώσεων: 0.1 dB/Km
 - Απώλειες συνδετήρων: 1 dB/ συνδετήρα
 - Μέση ισχύ που απαιτείται στον ανιχνευτή -55 dBm
 - Περιθώριο ασφαλείας: 7 dB

Να υπολογιστεί το μέγιστο μήκος μετάδοσης.

- Σχεδιάζεται οπτικό σύστημα επικοινωνίας με πολύτροπη οπτική ίνα για λειτουργία σε απόσταση 8 Km . Ο χρόνος ανόδου της οπτικής πηγής είναι 8 ns ενώ του φωτοανιχνευτή 6 ns . Η οπτική ίνα λόγω διατροπικής διασποράς παρουσιάζει χρόνο ανόδου 5 ns/km ενώ λόγω ενδοτροπικής διασποράς 1 ns/km . Να υπολογιστεί ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης bit που μπορεί να υποστηρίξει η ζεύξη για διαμόρφωση πηγής NRZ.

Πολυπλεξία

Το τεράστιο εύρος ζώνης της οπτικής ίνας σε συνδυασμό με την υψηλή συχνότητα της οπτικής φέρουσας (~ 250 THz) επιτρέπει θεωρητικά τη μετάδοση σημάτων με μέγιστο ρυθμό μετάδοσης που υπερβαίνει το **1 THz**.

Στην πράξη, ο ρυθμός μετάδοσης περιορίζεται στα **40 Gbps** λόγω των περιορισμών που επιβάλλονται από τη διασπορά της οπτικής ίνας και την ταχύτητα των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων

Με τη χρήση πολλαπλών καναλιών (**πολυπλεξία**) μπορεί να αξιοποιηθεί μεγαλύτερο μέρος του εύρους ζώνης της ζεύξης.

Η πολυπλεξία **N** σημάτων με ρυθμό μετάδοσης **B** έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ζεύξης με συνολικό ρυθμό μετάδοσης **$N \cdot B$** .

Είδη Πολυπλεξίας

- **SDM - (Space Division Multiplexing)**
Πολυπλεξία με διαίρεση χώρου: Χρήση περισσότερων ινών για αύξηση της χωρητικότητας της ζεύξης
- **TDM - (Time Division Multiplexing)**
Πολυπλεξία με διαίρεση χρόνου: Ο χρόνος διαιρείται σε σχισμές χρόνου (time-slots) σταθερού μεγέθους. Κάθε ροή δεδομένων χρησιμοποιεί διαφορετική σχισμή χρόνου.
- **WDM - (Wavelegth Divison Multiplexing)**
Πολυπλεξία με διαίρεση μήκους κύματος: Κάθε κανάλι αντιστοιχεί σε διαφορετικό μήκος κύματος (συχνότητα) του φωτός. Όλα τα διαφορετικά μήκη κύματος διαδίδονται από την ίδια μονότροπη οπτική ίνα

Πολυπλεξία με διαίρεση χρόνου- TDM

Η τεχνική TDM αυξάνει την χωρητικότητα της ζεύξης διαμοιράζοντας το χρόνο σε μικρότερα διαστήματα, έτσι ώστε τα bits από πολλαπλές εισόδους να μπορούν να μεταδοθούν στο μέσο μετάδοσης αποδοτικά, αυξάνοντας έτσι τον αριθμό των bits που μεταδίδονται ανά δευτερόλεπτο.



Τα πρότυπα που έχουν υιοθετηθεί απ' τη βιομηχανία τηλεπικοινωνιών για οπτική μετάδοση TDM δεδομένων είναι το SONET (Synchronous Optical Network) στην Αμερική και το SDH (Synchronous Digital Hierarchy) στην Ευρώπη και αλλού.

Αυτά τα πρότυπα καθορίζουν παραμέτρους αλληλεπίδρασης, ρυθμούς, μεθόδους πολυπλεξίας και διαχείριση για πολυπλεξία χρόνου σε οπτικό επίπεδο

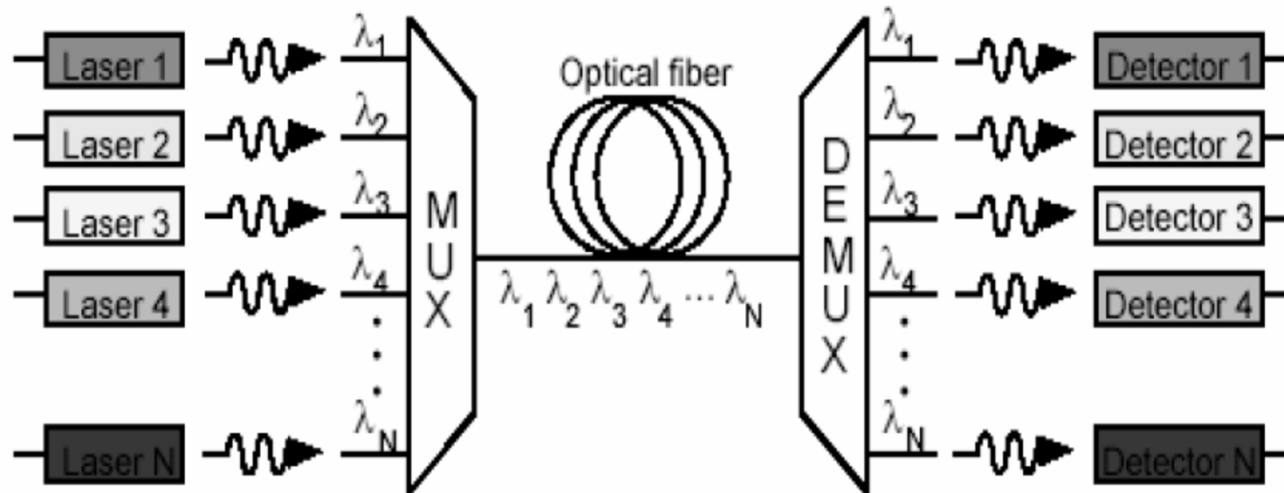
SONET-SDH

Προσανατολισμένα στη μετάδοση και πολυπλεξία ψηφιοποιημένης φωνής

Μέσο μετάδοσης	Επίπεδο		Ρυθμός μετάδοσης	Αριθμός καναλιών φωνής
Καλώδιο χαλκού	DS-0		64 Kbps	1
	DS-1		1.544 Mbps	24
	DS-1C		3.152 Mbps	48
	DS-2		6.312 Mbps	96
	DS-3		44.736 Mbps	672
Οπτική ίνα	SONET	SDH		
	OC-1		51.84 Mbps	672
	OC-3	STM-1	155.52 Mbps	2016
	OC-12	STM-4	622.08 Mbps	8064
	OC-48	STM-16	2.48 Gbps	32,256
	OC-96	STM-32	4.97 Gbps	64.512
	OC-192	STM-64	9.95 Gbps	129,024

Πολυπλεξία με διαίρεση μήκους κύματος- WDM

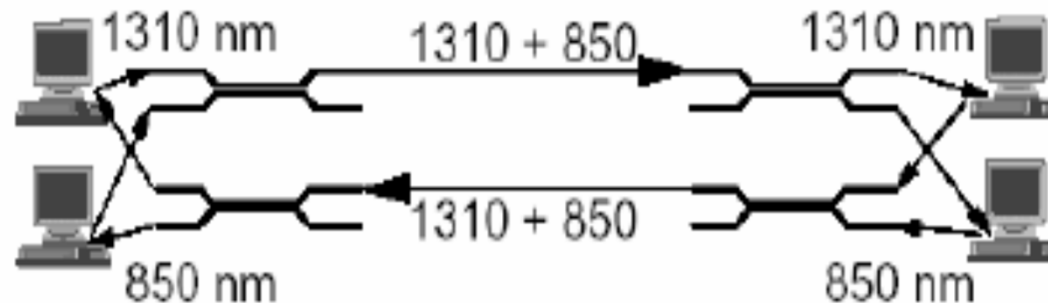
Εκμεταλλεύεται την ικανότητα των μονότροπων οπτικών ινών να μεταφέρουν περισσότερα από ένα οπτικά κύματα, με διαφορετικό μήκος κύματος λ το καθένα, χωρίς να υπάρχει αλληλεπίδραση μεταξύ τους. Καθένα από τα οπτικά κύματα μεταφέρει και διαφορετικό σήμα.



Τα πρώτα συστήματα WDM

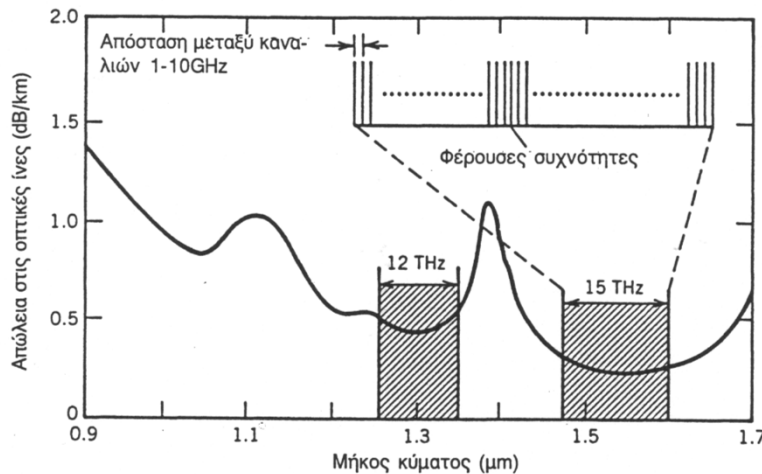
Πολυπλεξία δύο καναλιών σε διαφορετικά "παράθυρα" μετάδοσης της οπτικής ίνας.

Η χωρητικότητα ενός οπτικού συστήματος που λειτουργεί για παράδειγμα στα 850 nm μπορεί να αναβημιστεί αν το πολυπλέξουμε με ένα κανάλι στα 1310 nm με αποτέλεσμα ένα σύστημα WDM όπου τα κανάλια που υποστηρίζονται απέχουν απόσταση 460 nm.



Πυκνή πολυπλεξία μήκους κύματος Dense Wavelength Division Multiplexing -DWDM

Η απόσταση μεταξύ των καναλιών είναι πολύ μικρή, της τάξης του nm ή και μικρότερη. Η πολυπλεξία εφαρμόζεται πλέον σε ένα παράθυρο μετάδοσης της οπτικής ίνας κυρίως στην περιοχή των 1550 nm.



Μετατροπή διαστήματος μήκους κύματος
σε διάστημα συχνότητας
πχ για λ ίσο με 1550 nm
10 GHz αντιστοιχούν σε 0,08 nm

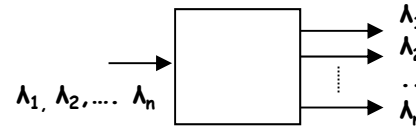
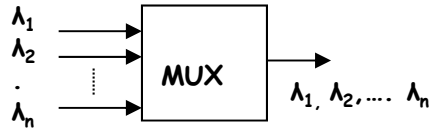
$$\Delta\nu = \frac{c}{\lambda^2} \Delta\lambda$$

Ο συνολικός ρυθμός μετάδοσης μίας ζεύξης που χρησιμοποιεί την τεχνική WDM εξαρτάται από την ελάχιστη απαιτούμενη απόσταση μεταξύ διαδοχικών καναλιών που καθορίζεται έτσι ώστε να περιοριστούν οι παρεμβολές μεταξύ διαφορετικών σημάτων.

Τυπικά η απόσταση μεταξύ των καναλιών πρέπει να υπερβαίνει το τετραπλάσιο του ρυθμού μετάδοσης

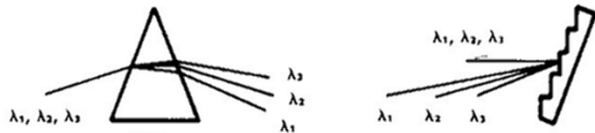
Πολυπλέκτες μήκους κύματος

Οπτικοί Συζευκές με ειδική λειτουργία: περιλαμβάνουν ένα μηχανισμό επιλογής μήκους κύματος ώστε να συζεύουν (ή να διαχωρίζουν) την ακτινοβολία συναρτησει του μήκους κύματος.

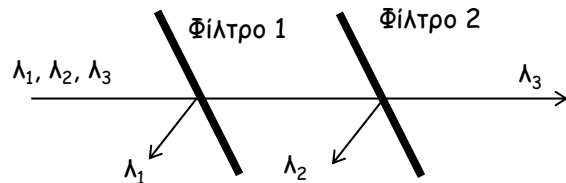


Μηχανισμοί επιλογής μήκους κύματος.

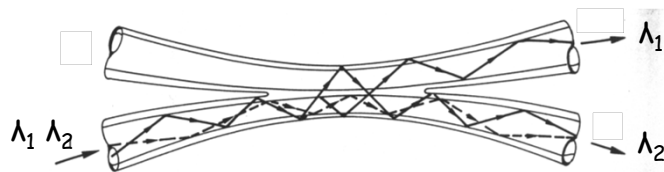
➤ σχάρες διάθλασης



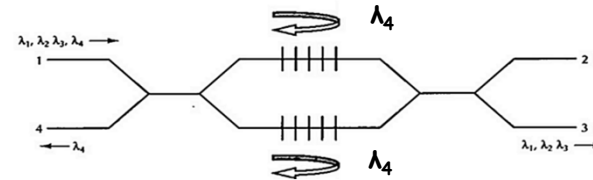
➤ φίλτρα



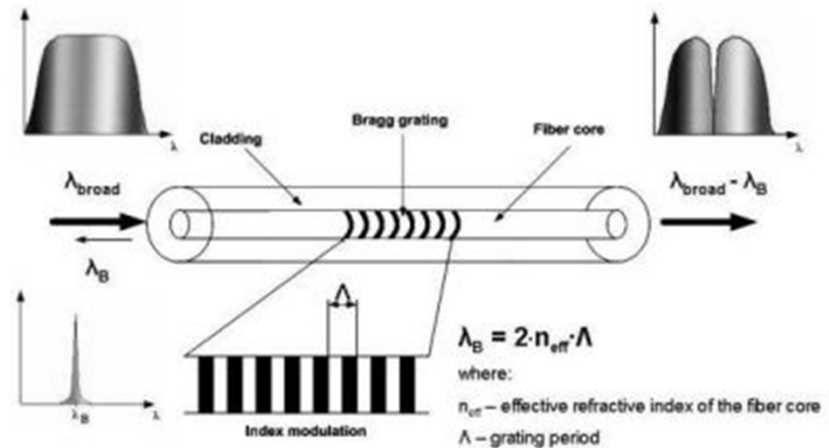
➤ πλευρική αλληλεπίδραση πυρήνων



Πολυπλέκτες πρόσθεσης / αφαίρεσης (Add / drop multiplexers)



Φράγματα Bragg



© Pawel Gasior's Web Side

Ερωτήσεις κατανόησης

- Τι είναι ο ισολογισμός ισχύος, πως εφαρμόζεται και που αποσκοπεί;
- Τι είναι ο ισολογισμός εύρους ζώνης, πως εφαρμόζεται και που αποσκοπεί;
- Τι επιτυγχάνεται με τη χρήση πολυπλεξίας σε μια οπτική ζεύξη;
- Ποια είδη πολυπλεξίας εφαρμόζονται στις οπτικές ζεύξεις;
- Περιγράψτε την πολυπλεξία μήκους κύματος (WDM) και την πυκνή πολυπλεξία μήκους κύματος (DWDM)