



ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
**ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΩΝ**
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ



ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ & ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ & ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

Οπτικές επικοινωνίες – κυματοδηγοί

Διδάσκων: Τσορπατζόγλου Ανδρέας

Δομικά οπτικά στοιχεία

Κύριες Κατηγορίες Οπτικών Στοιχείων

1. Απομονωτές (Optical Isolators)

- Επιτρέπουν μονοκατευθυντική διάδοση φωτός.
- Προστατεύουν λέιζερ και ενισχυτές από ανακλώμενη ισχύ.

2. Διαχωριστές / Συζεύκτες (Splitters / Couplers)

Επιτρέπουν την πολυπλεξία καναλιών σε DWDM συστήματα.

3. Οπτικά Φράγματα / Φίλτρα (Optical Filters)

Επιλέγουν ή αποκόπτουν συγκεκριμένα μήκη κύματος.
Επιτρέπουν την πολυπλεξία καναλιών σε DWDM συστήματα.

4. Κυκλοφορητές (Optical Circulators)

Μη-αναστρέψιμη κυκλοφορία της οπτικής ισχύος (1→2→3).

5. Πολυπλέκτες Προσθαφαίρεσης OADMs / ROADM Modules

Επιλεκτική προσθαφαίρεση (Add/Drop) καναλιών DWDM.

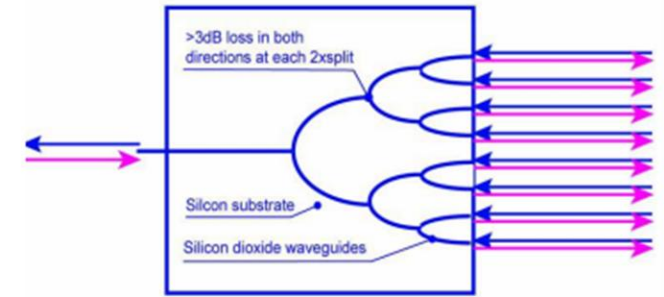
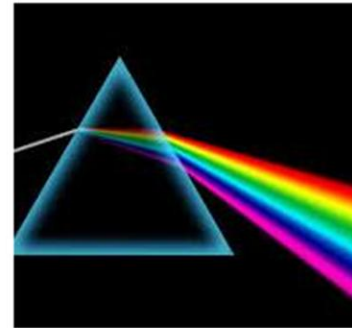
Γιατί είναι κρίσιμα σε ένα οπτικό δίκτυο;

- Βελτιστοποίηση ισοζυγίου ισχύος (power budget).
- Διαχείριση πολυπλεξίας και αποπολυπλεξίας καναλιών.
- Προστασία ενεργών οπτικών πηγών.
- Κλιμάκωση δικτύων FTTH και DWDM.
- Αποτροπή παρεμβολών και ανεπιθύμητων ανακλάσεων.

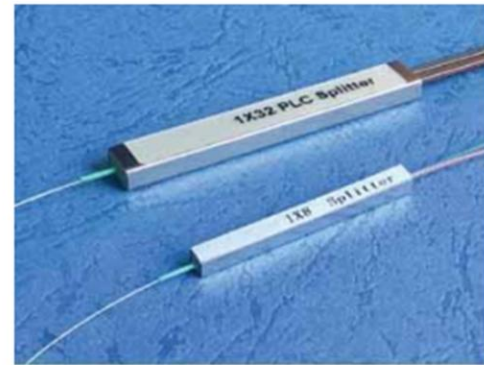
Δομικά οπτικά στοιχεία – Splitters (διαχωριστές)

Οι διαχωριστές μπορούν να διαχωρίσουν ένα σήμα με βάση κάποια φυσική του ιδιότητα, όπως το μήκος κύματος και να το οδηγήσουν σε 2 διαφορετικές κατευθύνσεις.

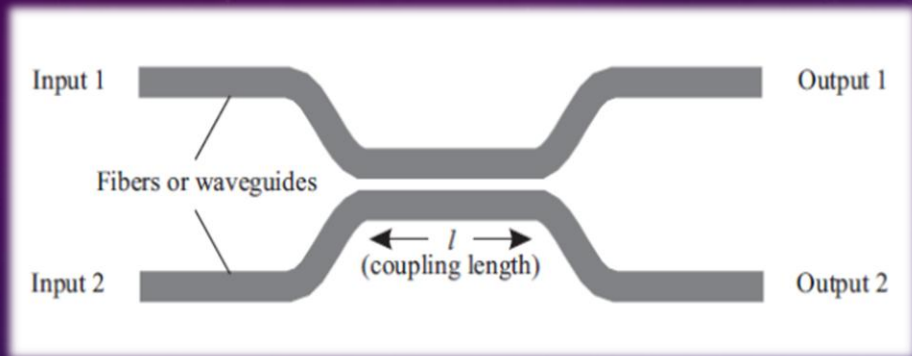
- Στο εμπόριο υπάρχουν μεγάλοι ολοκληρωμένοι splitters που διαχωρίζουν την ισχύ σε $N=2^n$ εξόδους ($2 \leq N \leq 128$)
- Πρόκειται για παθητικό στοιχείο
- Αποτελείται από έναν μεγάλο αριθμό διαχωριστών τύπου Υ
- Σχετικά φθηνό οπτικό στοιχείο.
- Χαρακτηρίζονται από:
 - Πλεονάζουσες απώλειες εισαγωγής ($\leq 2\text{dB}$)
 - Απώλειες λόγω πόλωσης ($\leq 0.5\text{dB}$)
 - Ομοιομορφία ($\leq 2\text{dB}$)
 - Εύρος μηκών κύματος



Schematic drawing for PLC splitter



Δομικά οπτικά στοιχεία – Couplers (Συζεύκτες)



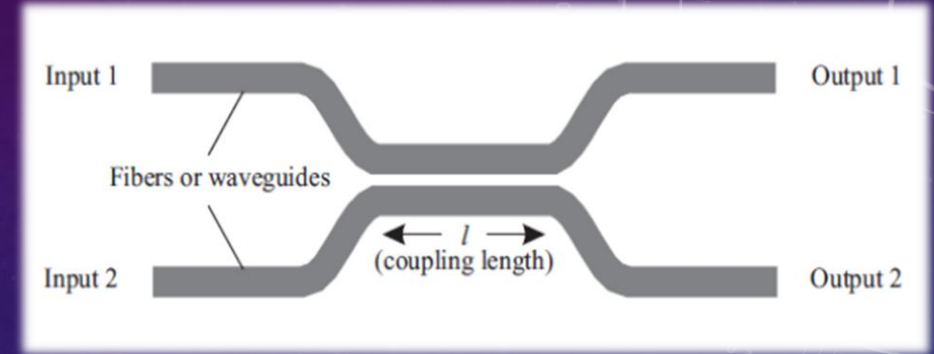
Ο συζεύκτης χρησιμοποιείται για να μεταφέρει ένα μέρος της **ισχύος** από τις θύρες εισόδου στις θύρες εξόδου.

Οι συζεύκτες μπορούν να σχεδιαστούν ώστε να έχουν εξάρτηση από το μήκος κύματος (Για παράδειγμα μπορούν να συνδυάσουν δύο σήματα, ένα στα 1550nm και ένα στα 1310nm στις δύο θύρες εισόδου).

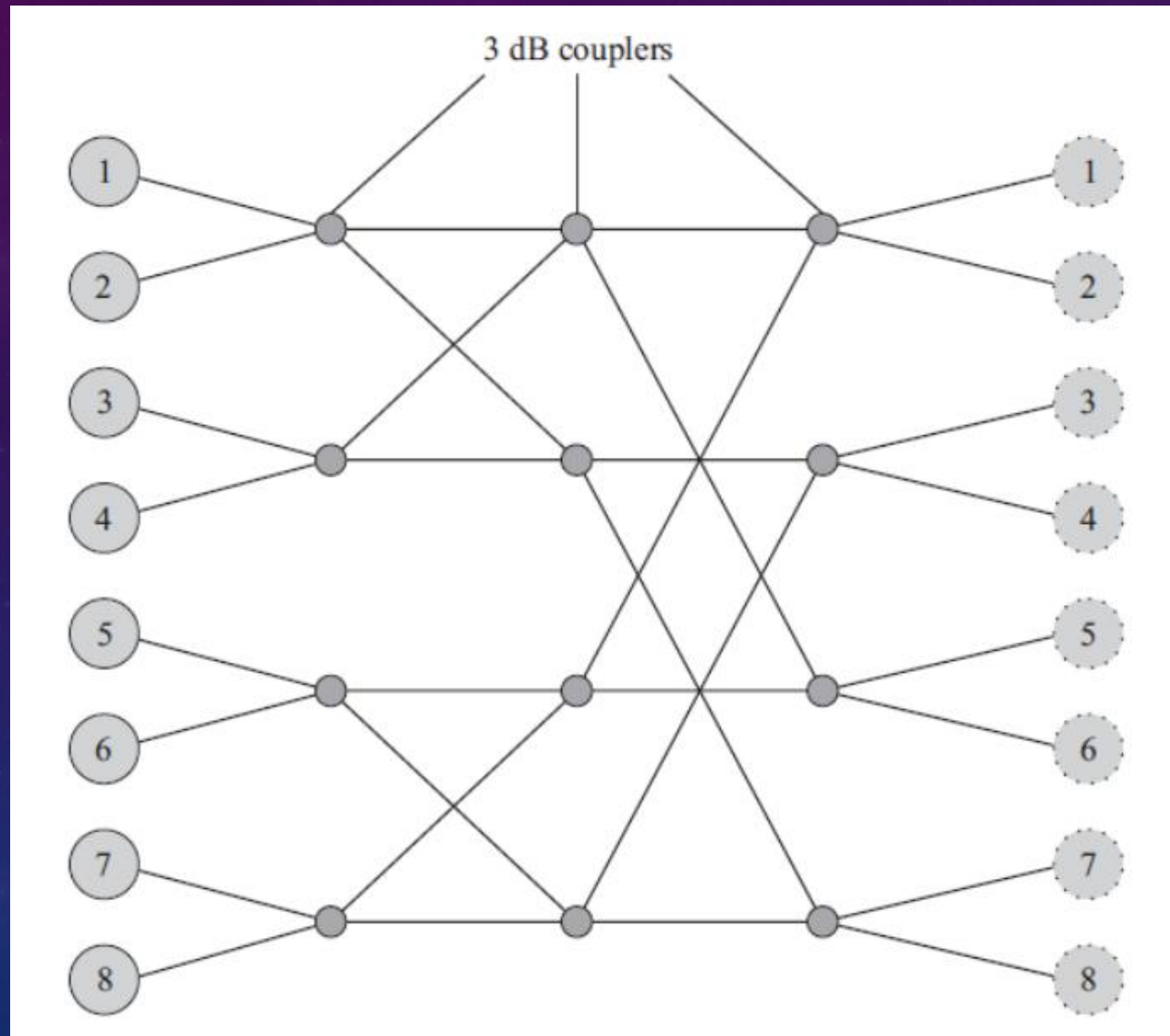
- Τα σήματα μπορούν να παρουσιαστούν σε μία έξοδο του συζεύκτη μαζί και να εισέρθουν σε μία οπτική ίνα (πολυπλεξία).
- Επίσης χρησιμοποιούνται για την υλοποίηση “tap” όπου ένα μικρό μέρος της ισχύος που βρίσκεται σε μία θύρα εισόδου οδηγείται στην δεύτερη θύρα εξόδου ενώ το υπόλοιπο παρουσιάζεται στην πρώτη.
- Επειδή ο συζεύκτης δεν είναι ιδανικός μπορεί να έχουμε απώλειες εισαγωγής (insertion loss) και απώλειες πόλωσης (polarization dependent loss).

Δομικά οπτικά στοιχεία – Couplers (Συζεύκτες) - 2

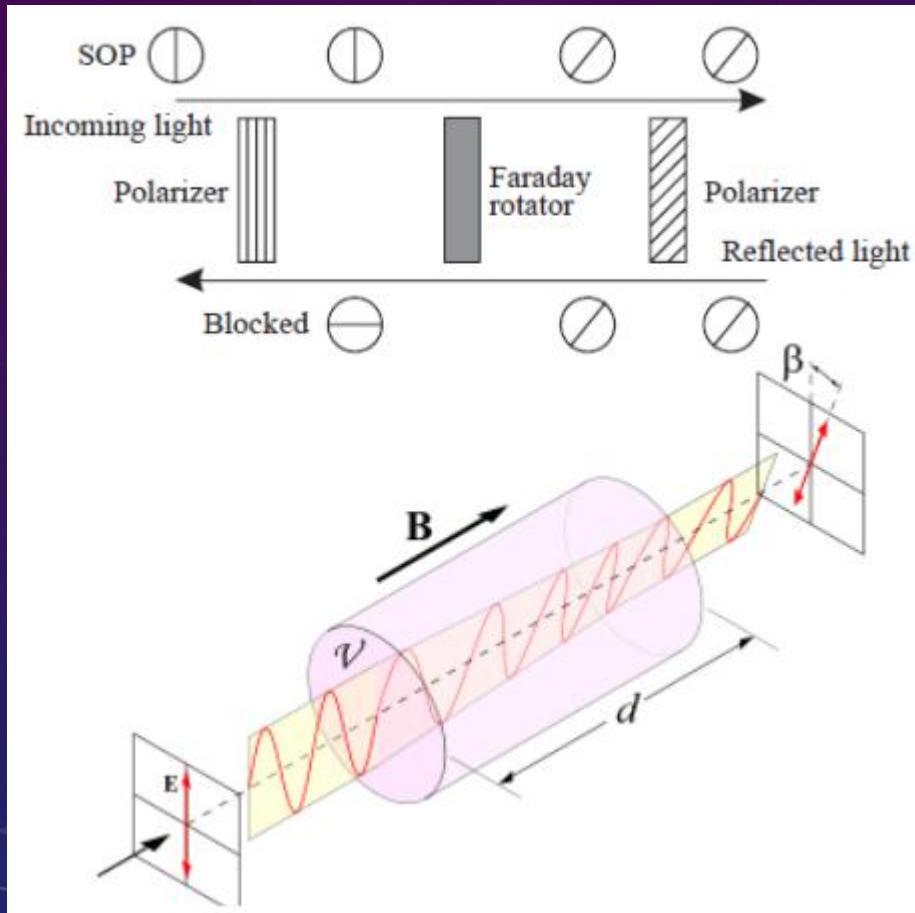
- Κάθε κυματοδηγός (απουσία του άλλου) υποστηρίζει έναν τρόπο διάδοσης με σταθερά διάδοσης β
- Παρουσία του άλλου κυματοδηγού έχουμε σύζευξη (coupling) τρόπων.
- Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ένα μέρος του πεδίου να μεταφέρεται από τον ένα κυματοδηγό στον άλλο.
- Η διαδικασία χαρακτηρίζεται από τον συντελεστή σύζευξης κ . Όσο πιο κοντά είναι κυματοδηγοί τόσο μεγαλύτερο είναι το κ και τόσο πιο ισχυρή είναι η σύζευξη. Ανάλογα με το μήκος l μπορεί να μεταφέρεται:
 - όλη η ισχύς από την θύρα εισόδου «1» στη θύρα εξόδου «2»
 - μηδενική ισχύς από την θύρα εισόδου «1» στη θύρα εξόδου «2»
 - μισή ισχύς από την θύρα «1» στη θύρα «2» (η άλλη μισή εμφανίζεται στην «1»)



Δομικά οπτικά στοιχεία – Couplers (Συζεύκτες) -3



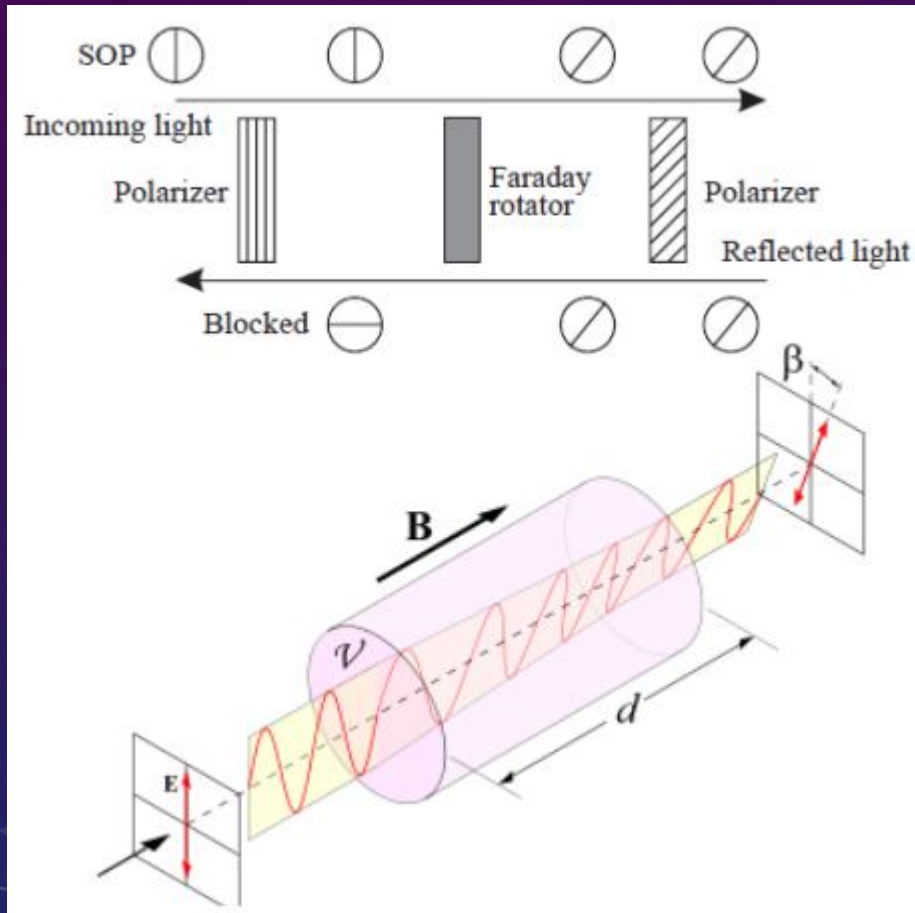
Δομικά οπτικά στοιχεία – Απομονωτές (isolators) - 1



Οι απομονωτές επιτρέπουν τη διέλευση φωτός μόνο στη μία κατεύθυνση και βασίζονται στους στροφείς Faraday.

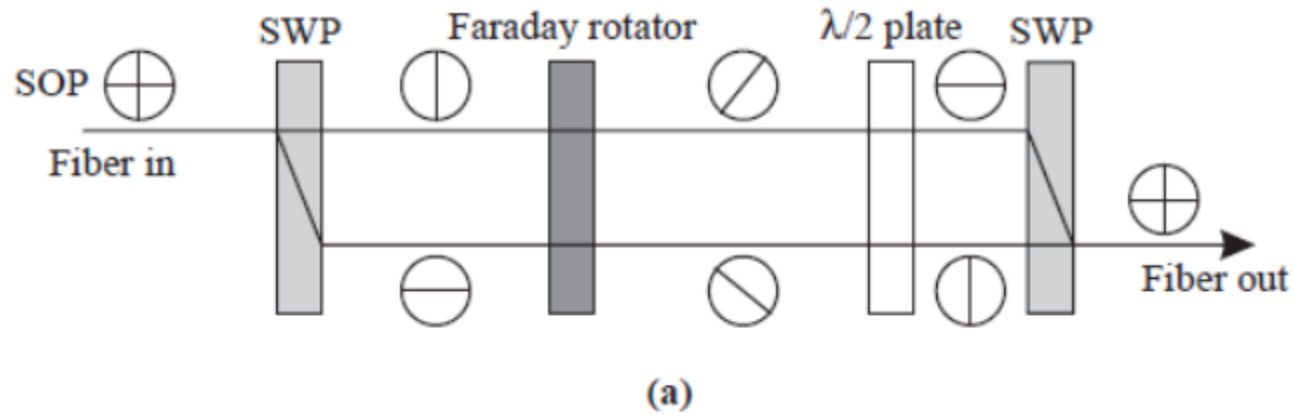
- Οι στροφείς Faraday περιστρέφουν τον επίπεδο πόλωσης του φωτός κατά μία γωνία θ . Η γωνία θ όμως είναι ανεξάρτητη από το αν το φως εισέρχεται στη διάταξη από αριστερά προς δεξιά ή από δεξιά προς τα αριστερά.
- Με αυτό τον τρόπο το φως που εισέρχεται στην δεξιά θύρα του απομονωτή περνάει από τον πρώτο ελεγκτή πόλωσης.
- Στη συνέχεια στρέφεται κατά $\pi/4$ και περνάει από τον δεύτερο ελεγκτή πόλωσης.

Δομικά οπτικά στοιχεία – Απομονωτές (isolators) - 2

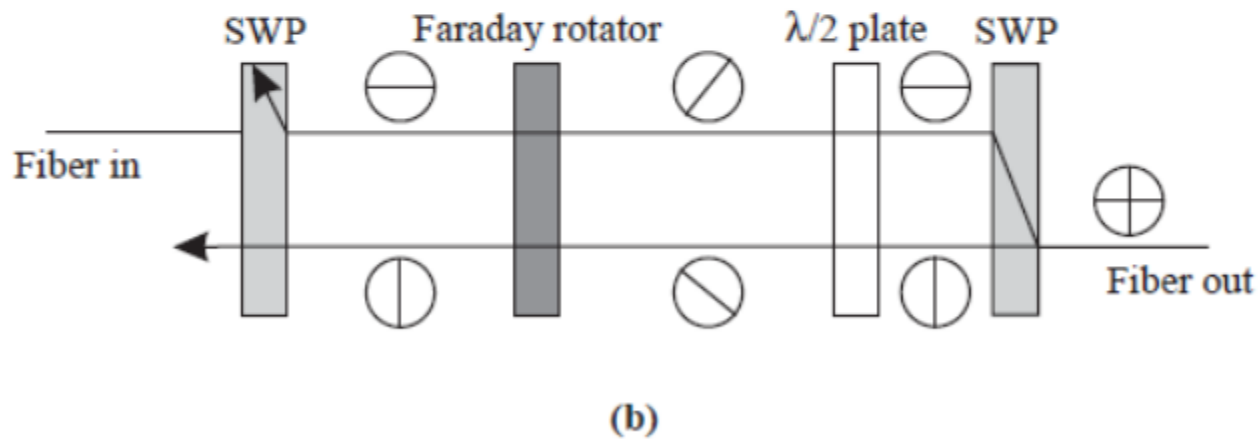


- Το φως που ανακλάται από την έξοδο περνάει πάλι από τον δεύτερο ελεγκτή και στη συνέχεια ξαναπερνάει από τον στροφέα Faraday.
- Η πόλωση του έχει τώρα γυρίσει σε γωνία $\pi/2$ και επομένως δεν μπορεί να περάσει από τον πρώτο ελεγκτή πόλωσης.
- Υπάρχει τρόπος να σχεδιαστεί ο απομονωτής ώστε να λειτουργεί με αυθαίρετη πόλωση εισόδου.

Δομικά οπτικά στοιχεία – Απομονωτές (isolators) - 3



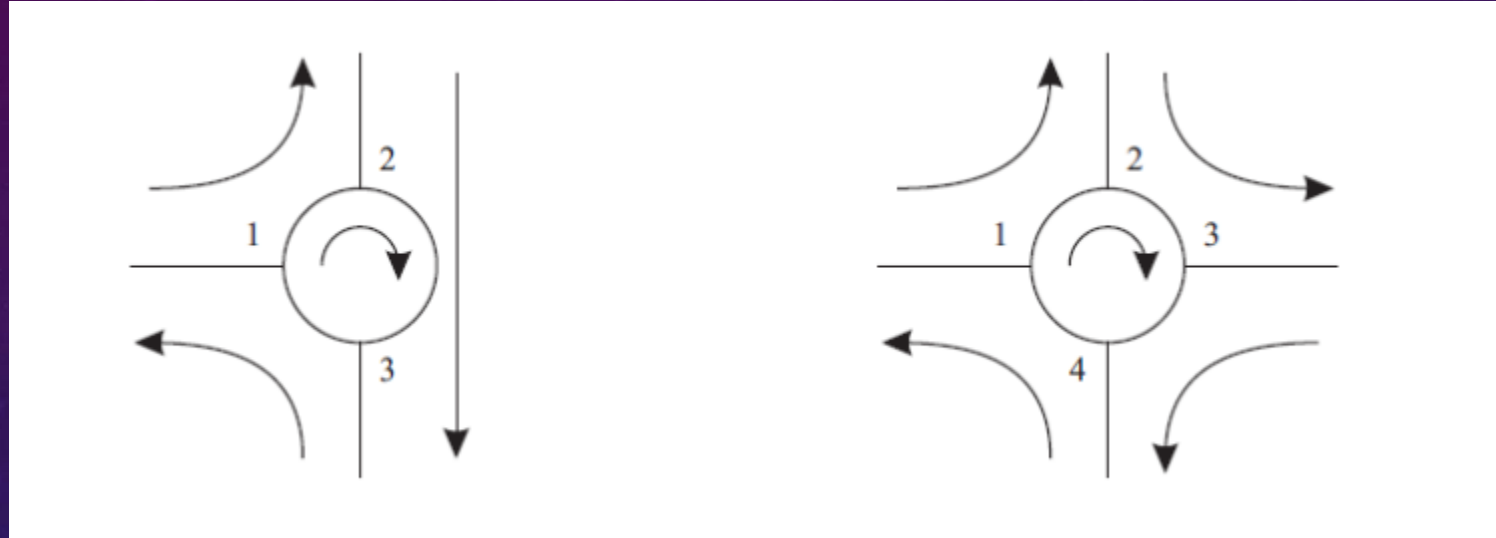
Διάδοση από
τα αριστερά
στα δεξιά



Διάδοση από
τα δεξιά στα
αριστερά.

SWP=Spatial walk off polarizer. Χωρίζει το φως σε δύο ορθογώνιες γραμμικές πολώσεις.

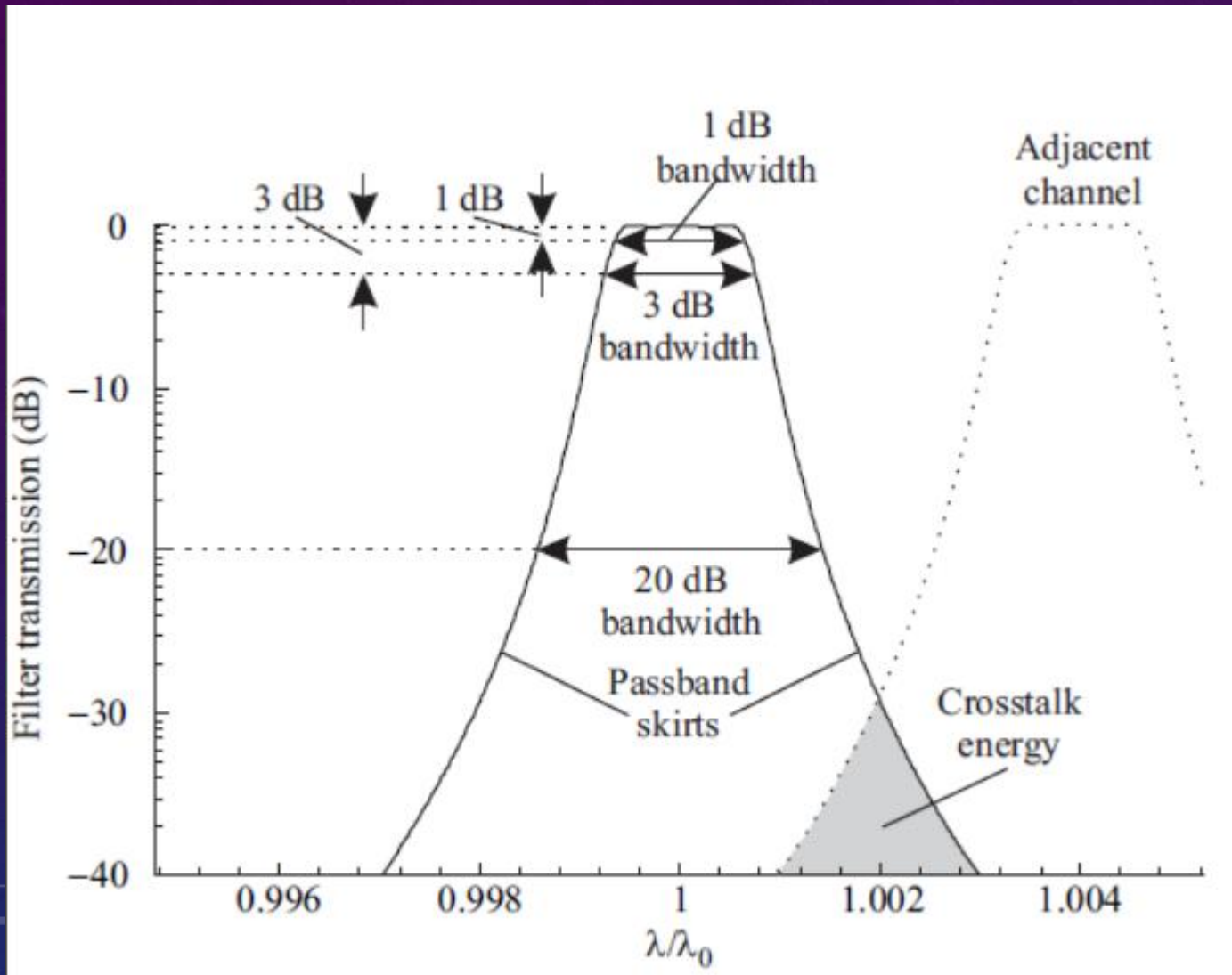
Δομικά οπτικά στοιχεία – Κυκλοφορητές (Circulators)



Οι κυκλοφορητές επιτρέπουν την διάδοση του σήματος προς μία μονάχα διεύθυνση.

- Χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις που πρέπει να ελαχιστοποιήσουμε τις ανακλάσεις.
- Βασίζονται σε απομονωτές (isolators).

Δομικά οπτικά στοιχεία – Οπτικά φίλτρα



Τα οπτικά φίλτρα επιτρέπουν τη διέλευση ή εξασθένιση συγκεκριμένων μηκών κύματος για τον έλεγχο των σημάτων που διέρχονται μέσα από μια οπτική ίνα.

Απαιτήσεις:

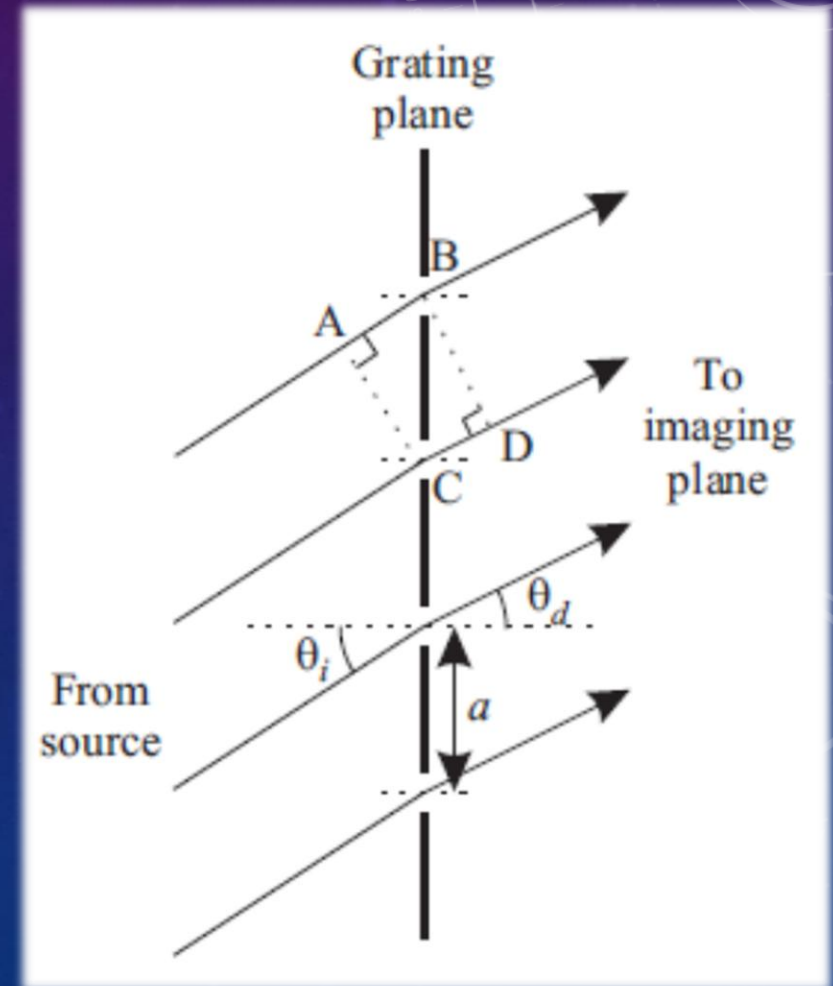
- Μικρές απώλειες εισαγωγής
- Ανεξαρτησία από πόλωση
- Ανεξαρτησία από θερμοκρασία
- Ομαλή (flat) απόκριση γύρω από την κεντρική συχνότητα
- Μικρό επίπεδο διαφωνίας (crosstalk)
- Κόστος

Τεχνολογίες Φίλτρων: Φράγματα - 1

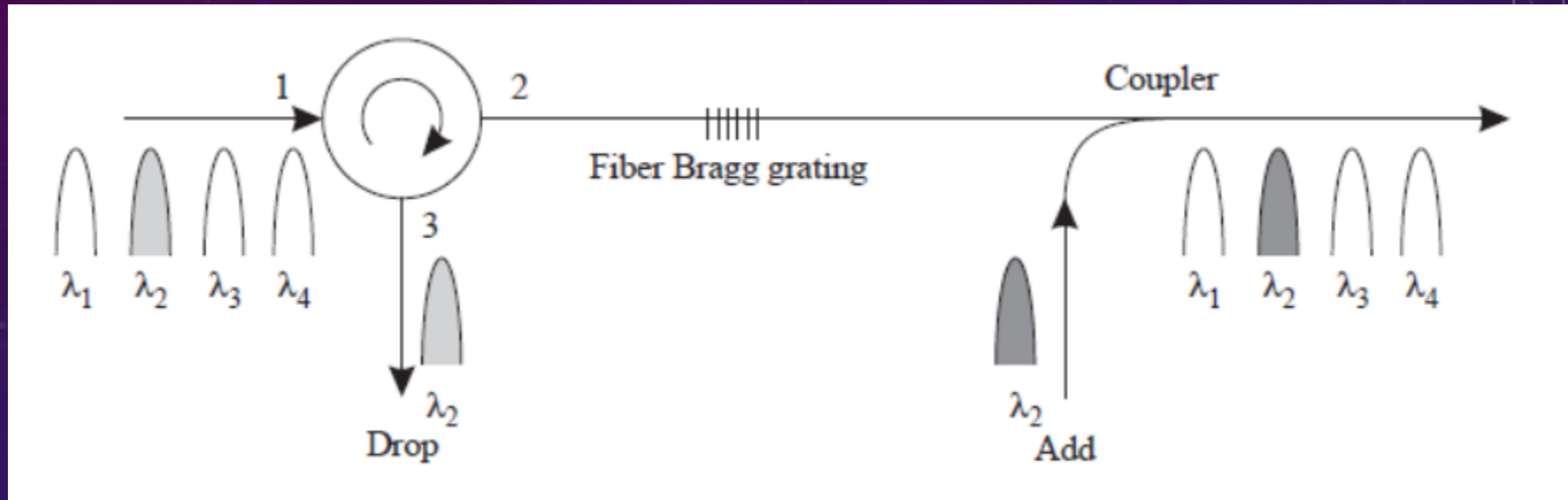
Με τον όρο φράγμα εννοούμε οποιαδήποτε δομή επιτρέπει την υπέρθεση κυμάτων που έχουν προκύψει από το ίδιο αρχικό κύμα, λόγω του φαινομένου της περίθλασης, με κάποια διαφορά φάσης. Τα φράγματα χρησιμοποιούνται για τη διάκριση των μηκών κύματος (σαν πρίσματα).

- Σε ένα φράγμα σχισμών, κάθε σχισμή δρα ως μία δευτερεύουσα πηγή και τα κύματα που γεννιούνται μπορεί να συμβάλουν καταστροφικά ή προσθετικά.
- Μπορεί κανείς να δείξει ότι αν $a(\sin\theta_i - \sin\theta_d) = m\lambda$ τότε τα δευτερεύοντα κύματα συμβάλλουν προσθετικά (με διαφορά φάσης πολλαπλάσια του 2π).
- Το m είναι ένας ακέραιος που ονομάζεται η τάξη του φράγματος. Για $m > 0$ βλέπουμε πως η γωνία θ_d εξαρτάται από το μήκος κύματος.

Φράγμα σχισμών



Τεχνολογίες Φίλτρων: Φράγματα - 2



- Μπορούμε να γράψουμε φράγματα Bragg σε οπτικές ίνες.
- Τα φίλτρα αυτά έχουν χαμηλές απώλειες (0.1dB) χαμηλή διαφωνία (-40dB), καλή θερμική σταθερότητα (με ειδικές τεχνικές πετυχαίνουμε $0.07 \times 10^{-2} \text{nm}/^\circ\text{C}$).
- Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για add/drop multiplexers όπως δείχνει και η παραπάνω εικόνα.

Ερωτήσεις

- Γιατί τα οπτικά δομικά στοιχεία είναι κρίσιμα σε ένα οπτικό δίκτυο;
- Ποιος είναι ο ρόλος των διαχωριστών;
- Οι διαχωριστές είναι παθητικά ή ενεργητικά στοιχεία;
- Που χρησιμοποιούνται οι συζεύκτες;
- Ποια είναι η λειτουργία των απομονωτών;
- Ποια ιδιότητα του φωτός στρέφουν οι στροφείς Faraday;
- Σε ποιο οπτικό στοιχείο βασίζονται οι κυκλοφορητές;
- Ποια είναι η λειτουργία των οπτικών φίλτρων;
- Ποια είναι η λειτουργία των οπτικών φραγμάτων.
- Σε ποιο φαινόμενο στηρίζεται η λειτουργία των οπτικών φραγμάτων;