



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



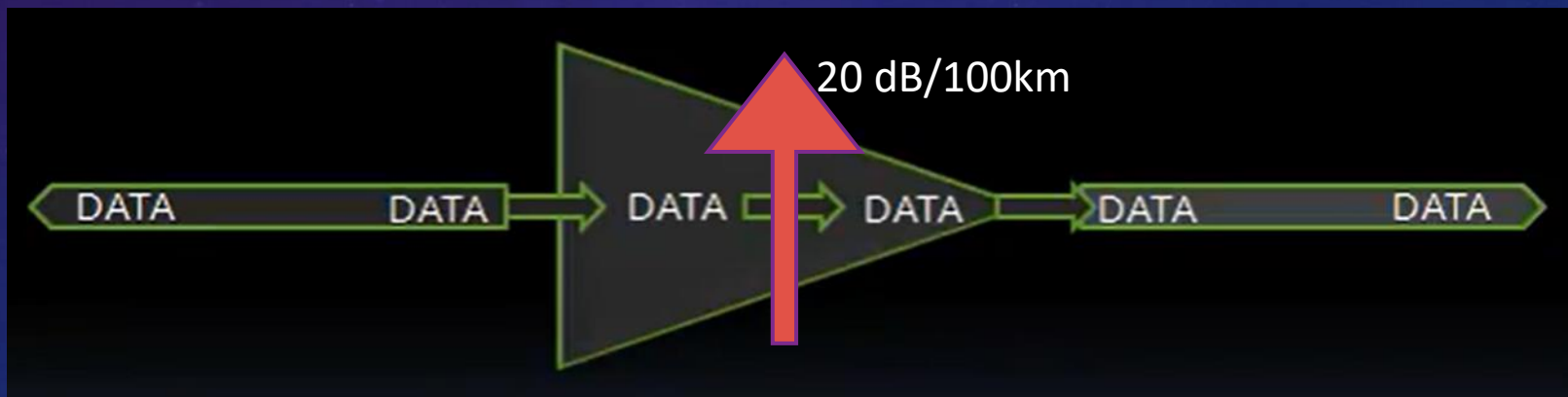
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ & ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ & ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

Οπτικές επικοινωνίες - Κυματοδηγοί

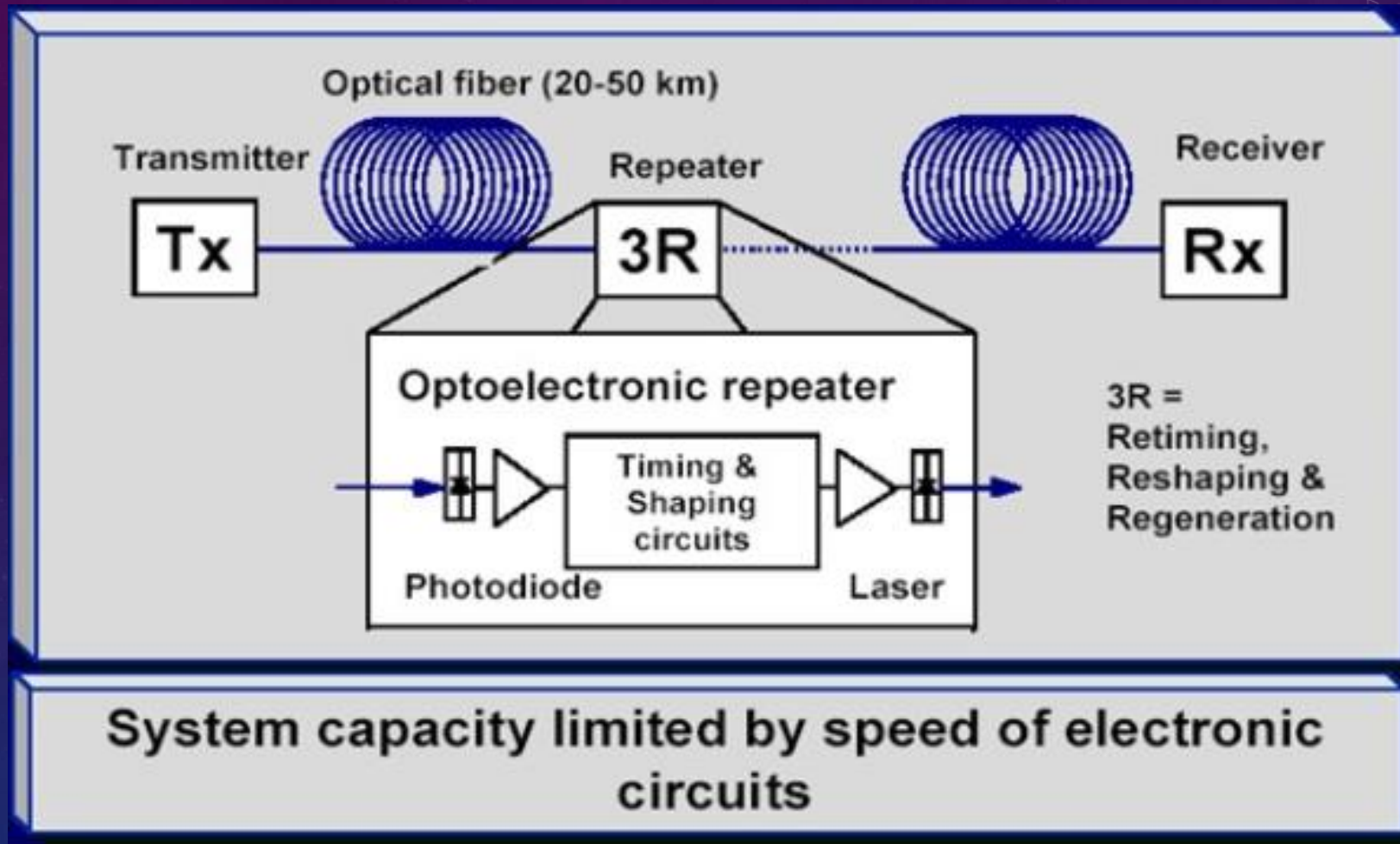
Διδάσκων: Τσορμπατζόγλου Ανδρέας

Οπτικοί ενισχυτές

- Ο οπτικός ενισχυτής είναι ένα οπτικό στοιχείο που ενισχύει το οπτικό σήμα χωρίς να το μετατρέψει πρώτα σε ηλεκτρικό.
- Για μεταφορά σήματος σε μεγάλες αποστάσεις είναι υποχρεωτικό να ενισχυθεί το σήμα λόγω της εξασθένησής του.

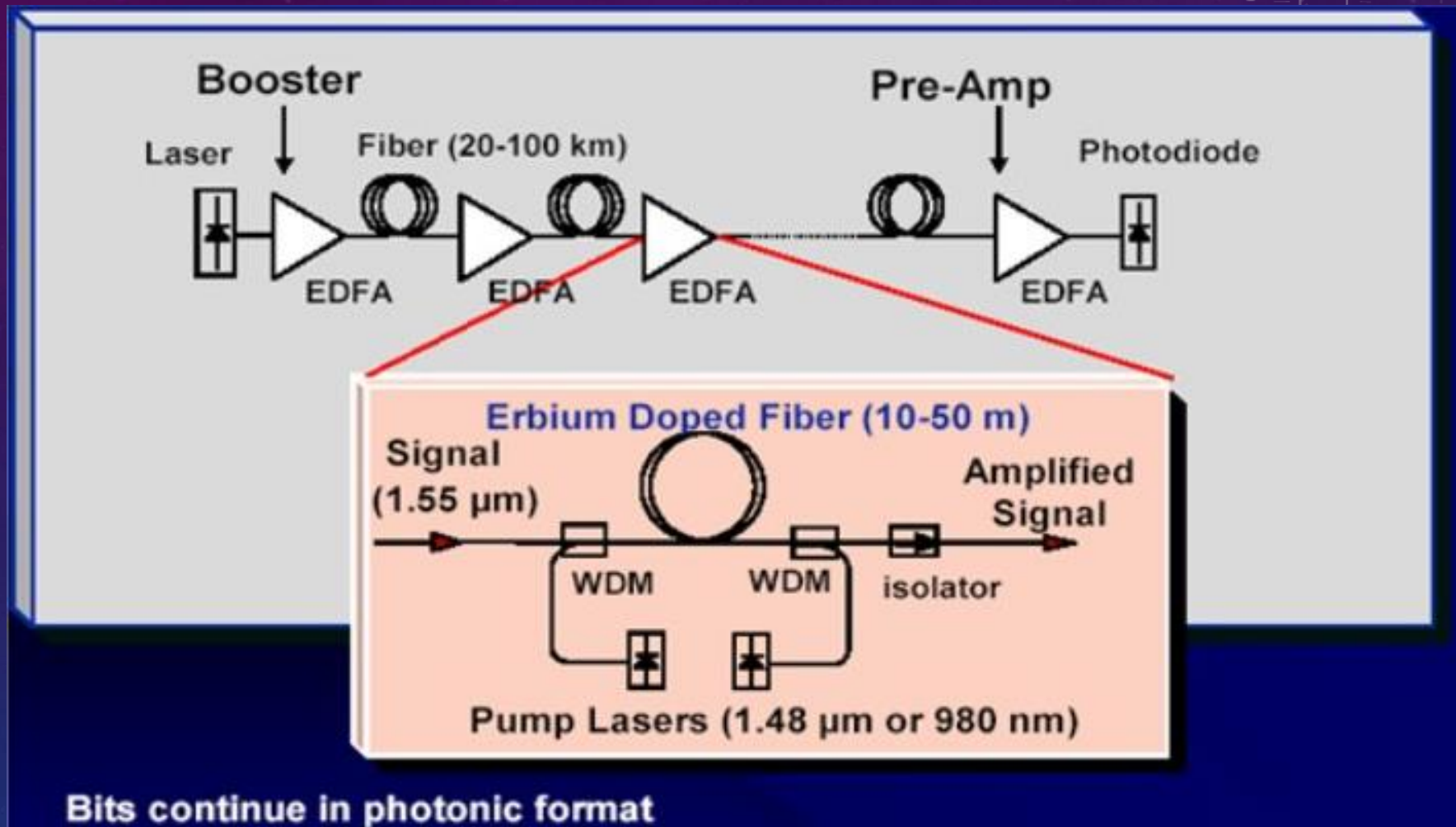


Ένα παραδοσιακό σύστημα ενίσχυσης



Σύστημα ενίσχυσης με ενισχυτές Ερβίου

EDFAs

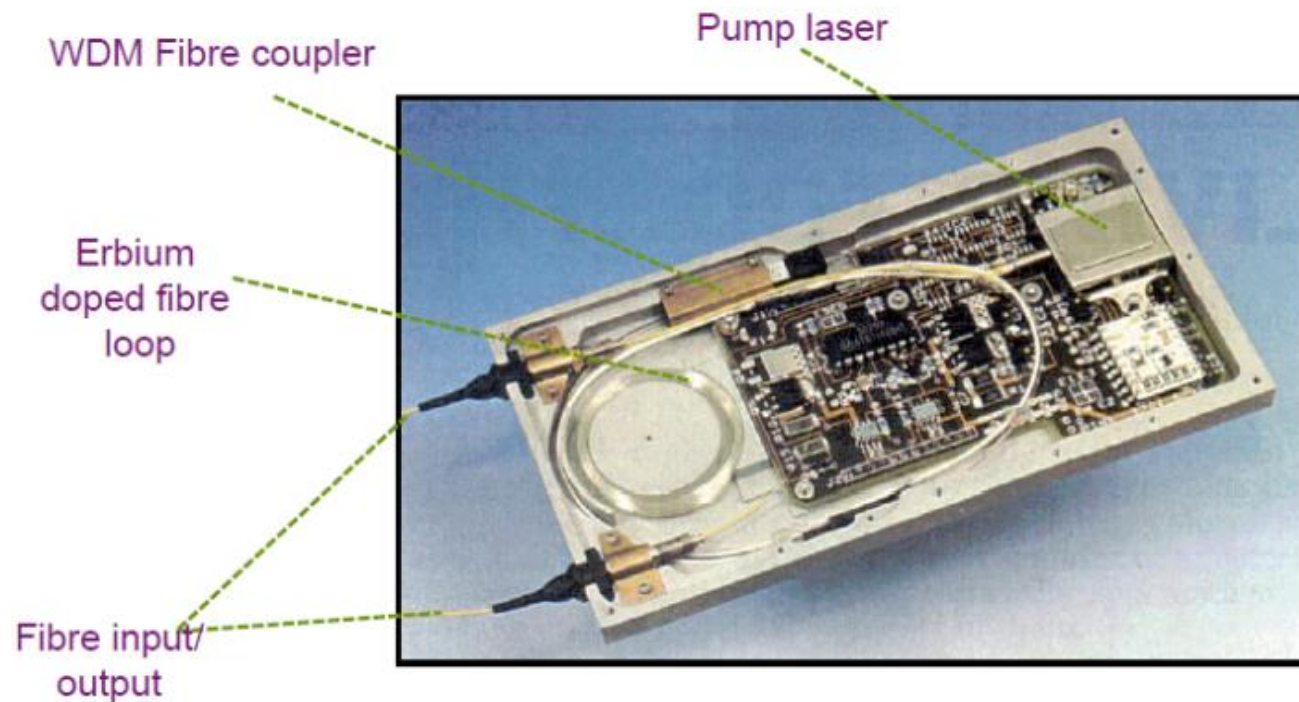


Bits continue in photonic format

Οπτικοί ενισχυτές 2

Band	Description	Wavelength range
O band	original	1260–1360 nm
E band	extended	1360–1460 nm
S band	short wavelengths	1460–1530 nm
C band	conventional ("erbium window")	1530–1565 nm
L band	long wavelengths	1565–1625 nm
U band	ultralong wavelengths	1625–1675 nm

Ανάλογα με την επιλογή του μήκους κύματος ορίζω μία ζώνη (O, E, S, C, L, U). Σε κάθε ζώνη χρησιμοποιώ διαφορετικούς οπτικούς ενισχυτές.



Γιατί προτιμώ τους οπτικούς ενισχυτές - 1

❖ Γιατί χρειάζονται οι Οπτικοί Ενισχυτές;

- Τυπικές απώλειες ίνας λόγω εξασθένισης: $\sim 0.2\text{dB/km}$ @ $1.5\ \mu\text{m}$ (C-band).
- Μετά από 100 km μετάδοσης το σήμα εξασθενεί 20dB ($P_{\text{out}} \sim 100$ μικρότερη από P_{in})
- Μικρό signal-to-noise (SNR) @ Rx \rightarrow Δεν μπορούμε να πετύχουμε το απαιτούμενο bit error rate (BER) (typically 10GHz)

Η χρήση επαναληπτών optical-electrical-optical (O-E-O) στη μετάδοση χρειάζεται γρήγορα ηλεκτρονικά κυκλώματα ($>10\text{GHz}$) και εισάγει καθυστέρηση. Ο καλύτερος τρόπος ενίσχυσης σημάτων είναι οι οπτικοί ενισχυτές με ίνα (Optical Fiber Amplifiers): χαμηλότερες απώλειες και μεγαλύτερη σταθερότητα.

Γιατί προτιμώ τους οπτικούς ενισχυτές - 2

- **Αξιοπιστία**. Επειδή χρησιμοποιούν λιγότερα ηλεκτρονικά συστήματα έχουν μικρότερη πιθανότητα βλάβης.
- **Ευελιξία**. Οι οπτικοί ενισχυτές μπορούν να είναι πολύ μικροί και ελαφριοί σε σύγκριση με τους ηλεκτρονικούς ενισχυτές. Αρκεί ένα τύπος οπτικού ενισχυτή για όλα τα μήκη κύματος.
- **Πολυπλεξία διαίρεσης μήκους κύματος (WDM)**: Οι οπτικοί ενισχυτές καταφέρνουν να ενισχύσουν ταυτόχρονα όλα τα διαθέσιμα μήκη κύματος.
- **Χαμηλό κόστος**. Ενώ οι οπτικοί έχουν μεγαλύτερο κόστος κατασκευής, έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, είναι λιγότερο ενεργοβόροι και δεν χρειάζονται ιδιαίτερη συντήρηση.

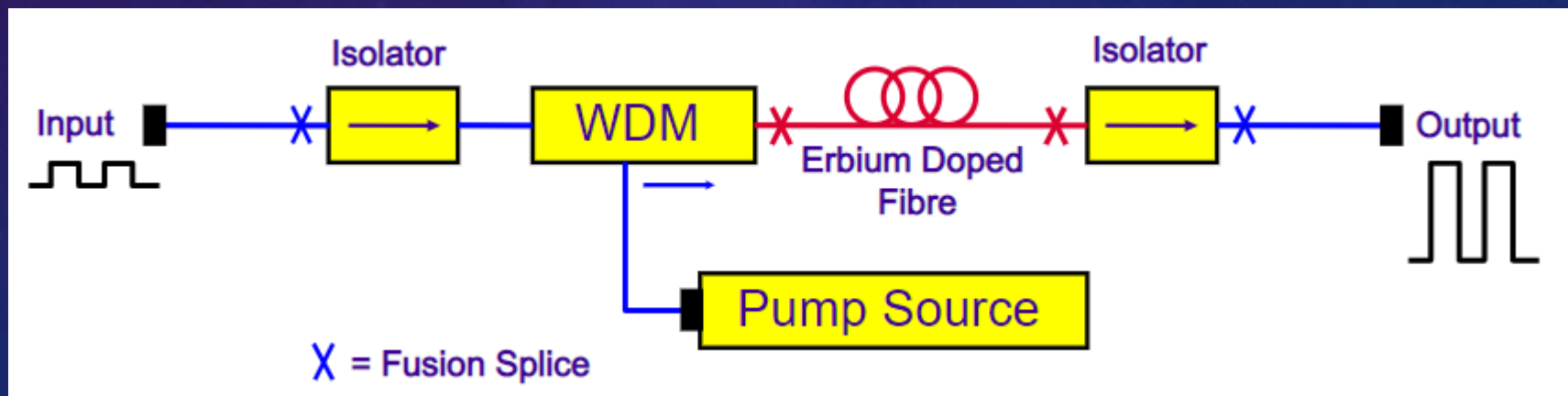
Τύποι Οπτικών Ενισχυτών

Τύποι Οπτικών Ενισχυτών

- ❖ Οπτικοί Ενισχυτές ίνας με προσμίξεις σπάνιων γαιών EDFAs (Erbium doped):
 - C or L μπάντας με συνολικό εύρος από 1500-1600 nm (C+L)
 - PDFAs (Praseodymium doped): Ο μπάντας window (στα 1300nm)
- ❖ Οπτικοί ενισχυτές τύπου RAMAN:
 - Στις O+C+L μπάντες (ανάλογα με τον αριθμό των laser άντλησης)
- ❖ Οπτικοί ενισχυτές ημιαγωγών:
 - Καλύπτουν τις O ή C ή L μπάντες

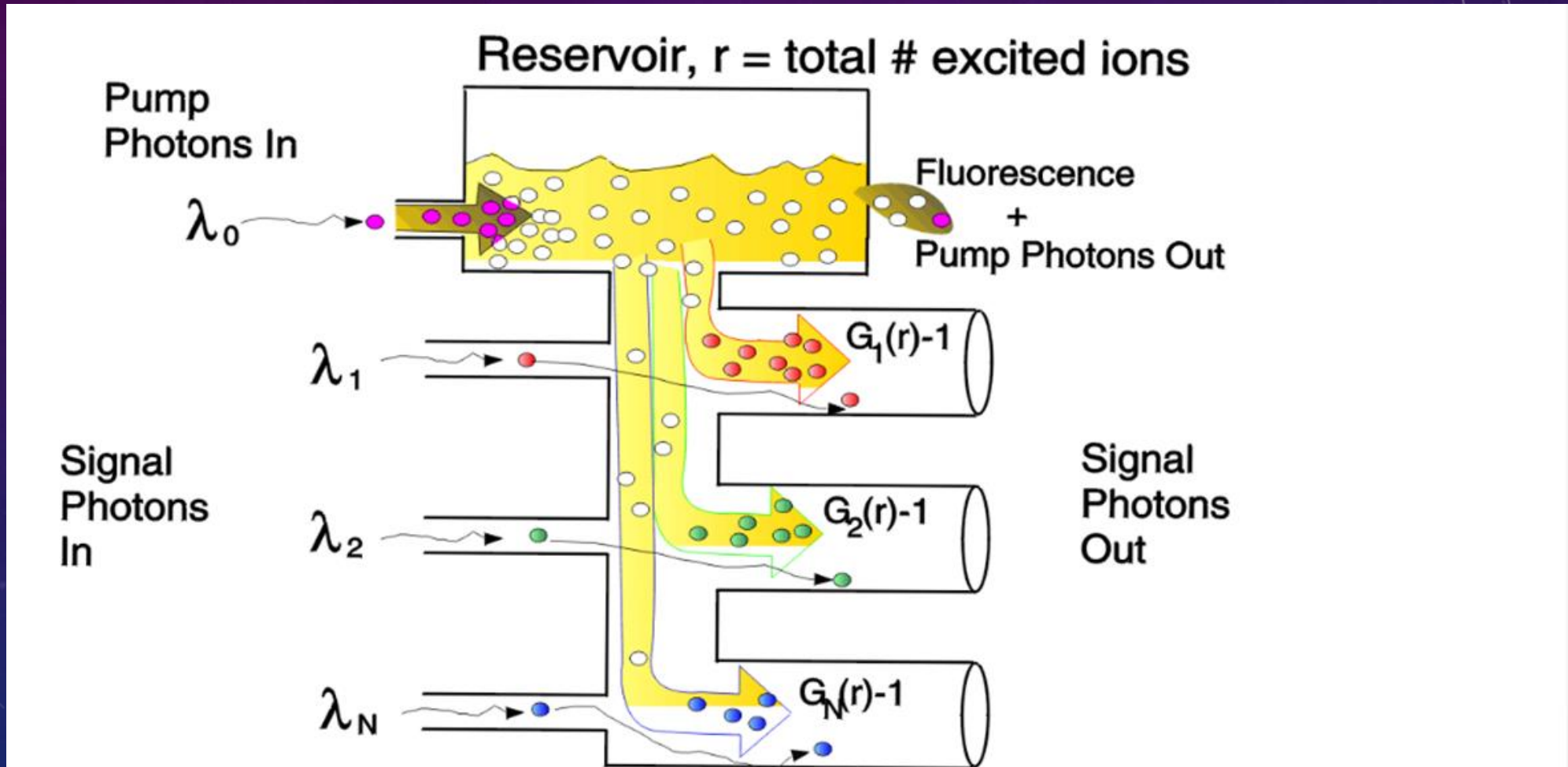
Σύστημα ενίσχυσης με ενισχυτές Ερβίου

1. Ένα οπτικό σήμα αντλίας προστίθεται σε ένα σήμα εισόδου από έναν ζεύκτη WDM
2. Μέσα στη ντοπαρισμένη ίνα, μέρος της ενέργειας της αντλίας laser (pump Source) μεταφέρεται στο σήμα εισόδου μέσω διεγερμένης εκπομπής
3. Για τη συνήθη λειτουργία περίπου στα 1550 nm, η ιδανική πρόσμιξη ινών είναι το Έρβιο
4. Το μήκος κύματος της αντλίας είναι 980 nm ή 1480 nm, η ισχύς της αντλίας είναι περίπου 50 mW
5. Πιθανά κέρδη σε ειδικές περιπτώσεις μέχρι και 30-40 dB



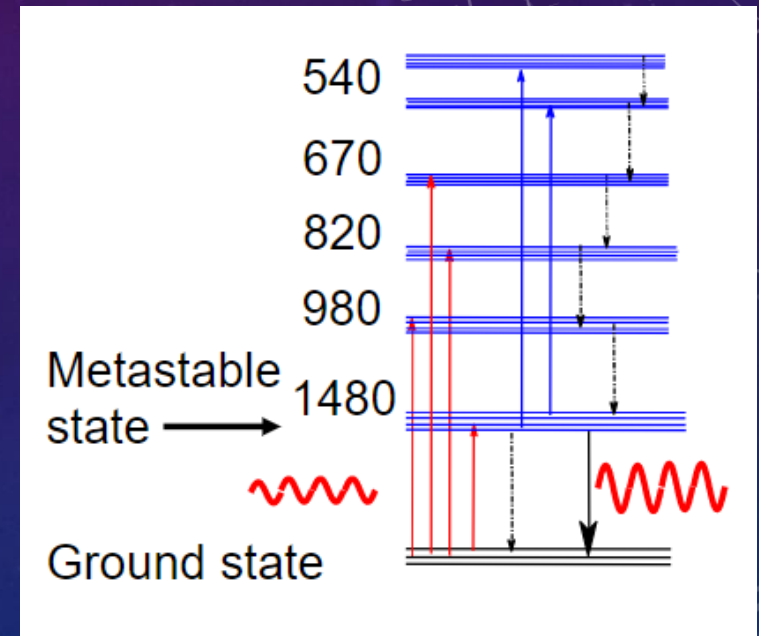
Οπτικοί ενισχυτές Ερβίου - 2

Οπτικοί ενισχυτές Ερβίου



Οπτικοί ενισχυτές Ερβίου - 3

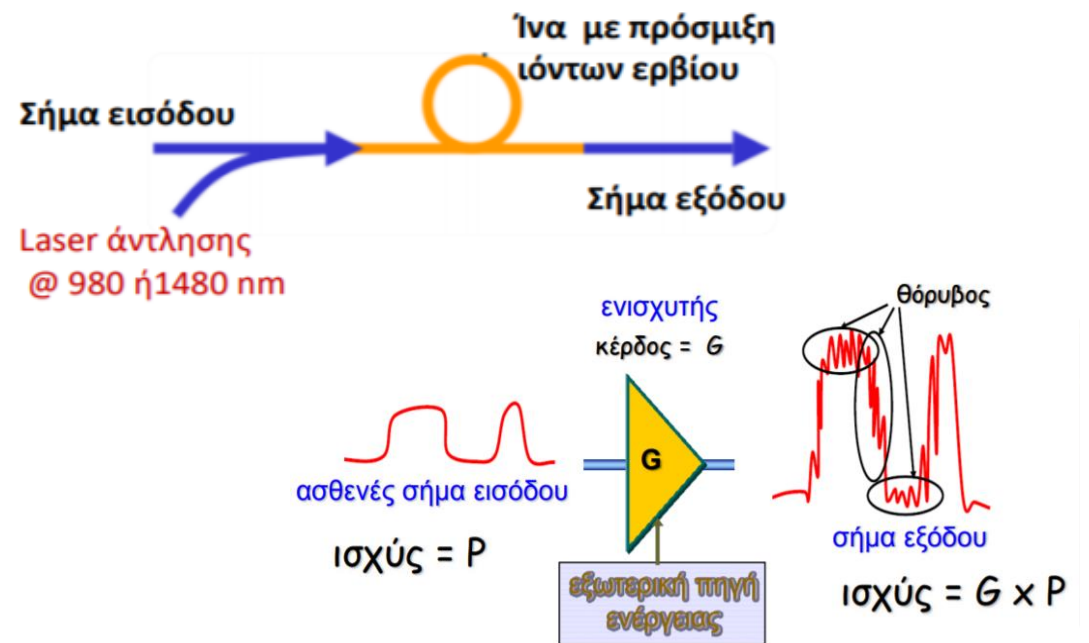
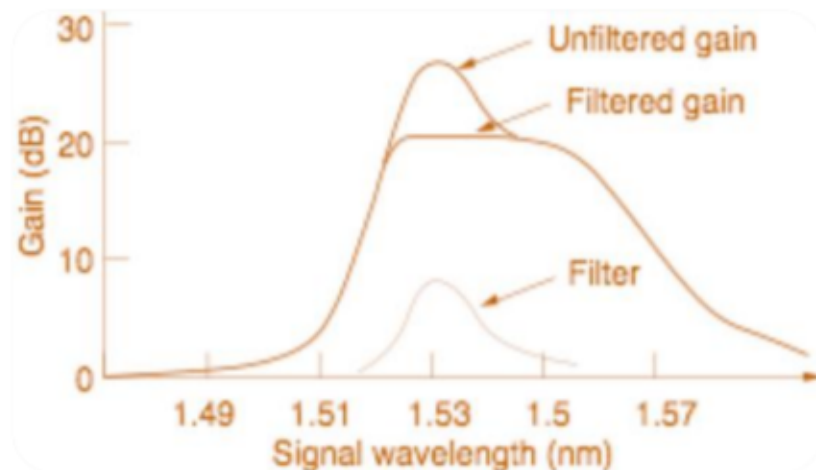
- Τα φωτόνια στα 1480 ή 980 nm ενεργοποιούν τα ηλεκτρόνια σε μια μετασταθερή κατάσταση
- Τα ηλεκτρόνια που πέφτουν πίσω αυθόρμητα εκπέμπουν φως στην περιοχή των 1550 nm
- Η αυθόρμητη εκπομπή εμφανίζεται τυχαία (~1-10 ms)
- Διεγερμένη εκπομπή: Με ηλεκτρομαγνητικό κύμα. Το εκπεμπόμενο μήκος κύματος και η φάση είναι πανομοιότυπα με το προσπίπτον



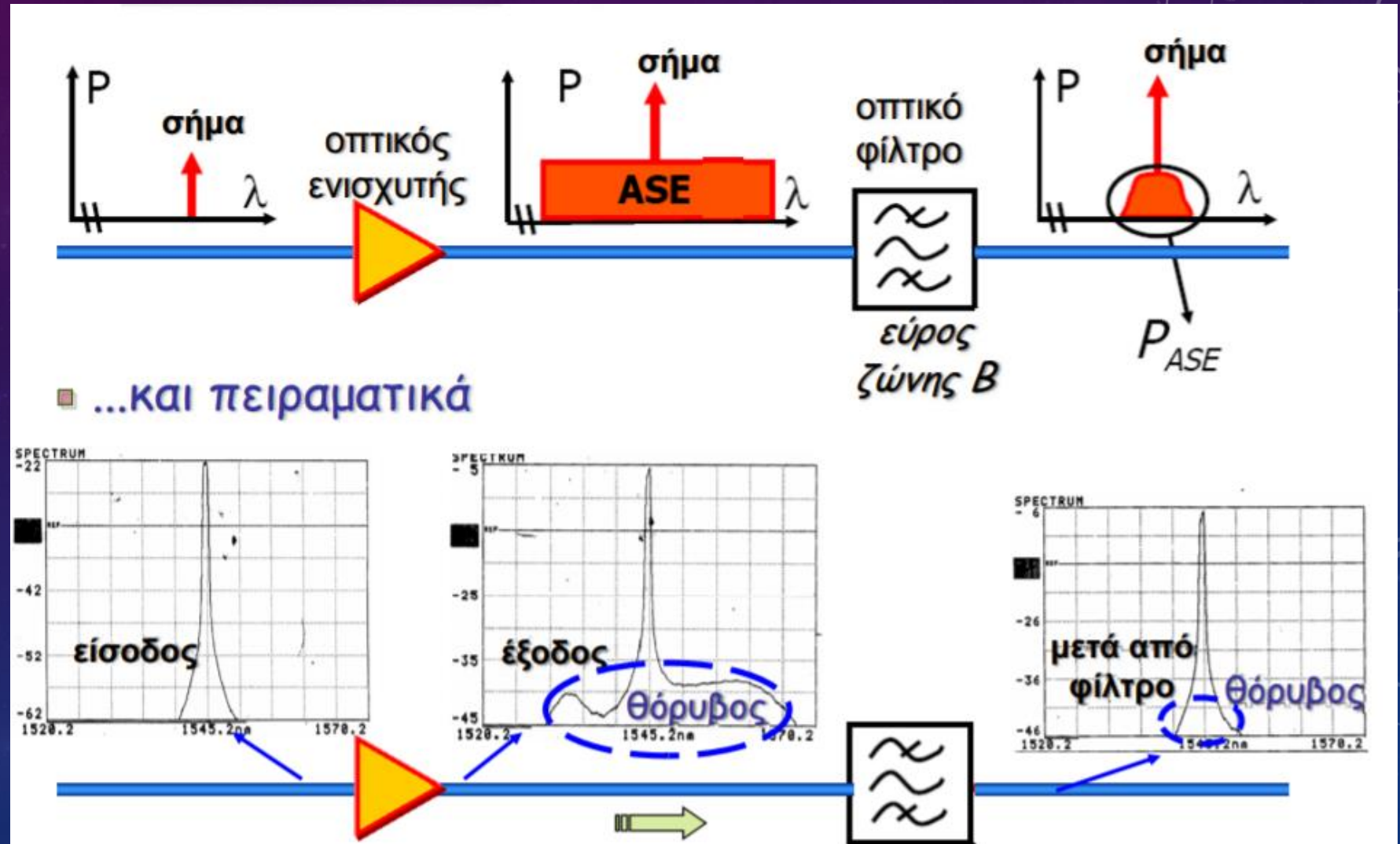
Οπτικοί ενισχυτές Ερβίου - 1

Οπτικοί ενισχυτές Ερβίου

- ✓ Μεγάλο εύρος ενίσχυσης (40nm)
- ✓ Μεγάλο κέρδος ενίσχυσης (30-40dB)
- ✓ Υψηλή ισχύς εξόδου (>20dBm)
- ✓ Χαμηλή εικόνα θορύβου - 4dB (Noise Figure)
- ✗ Δεν έχουν ομοιόμορφο κέρδος σε όλο το παράθυρο λειτουργίας τους
- ✗ Σχετικά μεγάλο μέγεθος
- ✗ Δεν μπορούν να ολοκληρωθούν σε chip



Ζωνοπερατά φίλτρα



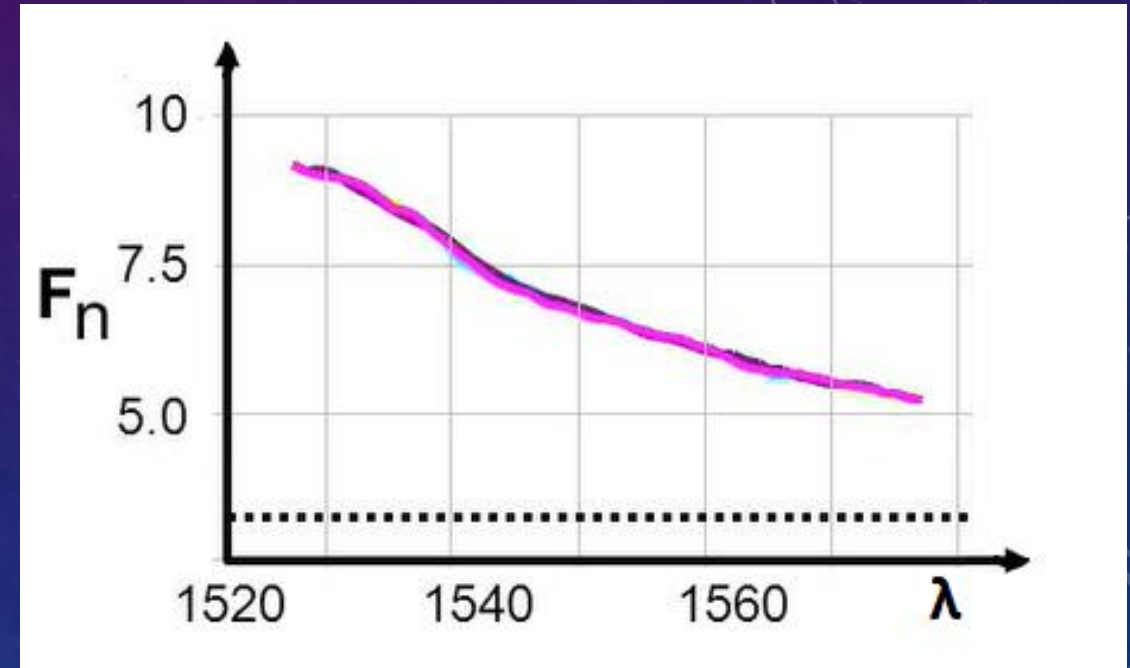
Ζωνοπερατό φίλτρο για μείωση amplified spontaneous emission (ASE) θορύβου

Θόρυβος

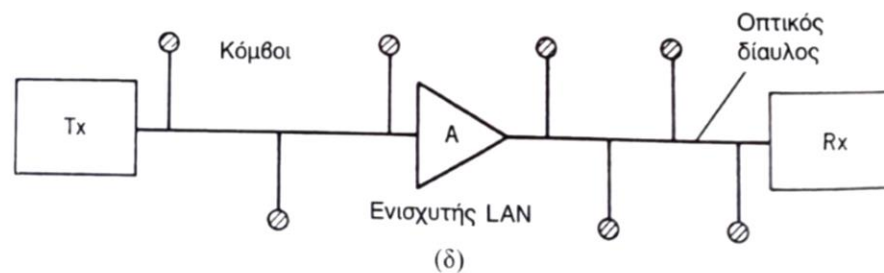
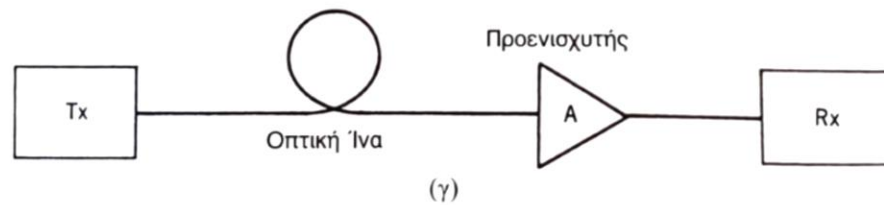
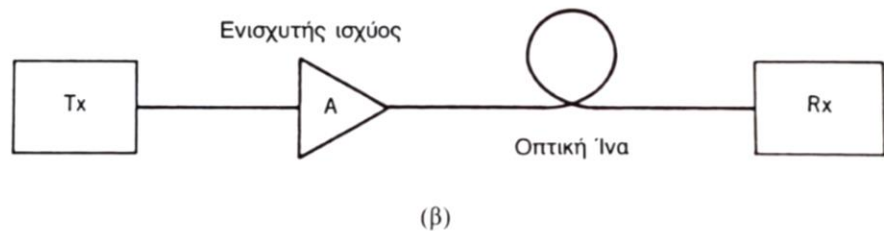
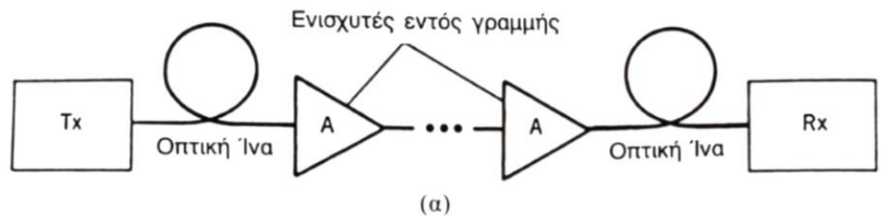
Όλοι οι ενισχυτές υποβαθμίζουν το λόγο σήματος προς θόρυβο (SNR) λόγω της αυθόρμητης μετάδοσης που προσθέτει θόρυβο στο σήμα. Το μέγεθος που μας δίνει την ποσοτική υποβάθμιση του SNR το προσδιορίζω ως:

$$F_n = \frac{(SNR)_{in}}{(SNR)_{out}}$$

Η F_n εξαρτάται κυρίως από το μήκος κύματος του ενισχυόμενου σήματος.



Εφαρμογές οπτικών ενισχυτών στο δίκτυο



4 δυνατές εφαρμογές των οπτικών ενισχυτών στα οπτικά συστήματα

- (α) ως ενισχυτές εντός γραμμής
- (β) ως υποστηρικτής της μεταδιδόμενης ισχύος
- (γ) ως προενισχυτής στον δέκτη
- (δ) για αντιστάθμιση της απώλειας κατανομής στα τοπικά δίκτυα

Απολαβή

Απολαβή ενισχυτή:

$$G_P = 10 \log_{10} \left(\frac{P_{in}}{P_{out}} \right)$$



Απολαβή οπτικού ενισχυτή: $g(\omega) = \frac{g_0}{1 + (\omega - \omega_0)^2 T_2^2 + P/P_s}$

Όπου g_0 η μέγιστη τιμή της απολαβής, ω η οπτική συχνότητα, ω_0 η ατομική συχνότητα μετάβασης, P_s η ισχύς κόρου, T_2 ο χρόνος διπολικής χαλάρωσης, και P η οπτική ισχύς του σήματος που ενισχύεται

Απολαβή 2

Για ένα μη κορεσμένο σύστημα στο οποίο $P/P_s \ll 1$

Απολαβή οπτικού ενισχυτή: $g(\omega) = \frac{g_0}{1 + (\omega - \omega_0)^2 T_2^2}$

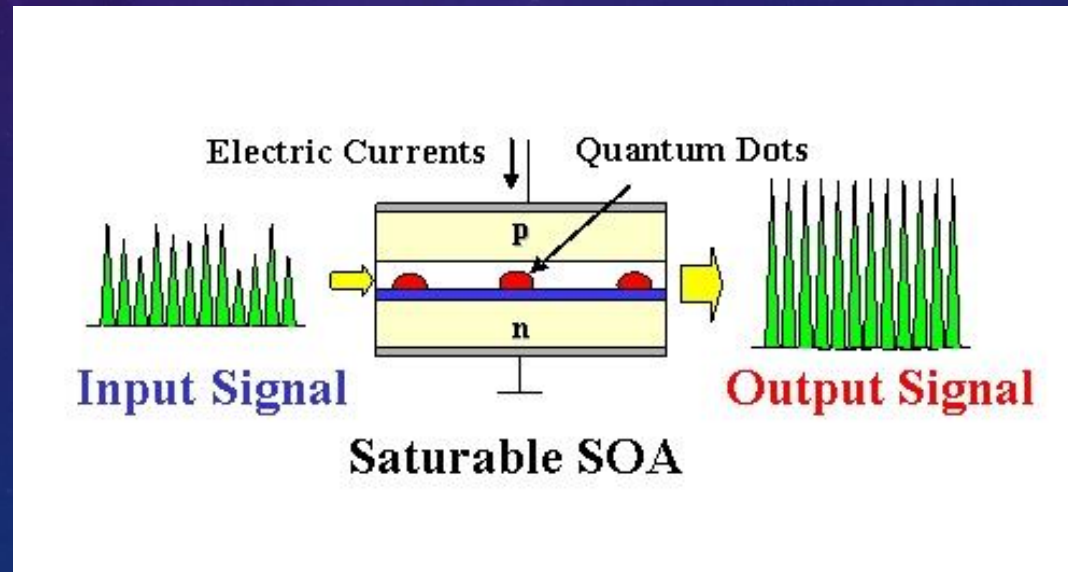
Η απολαβή γίνεται μέγιστη όταν η συχνότητα της προσπίπτουσας ακτινοβολίας συμπίπτει με την ατομική συχνότητα μετάβασης ω_0 .

Εύρος ζώνης απολαβής: $\Delta V_g = \frac{\Delta\omega_a}{2\pi} = \frac{1}{\pi T_2}$

Οπτικοί ενισχυτές ημιαγωγού

Οπτικοί ενισχυτές ημιαγωγού

Όταν το φως ταξιδεύει μέσα από την ενεργό περιοχή, αναγκάζει τα διεγερμένα ηλεκτρόνια να χάσουν ενέργεια με τη μορφή φωτονίων και να επιστρέψουν στη θεμελιώδη κατάσταση. Αυτά τα διεγερμένα φωτόνια έχουν το ίδιο μήκος κύματος με το οπτικό σήμα, ενισχύοντας έτσι το οπτικό σήμα.



Ερωτήσεις

- Τι είναι ένας οπτικός ενισχυτής.
- Σε τι διαφέρει ένας οπτικός ενισχυτής από έναν ηλεκτρικό ενισχυτή;
- Ποιο φαινόμενο «θεραπεύει» ένας οπτικός ενισχυτής;
- Ποιο είδος ενισχυτή ενισχύει ταυτόχρονα όλα τα μήκη κύματος;
- Ποιοι είναι οι βασικοί τύποι οπτικών ενισχυτών;
- Με ποιον μηχανισμό μεταφέρεται ενέργεια από την αντλία laser (pump Source) στο σήμα εισόδου σε έναν ενισχυτή Erbium;
- Τι μήκος κύματος έχει το εκπεμπόμενο φωτόνιο κατά τη διεγερμένη εκπομπή σε έναν ενισχυτή Erbium;
- Πώς αφαιρώ τον θόρυβο που εισάγει ένας ενισχυτής Erbium;
- Η ενίσχυση ενός ενισχυτή Erbium είναι ανεξάρτητη από το μήκος κύματος;