



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

ΑΝΟΙΚΤΑ ακαδημαϊκά
μαθήματα ΠΠ

Οπτικά Δίκτυα Επικοινωνιών

Ενότητα 2: Δίκτυα Πολυπλεξίας Μήκους Κύματος
(WDM Δίκτυα)

Βλάχος Κυριάκος

Πολυτεχνική Σχολή

Τμήμα Μηχανικών Η/Υ και Πληροφορικής

Σκοποί ενότητας

Ο σκοπός της ενότητας είναι η παρουσίαση των δικτύων πολυπλεξίας μήκος κύματος και θέματα που τα αφορούν όπως οι οπτικοί τερματισμοί, οι οπτικοί πολυπλέκτες, οι διασυνδέσεις, οι ενισχυτές και οι μετατροπείς μήκους κύματος



Περιεχόμενα ενότητας

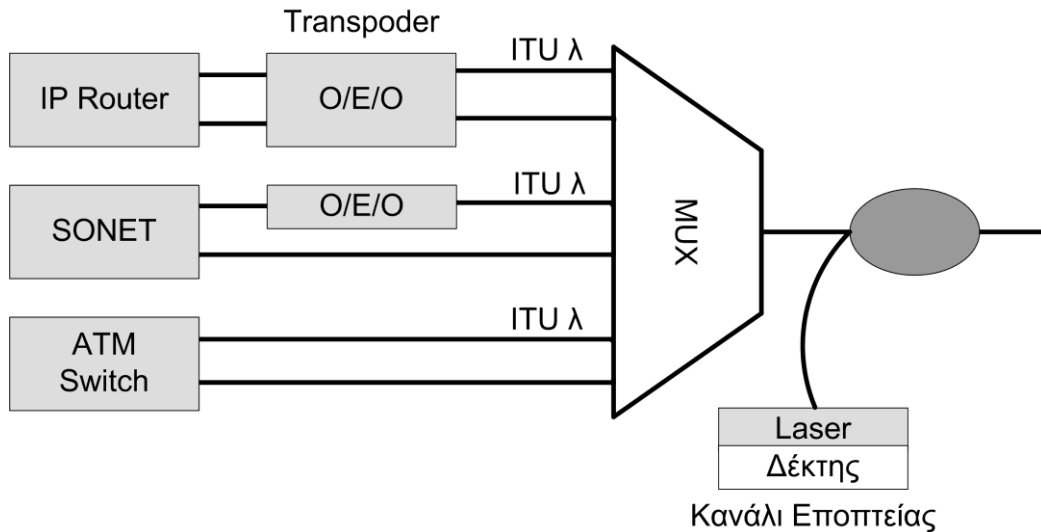
- Οπτικοί Τερματισμοί
- Οπτικοί Πολυπλέκτες Προσθήκης/Απομάστευσης
- Οπτικές Διασυνδέσεις
- Οπτικοί Ενισχυτές
- Μετατροπείς Μήκους Κύματος



Δίκτυα Πολυπλεξίας Μήκους Κύματος (WDM Δίκτυα)

Οπτικοί Τερματισμοί Optical Line Terminals (OLTs)

OLTs (I)



Δομικά Στοιχεία

- ❑ Transpoders
- ❑ WDM πολυπλέκετες

- ❑ Χρησιμοποιούνται στα άκρα της από σημείο σε σημείο οπτικής σύνδεσης για την πολυπλεξία και αποπολυπλεξία μηκών κύματος
- ❑ Τερματίζουν οπτικό κανάλι εποπτείας της λειτουργίας της οπτικής ζεύξης

OLTs (II)

□ Transpoders:

- ⇒ Μετατρέπουν το σήμα το οποίο έρχεται από του χρήστες του οπτικού δικτύου σε μορφή συμβατή με τη λειτουργία του δικτύου (ομοίως και στην αντίστροφη κατεύθυνση)
- ⇒ Η πιο συνηθισμένη διεπαφή είναι η SDH κοντινής απόστασης (<2 km), ενώ υπάρχουν διεπαφές για ρυθμούς μετάδοσης 10 Gbps σε μικρότερες αποστάσεις
- ⇒ Ενδέχεται να πλαισιώνουν την εισερχόμενη πληροφορία με πληροφορίες σχετικά με τη διαχείριση του δικτύου, ή να προσθέτει πληροφορία για Forward-Error-Correction (FEC)

□ Πολυπλέκτες μήκους κύματος:

- ⇒ Πολυπλέκουν τα οπτικά σήματα πριν την τους εισαγωγή στην οπτική ίνα
- ⇒ Υλοποιούνται με τεχνολογίες οπτικών φίλτρων όπως φίλτρα διηλεκτρικών επιστρώσεων, φράγματα περίθλασης Bragg σε ίνα, και φράγματα περίθλασης σε κυματοδηγούς

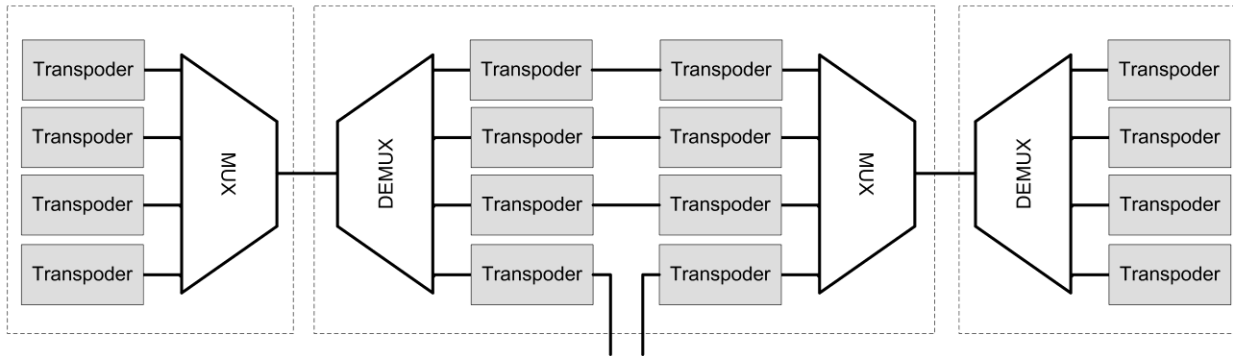
Οπτικοί Πολυπλέκτες
Προσθήκης/Απομάστευσης
Optical Add/Drop Multiplexers
(OADMs)

OADMs (I)

Κόμβος A

Κόμβος B

Κόμβος C



(α)

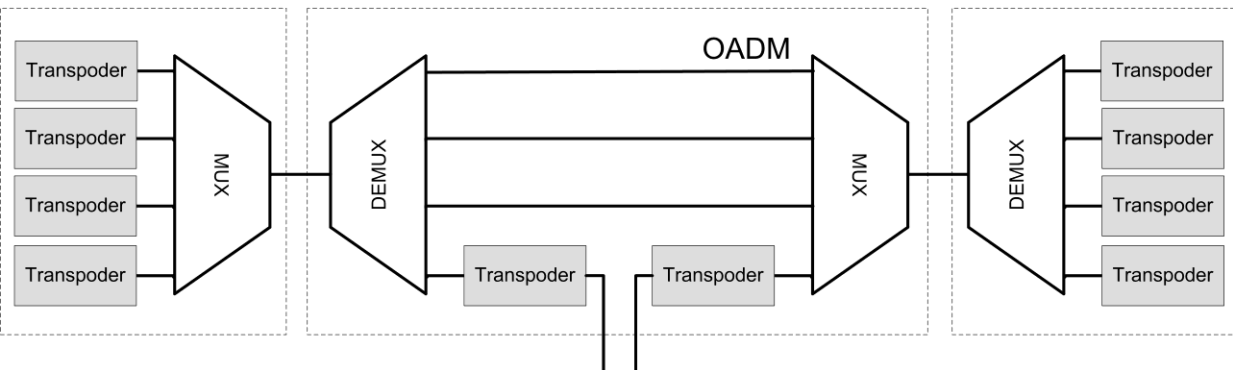
☐ Ζεύξη χωρίς OADM

✗ Απαιτείται υπερβολικός αριθμός transpoders

Κόμβος A

Κόμβος B

Κόμβος C



(β)

☐ Ζεύξη με OADM



OADMs (II)

Χαρακτηριστικά

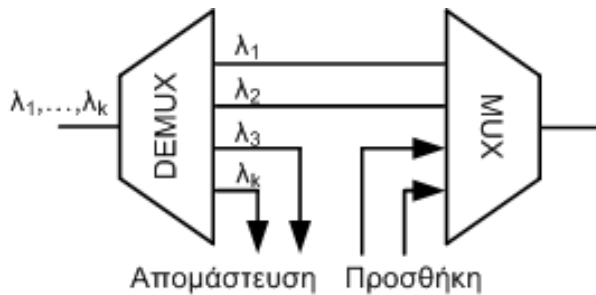
- ❑ Αριθμός μηκών κύματος που υποστηρίζονται.
- ❑ Ποσοστό μηκών κύματος που είναι δυνατόν να προστεθούν και απομαστευθούν.
- ❑ Περιορισμοί όσον αφορά στις δυνατότητες προσθήκης και απομάστευσης συγκεκριμένων μηκών κύματος.
- ❑ Ευκολία στην πρόσθεση και απομάστευση μηκών κύματος.
- ❑ Επεκτασιμότητα αναφορικά με τον αριθμό των υποστηριζόμενων μηκών κύματος.
- ❑ Επίδραση των λειτουργιών προσθήκης και απομάστευσης στο φυσικό επίπεδο (π.χ. απώλειες και παραμόρφωση).
- ❑ Δυναμική αρχιτεκτονική με δυνατότητες απομακρυσμένης διαχείρισης.



OADMs (III) – Στατικοί OADMs

- Οι στατικοί OADMs προσθέτουν/απομαστεύουν μήκη κύματος στο οπτικό δίκτυο με βάση σχεδιασμό που έχει γίνει εκ των προτέρων

Παράλληλη (parallel) αρχιτεκτονική OADM



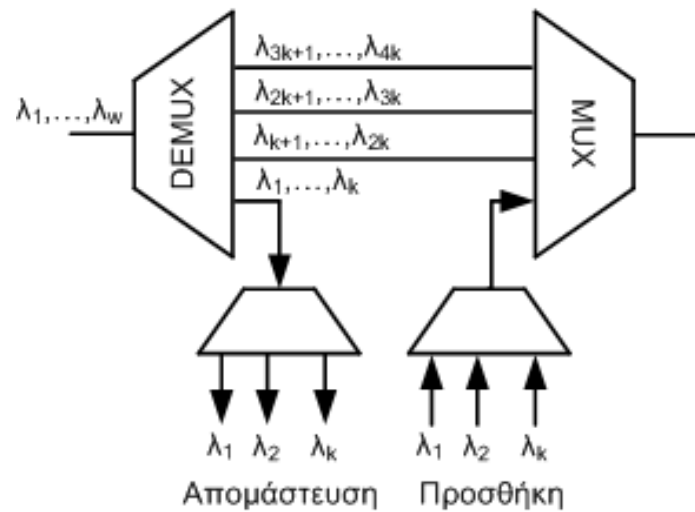
- Όλα τα εισερχόμενα μήκη κύματος αποπολυπλέκονται και μερικά τερματίζονται
- ✓ Τα τερματιζόμενα μήκη κύματος είναι δυνατόν να επιλέγονται αυθαίρετα
- ✓ Οι απώλειες του πολυπλέκτη είναι σταθερές
- ✗ Οι απώλειες είναι αυξημένες λόγω της αποπολυπλεξίας του συνόλου των μηκών κύματος
- ✗ Εισάγεται παραμόρφωση στα οπτικά σήματα λόγω διαδοχικής πολυπλεξίας και αποπολυπλεξίας



OADMs (IV) – Στατικοί OADMs

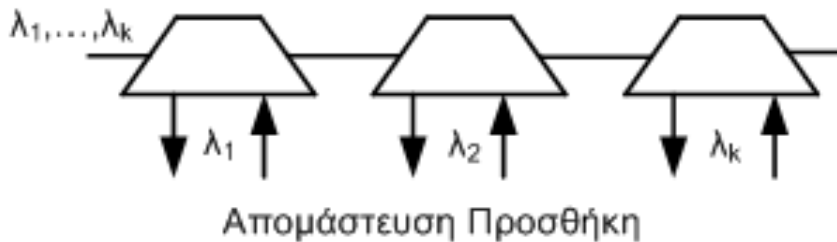
Σπονδυλωτή (modular) αρχιτεκτονική OADM

- Αποπολυπλεξία και πολυπλεξία γίνεται σε δύο στάδια. Στο πρώτο στάδιο τα εισερχόμενα μήκη κύματος χωρίζονται σε ζώνες (wavebands), ενώ στο δεύτερο στάδιο οι ζώνες χωρίζονται στα ξεχωριστά μήκη κύματος
- ✓ Μείωση της επίδρασης της πολυπλεξίας και αποπολυπλεξίας στην παραμόρφωση και την εξασθένηση του οπτικού σήματος
- ⇒ Η σπονδυλωτή παράλληλη αρχιτεκτονική αποτελεί τη μοναδική λύση για μεγάλο αριθμό μηκών κύματος



OADMs (V) – Στατικοί OADMs

Σειριακή (serial) αρχιτεκτονική OADM

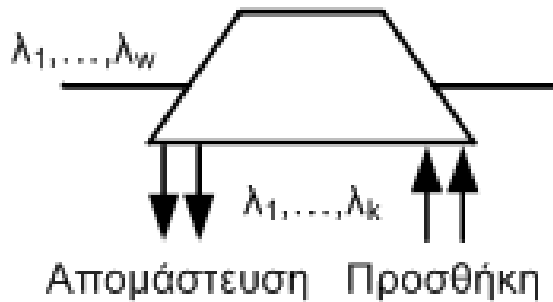


- ❑ Αποτελείται από πολλά στάδια προσθήκης/ απομάστευσης, κάθε ένα από τα οποία προσθέτει ή απομαστεύει ένα μοναδικό μήκος κύματος
- ✓ Δεν υπάρχουν παραμορφώσεις (τα μήκη κύματος αποπολυπλέκονται μόνο στο δέκτη)
- ✗ Η εισαγωγή ενός επιπλέον σταδίου στη σειριακή αρχιτεκτονική προκαλεί διακοπή λειτουργίας των υπολοίπων
- ✗ Το κόστος αυξάνει με τον αριθμό σταδίων



OADMs (VI) – Στατικοί OADMs

Αρχιτεκτονική απομάστευσης ζώνης (band-drop)



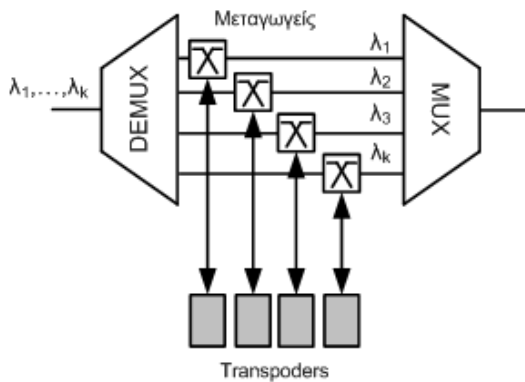
- Σε κάθε στάδιο απομαστεύεται ή προστίθεται μόνο μία ζώνη, ενώ η επιλογή ενός συγκεκριμένου μήκους κύματος μέσα στην εν λόγω ζώνη γίνεται σε δεύτερο στάδιο αποπολυπλεξίας (συμβιβασμός μεταξύ σειριακής και παράλληλης αρχιτεκτονικής)
- ✗ Καθιστά ιδιαίτερος δύσκολο τον προγραμματισμό των μηκών κύματος στο δίκτυο
- ✗ Κάθε μήκος κύματος υφίσταται μη-προβλέψιμη εξασθένηση και παραμόρφωση



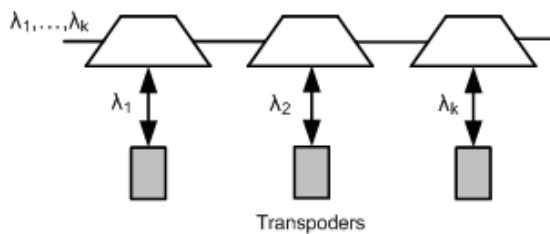
OADMs (VII) – Συντονιζόμενοι OADMs

- Οι συντονιζόμενοι OADMs δίνουν τη δυνατότητα δυναμικής απομάστευσης και προσθήκης μηκών κύματος (σε αντίθεση με τους στατικούς)

Αρχιτεκτονικές με transpoders σταθερού λ

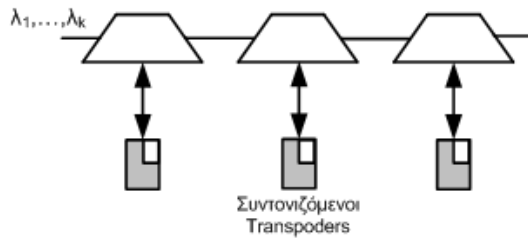


- Χρησιμοποιούνται μεταγωγείς ώστε να προστίθενται/απομαστεύονται μήκη κύματος κατ' απαίτηση
- ⇒ Οι transpoders είναι σταθερού μήκους κύματος
- ✗ Απαιτείται εκ τω προτέρων σχεδιασμός και εγκατάσταση transpoders



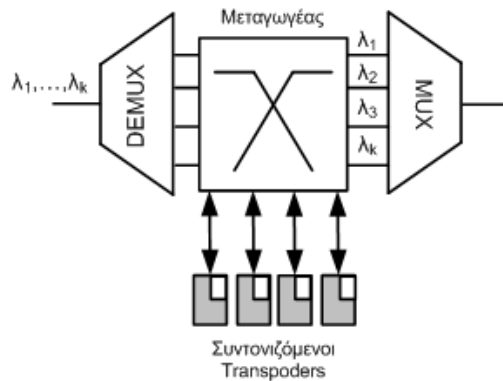
OADMs (VIII) – Συντονιζόμενοι OADMs

Αρχιτεκτονικές με συντονιζόμενους transpoders



⇒ Οι συντονιζόμενοι transpoders έχουν τη δυνατότητα λήψης και εκπομπής σε όποιο μήκος κύματος είναι επιθυμητό

⇒ Ένας επιπλέον μεταγωγέας (space switch) στην παράλληλη αρχιτεκτονική με συντονιζόμενους transpoders



Οπτικές Διασυνδέσεις Optical Cross-Connects (OXCs)

OXC_s (I)

- ❑ Σε δίκτυα με μεγάλο αριθμό από μήκη κύματος και με πολύπλοκες τοπολογίες οι OADM_s αντικαθίστανται από OXC_s

Λειτουργίες

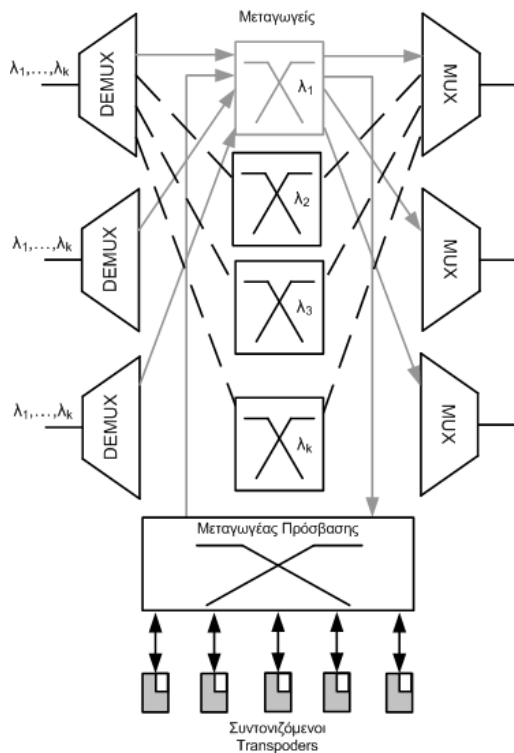
- ❑ Παροχή οπτικών μονοπατιών με αυτοματοποιημένο τρόπο
- ❑ Προστασία των οπτικών δικτύων από βλάβες στον εξοπλισμό και τις οπτικές ίνες
- ❑ Εποπτεία της ποιότητας σήματος των διακινούμενων μηκών κύματος
- ❑ Πολυπλεξία και συγκέντρωση κίνησης που κυμαίνεται από οπτικούς ρυθμούς μετάδοσης ως και πολύ χαμηλότερους
- ❑ Μετατροπή μήκους κύματος για την πλήρη αντιστοίχιση των διαθέσιμων μηκών κύματος σε οπτικά μονοπάτια



OXCs (II)

- Βασικά δομικά υποσυστήματα: ο κεντρικός μεταγωγέας και το συγκρότημα θυρών

Αμιγώς οπτικές OXCs

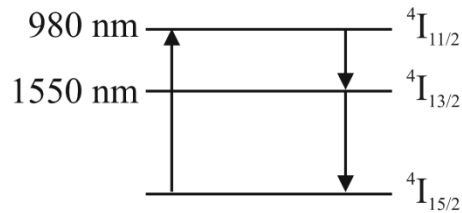


- Κεντρικός μεταγωγέας
 - ⇒ Ένας μεταγωγέας για κάθε μήκος κύματος του δικτύου
 - ⇒ Ένας μεταγωγέας για πρόσβαση σε τοπικούς χρήστες
- Συγκρότημα θυρών
 - ⇒ OLTs για τη διασύνδεση της OXC με τις οπτικές ίνες εισόδου και εξόδου

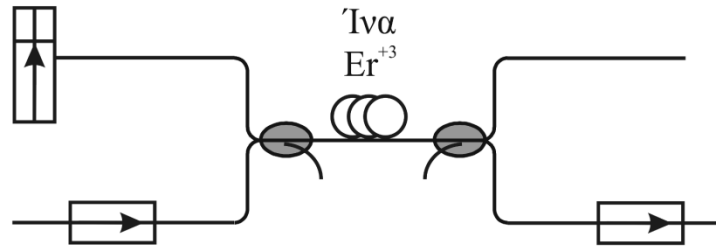


Οπτικοί Ενισχυτές

Οπτικοί ενισχυτές ίνας ερβίου



Σήμα Άντλησης (980 nm)



Σήμα Εισόδου (1550 nm)

Ενισχυμένο Σήμα

- Άντληση (διέγερση) των ιόντων ερβίου από οπτική ακτινοβολία στα 980 nm
- Εξαναγκασμένη αποδιέγερση των ιόντων ερβίου από το σήμα στη C-Band (1530-1565 nm), οπότε εκπέμπονται φωτόνια ιδίων χαρακτηριστικών με αυτά του σήματος
- ⇒ Επέκταση της περιοχής μηκών κύματος λειτουργίας πέραν της C-Band με χρήση προσμίξεων υττερβίου (L-Band 1565-1625 nm) και θουλίου (S-Band 1460-1530 nm)



Οπτικοί ενισχυτές ημιαγωγού και Raman

Ενισχυτές ημιαγωγού

- Είναι διοδικά laser από υλικό InGaAsP χωρίς ανάδραση (καθρέπτες)
- Η εξαναγκασμένη εκπομπή φωτονίων προκαλείται από επανασύνδεση ηλεκτρονίων και οπών
- ⇒ Λειτουργία στις S-, L-, και C-Band με κατάλληλη επιλογή της μοριακής αναλογίας In, Ga, As, P
- × Περιορισμένη εφαρμογή σε WDM συστήματα λόγω φαινομένων παραμόρφωσης

Ενισχυτές Raman

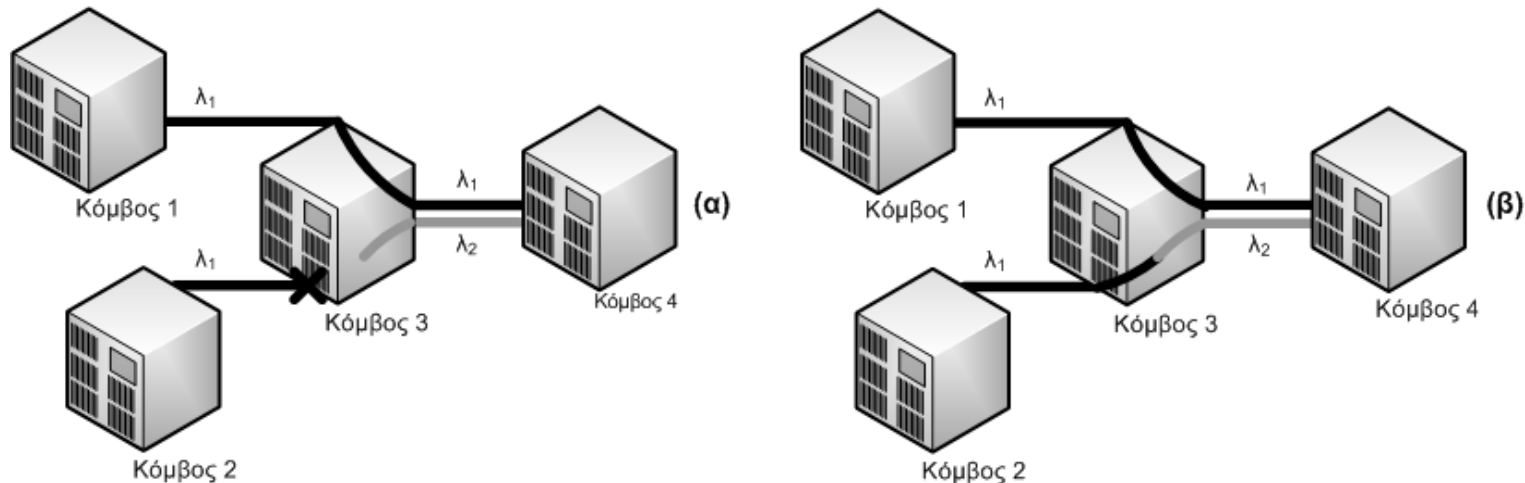
- Βασίζονται στο φαινόμενο της μεταφοράς ισχύος από ένα ισχυρό σήμα άντλησης σε μεγάλη συχνότητα (άρα μεγάλη ενέργεια ανά φωτόνιο) σε ένα ασθενέστερο σήμα με μικρότερη συχνότητα
- Η σύζευξη των δύο σημάτων γίνεται μέσω των ταλαντώσεων πλέγματος στην ίνα
- ⇒ Λειτουργία στην C-Band και την S-Band



Μετατροπείς Μήκους Κύματος

Μετατροπές μήκους κύματος (I)

- Η μετατροπή μήκους κύματος είναι αναγκαία για
 - ✓ Την κωδικοποίηση δεδομένων σε μήκη κύματος συμβατά με αυτά που χρησιμοποιούνται στο δίκτυο (π.χ. Transponders)
 - ✓ Τη διασύνδεση WDM δικτύων τα οποία χρησιμοποιούν διαφορετικά μήκη κύματος
 - ✓ Την ευέλικτη αξιοποίηση των διαθέσιμων μηκών κύματος και συνεπώς τη μεγιστοποίηση της απόδοσης του δικτύου



Μετατροπείς μήκους κύματος (II)

Κατηγορίες μετατροπέων

- ⇒ Μετατροπείς σταθερής εισόδου-εξόδου μετατρέπουν ένα συγκεκριμένο μήκος κύματος εισόδου σε συγκεκριμένο μήκος κύματος εξόδου
- ⇒ Μετατροπείς μεταβλητής εισόδου και σταθερής εξόδου μετατρέπουν ένα σύνολο από μήκη κύματος σε ένα συγκεκριμένο μήκος κύματος
- ⇒ Μετατροπείς σταθερής εισόδου και μεταβλητής εξόδου μετατρέπουν ένα συγκεκριμένο μήκος κύματος σε κάποιο που ανήκει σε ένα σύνολο μηκών κύματος

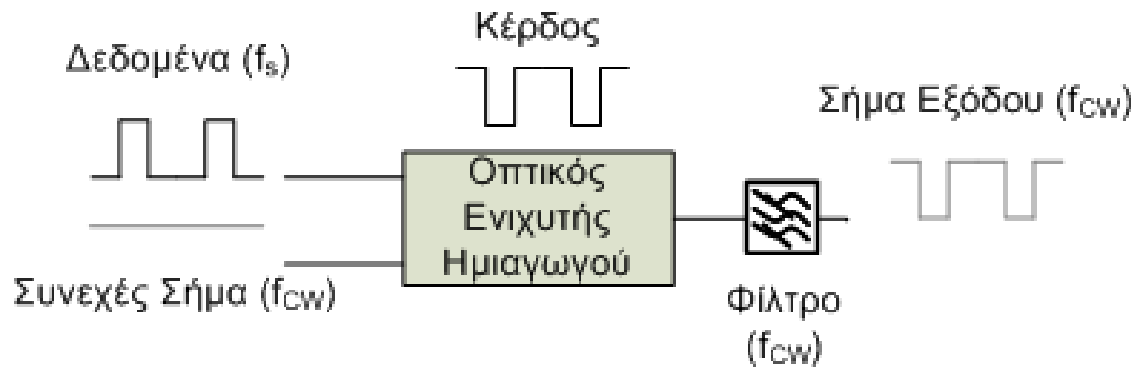
Οπτο-ηλεκτρονικοί Μετατροπείς

- ⇒ Μετατρέπουν το οπτικό σήμα εισόδου σε ηλεκτρονικό
- ⇒ Αναμεταδίδουν το σήμα μέσω laser το οποίο λειτουργεί σε μήκος κύματος διαφορετικό από αυτό της εισόδου



Μετατροπείς μήκους κύματος (III)

Οπτικές Πύλες



- Δύο σήματα εισόδου
 - ⇒ Σήμα δεδομένων με το αρχικό μήκος κύματος
 - ⇒ Σήμα συνεχούς κύματος στο επιθυμητό μήκος κύματος
- ⇒ Το σήμα δεδομένων διαμορφώνει τα χαρακτηριστικά της πύλης (π.χ. κέρδος ενός οπτικού ενισχυτή ημιαγωγού)
- ⇒ Το συνεχές σήμα υφίσταται τη μεταβολή του κέρδους

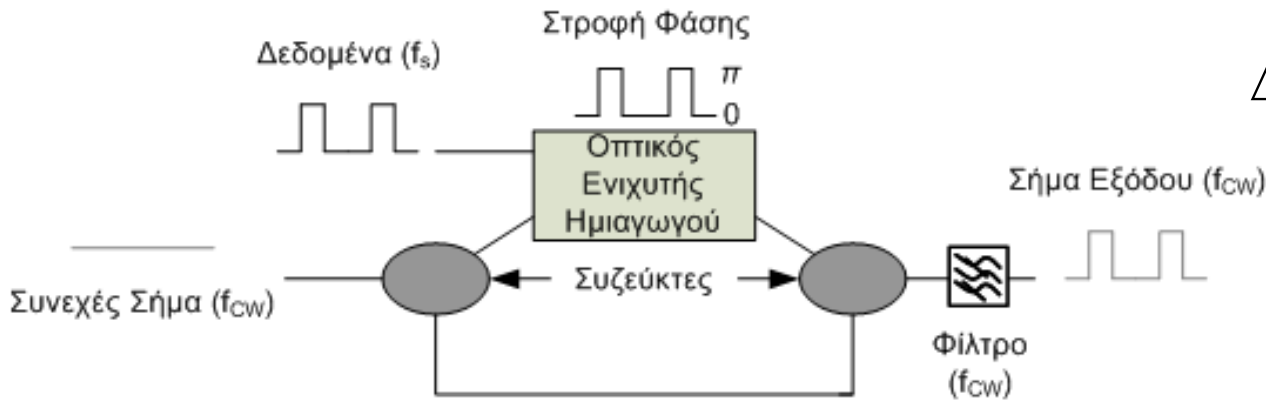


Μετατροπείς μήκους κύματος (IV)

Οπτικά Συμβολόμετρα

$$P_{out} = P_{in} \cdot \sin^2 \left(\frac{\Delta\phi}{2} \right)$$

$$\Delta\phi = 0, \pi$$

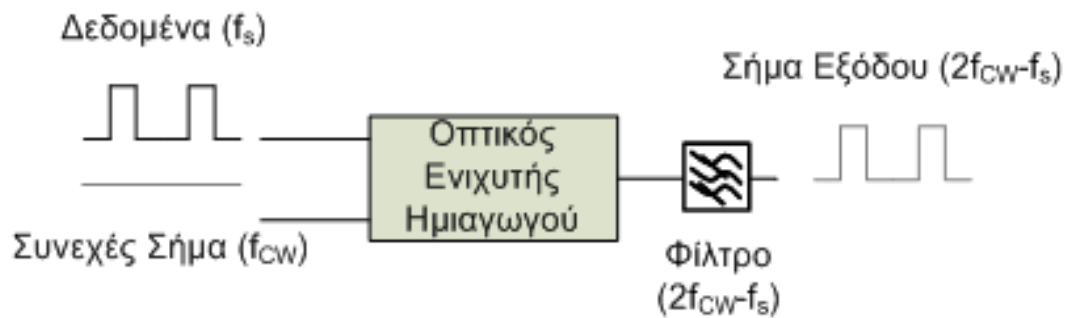


- Δύο σήματα εισόδου
- ⇒ Το σήμα δεδομένων διαμορφώνει τη φάση του συνεχούς σήματος
- ⇒ Το λογικό '1' στο σήμα δεδομένων προκαλεί στροφή φάσης π , οπότε λαμβάνεται η μέγιστη ισχύς στην έξοδο
- ⇒ Το λογικό '0' δεν προκαλεί στροφή φάσης, οπότε λαμβάνεται μηδενική ισχύς



Μετατροπείς μήκους κύματος (V)

Μίξη Φωτονίων



$$f_{out} = 2f_{in} - f_{CW}$$

$$f_{out} = 2f_{CW} - f_{in}$$

- Μη γραμμικό φαινόμενο το οποίο προκαλεί την παραγωγή συχνοτήτων
- ⇒ Η φάση και το πλάτος του σήματος εισόδου διατηρείται στα σήματα εξόδου
- ⇒ Ένα από τα σήματα επιλέγεται με χρήση φίλτρου



Τέλος Ενότητας

Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αθηνών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Σημειώματα

Σημείωμα Ιστορικού Εκδόσεων Έργου

Το παρόν έργο αποτελεί την έκδοση 1.0.



Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Πανεπιστήμιο Πατρών, Βλάχος Κυριάκος. «Οπτικά Δίκτυα Επικοινωνιών. Δίκτυα Πολυπλεξίας Μήκους Κύματος (WDM Δίκτυα)». Έκδοση: 1.0. Πάτρα 2015. Όλα τα σχήματα έχουν δημιουργηθεί από τον κ. Βλάχο Κυριάκο, εκτός αν αναγράφεται διαφορετικά. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: <https://eclass.upatras.gr/courses/CEID1114/index.php>



Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.

