

به نام خدا

تکنیک های ارتباطات نوري

Melec.ir

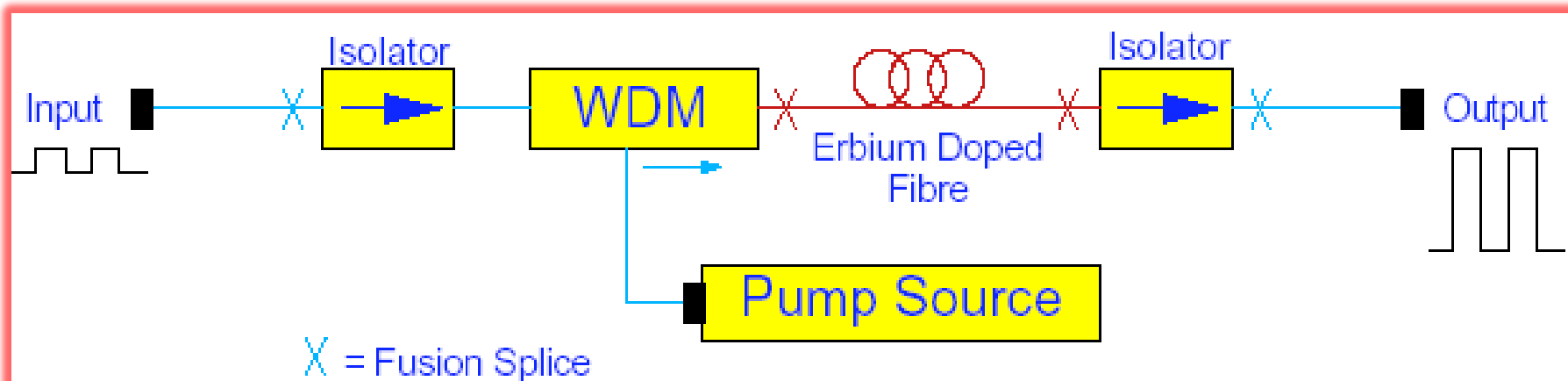
۲	 WDM	مالتی پلکس طول موج
۱۰	.....	مقدمه فیبر نوری
۳۶	.....	انواع فیبر نوری
۷۲	.....	مروری بر تجهیزات و ابزارهای نوری
۸۷	.....	فرستنده های نوری
۱۰۰	.....	فرستنده های نوری
۱۱۵	.....	گیرنده های نوری
۱۳۵	.....	تقویت کننده های نوری
۱۵۹	.....	فیلترهای مالتی پلکسر و دی مالتی پلکسر نوری
۱۷۹	.....	مقدمه بر فیبر نوری - پاشندگی - انواع فیبر نوری و بوجه قدرت
۲۱۵	.....	مالتی پلکس طول موج
۲۳۸	 WDM	مسائل و مشکلات طراحی
۲۵۹	.....	تکنیک های اتصال فیزیکی فیبرهای نوری
۲۸۳	.....	تکنیک های اندازه گیری فاکتورهای نوری
۲۹۹	.....	معرفی ITU گروه های مطالعاتی و نحوه دسترسی
۳۱۴	 SDH	

مالتی پلکس طول موج WDM

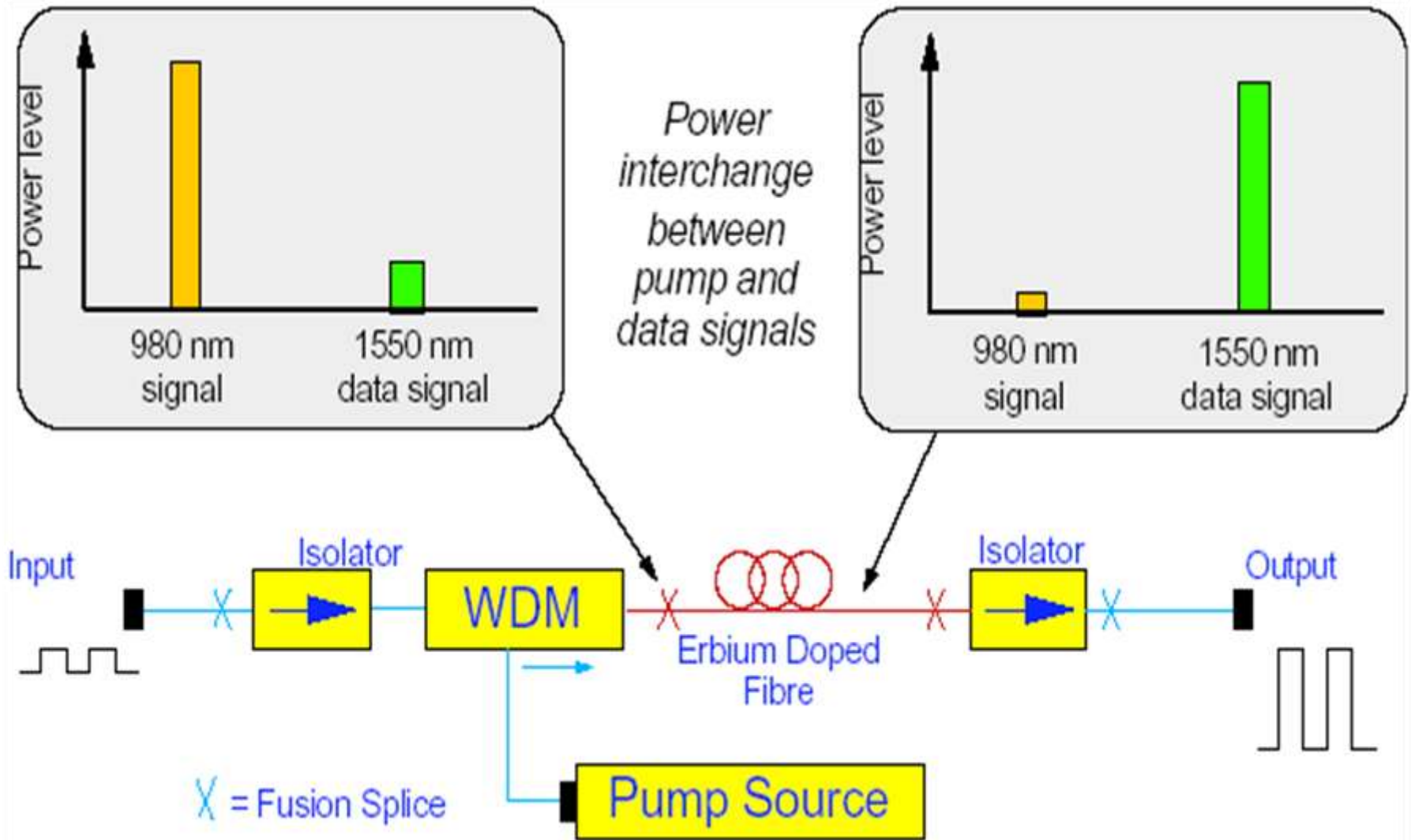
Melec.ir

Erbium Doped Fibre Amplifier (EDFA)

- یک سیگنال نوری بعنوان پمپ به سیگنال ورودی با استفاده از **WDM Coupler** اضافه می شود.
- در داخل **Erbium Doped Fibre** قسمتی از انرژی سیگنال پمپ بر اثر پدیده تابش برانگیخته (**Stimulated Emission**) به سیگنال ورودی منتقل می شود.
- ماده افزوده شده برای کار در طول موج ۱۵۵۰ نانومتر **Erbium** است و عناصر دیگری از مجموعه خاکهای نادر می توانند برای طول موج های دیگر بکار روند.
- طول موج سیگنال پمپ می تواند ۹۸۰ یا ۱۴۸۰ نانومتر باشد.
- توان سیگنال پمپ در حد ۵۰ میلی وات است.
- گین در محدوده ۳۰ تا ۴۰ دسیبل امکان پذیر است.



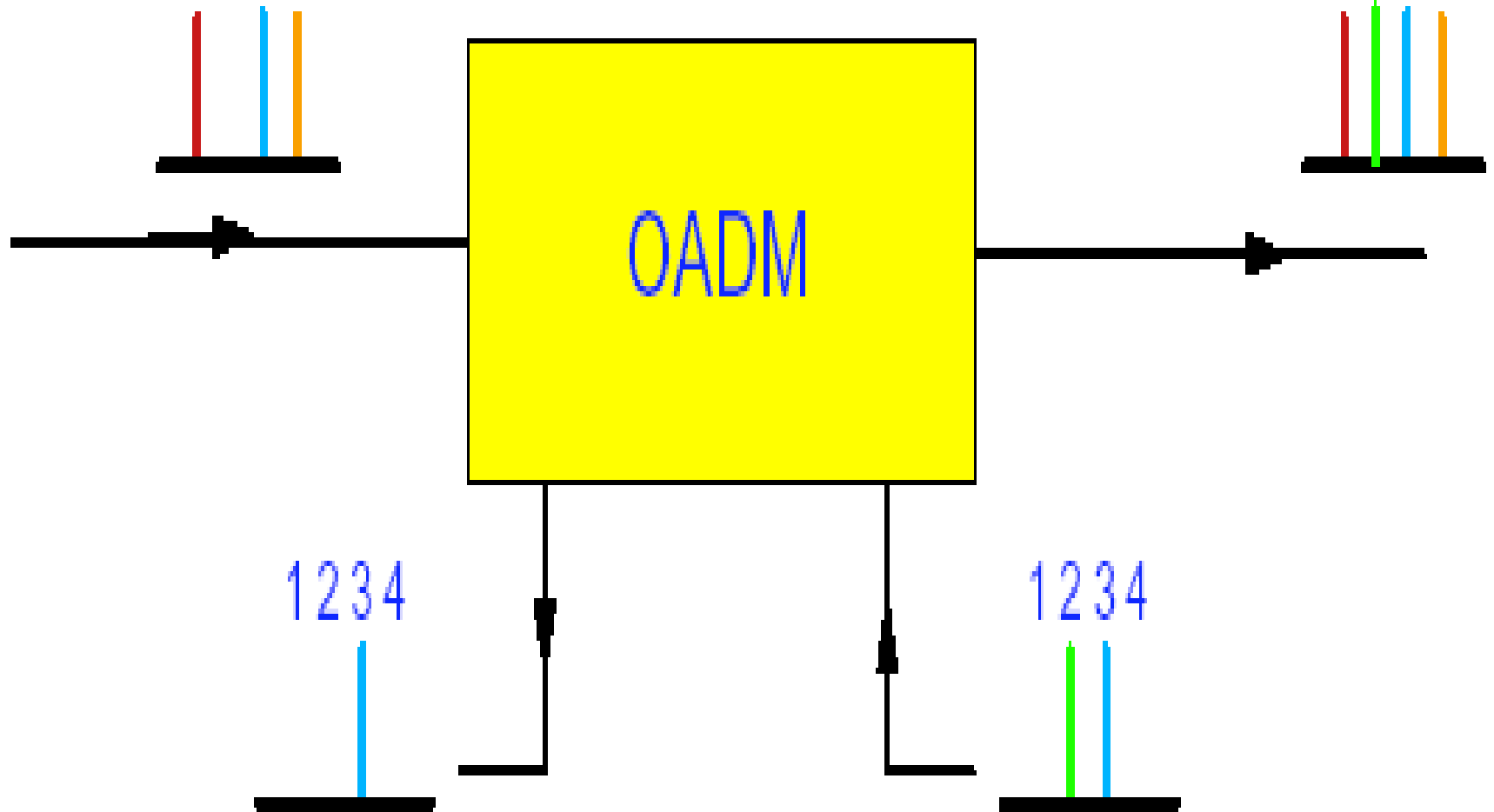
طرز کار EDFA



اصول مالتی پلکسر نوري براي (OADM) Add-Drop

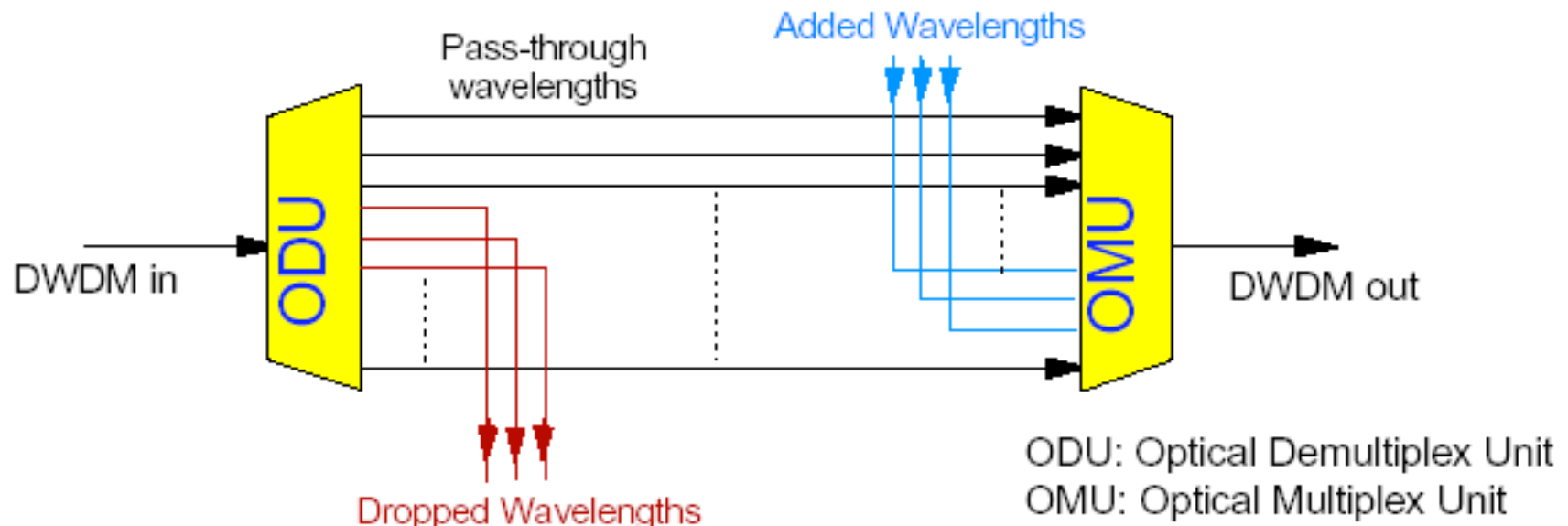
Wavelengths 1 2 3 4

Wavelengths 1 2 3 4

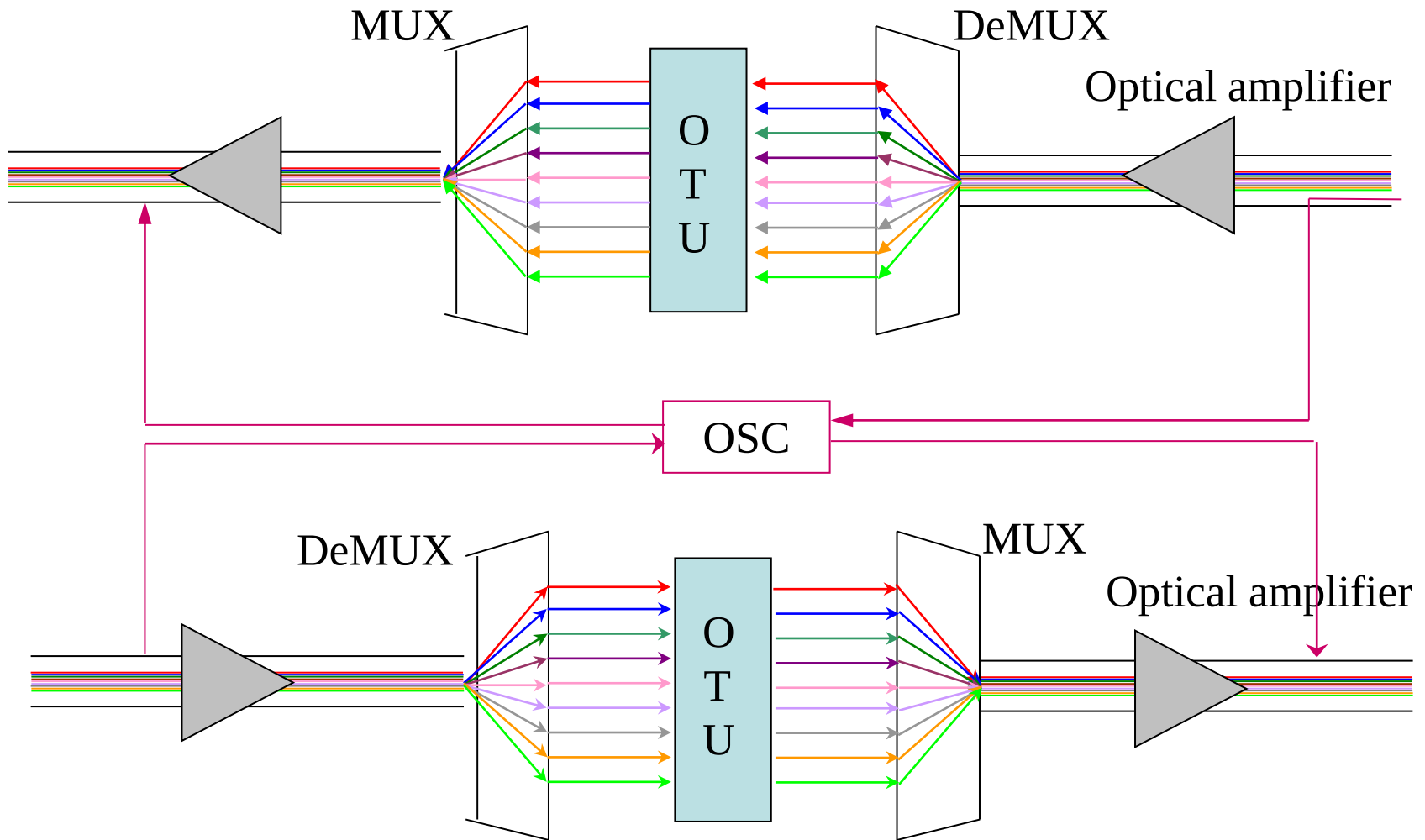


نسل اول OADM

- Simple OADM structure
 - ODU demultiplexes all wavelengths and drops off wavelengths as required
 - OMU multiplexes added wavelengths as well as those that pass through
- Disadvantages:
 - Unnecessary demultiplexing and multiplexing of pass-through wavelengths
 - Typical number of drop channels is limited to 25-50% of total payload

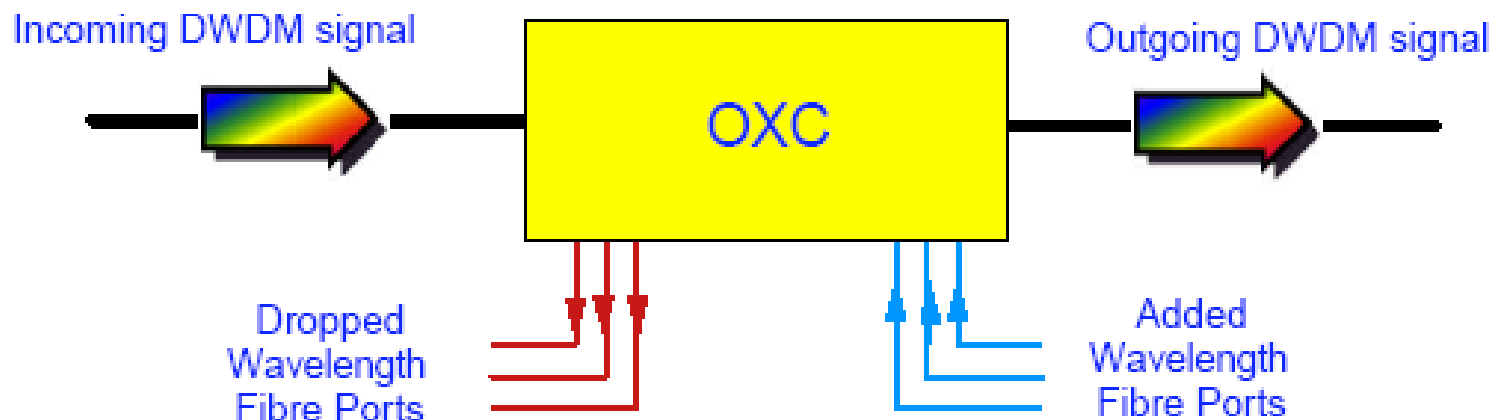


REG

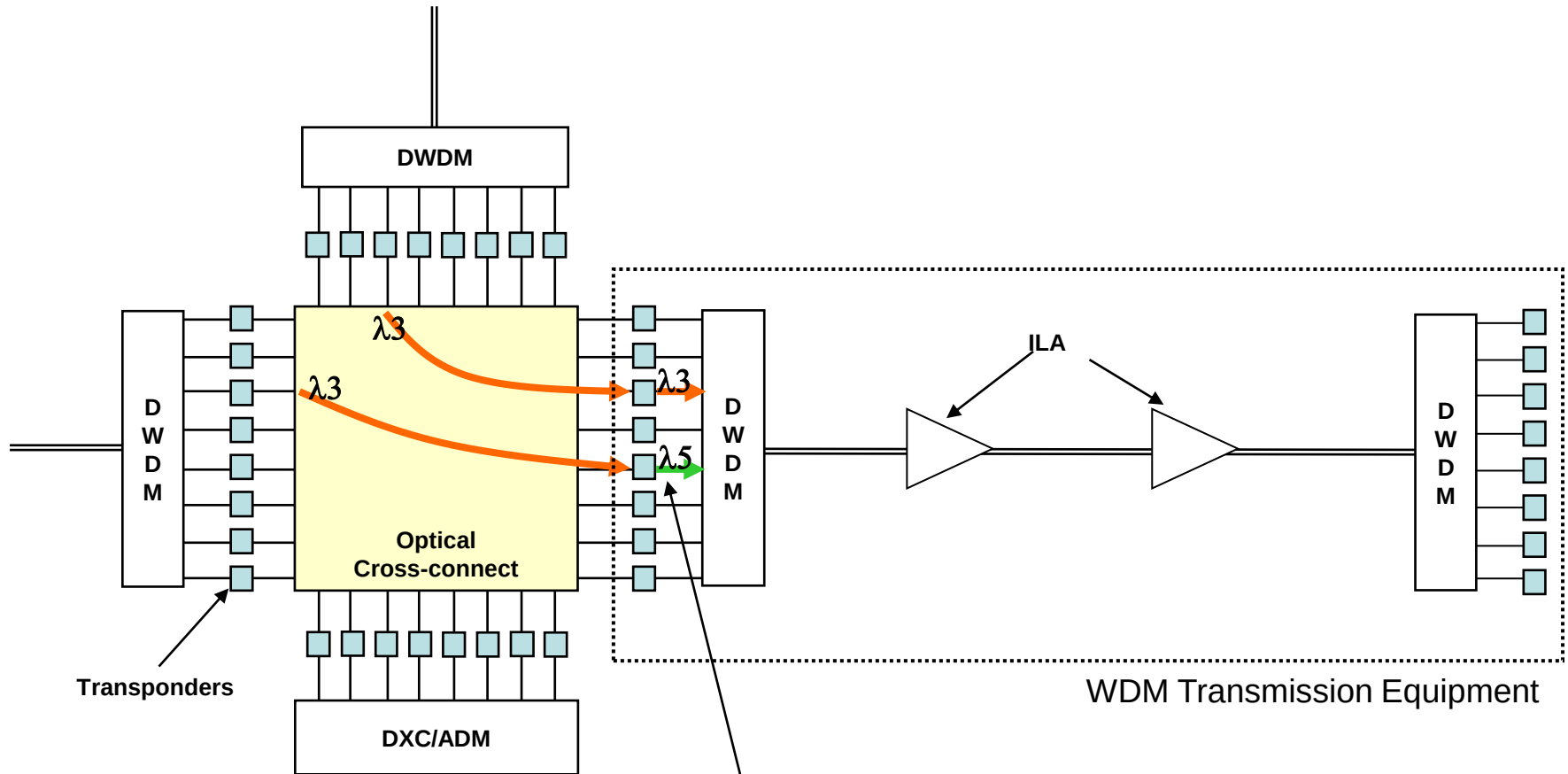


Optical Cross-Connect (OXC)

- Reconfigurable OADM, allows change to the added and dropped wavelengths
- Large number of DWDM wavelengths possible means a large number of ports
- Needs to be remotely configurable, intelligent
- Should be non-blocking, any combination of dropped/added possible
- In addition, insertion loss, physical size, polarization effects, and switching times are critical considerations.



Optical Cross-connect System



Future Challenge :
Wavelength Conversion is not mandatory
but useful for more flexibility.

مقدمه بر فیر نوری

Melec.ir

اهمیت سرعت انتقال اطلاعات

- کتاب ۴۰۰ صفحه ای Optical Fibres, Cables and Systems

- تهیه شده توسط گروه مطالعاتی ۱۵ از ITU-T در سال ۲۰۰۹

- بصورت pdf قابل دریافت از سایت www.itu.int

- حجم فایل حدود ۶۳۰۰ کیلوبایت

- اگر بخواهیم این کتاب را از سایت دریافت کنیم، با سرعت ۵۶ کیلوبیت بر ثانیه ۹۰۰ ثانیه یا ۱۵ دقیقه و برای ۱۰۰۰ کتاب مشابه بیش از ۱۰ شبانه روز طول می کشد.

- اگر بخواهیم این کتاب را از سایت دریافت کنیم، با سرعت ۲ مگابیت بر ثانیه حدود ۲۵ ثانیه و برای ۱۰۰۰ کتاب مشابه ۷ ساعت طول می کشد.

- اگر بخواهیم ۱۰۰۰ کتاب مشابه آن را از سایت دریافت کنیم، با سرعت ۱۰ گیگابیت بر ثانیه حدود ۵ ثانیه طول می کشد.

حد اکثر ظرفیت فیبر نوری چقدر است؟

ظرفیت یک فیبر نوری تنها:

- ۱- فرض کنید که طیف قابل دسترسی یک فیبر از ۱۲۵۰ تا ۱۶۲۰ نانومتر است.
- ۲- فرض کنید یک سیستم **DWDM** با فاصله کانالهای ۰.۴ نانومتر داریم پس تعداد کانالها حدود ۹۰۰ است.
- ۳- فرض کنید نرخ ارسال داده های هر کانال **40Gb/s** می باشد.

بنا بر این ظرفیت یک فیبر تنها برابر $900 \times 40 \text{ Gb/s} = 36 \text{ Tb/s}$ است

ظرفیت یک کابل:

فرض کنید یک کابل دارای ۴۸ زوج فیبر است.

در نتیجه ظرفیت یک کابل حدود **1700 Tb/s** می باشد.

(اگر جمعیت جهان ۶ میلیارد باشد و هر نفر ۲۸۰ کیلوبیت بر ثانیه بفرستند با یک کابل قابل ارسال است.)

ملاحظات تاریخی

- نور برای ارتباطات دید مستقیم (Line of Sight) از هزاران سال پیش مورد استفاده قرار می گرفت.
- سال ۱۹۶۰: اختراع لیزر، مشکل اصلی: محیط انتقال
- سال ۱۹۶۶: پیشنهاد موجبر شیشه‌ای کم تلفات توسط Charles Kao
- سال ۱۹۷۲: اولین فیبر شیشه‌ای با تلفات زیر 20dB/Km در آمریکا توسط Corning glass ساخته شد.
- سال ۱۹۷۶: اولین سیستم فیبر نوری تجاری

سیر تاریخی

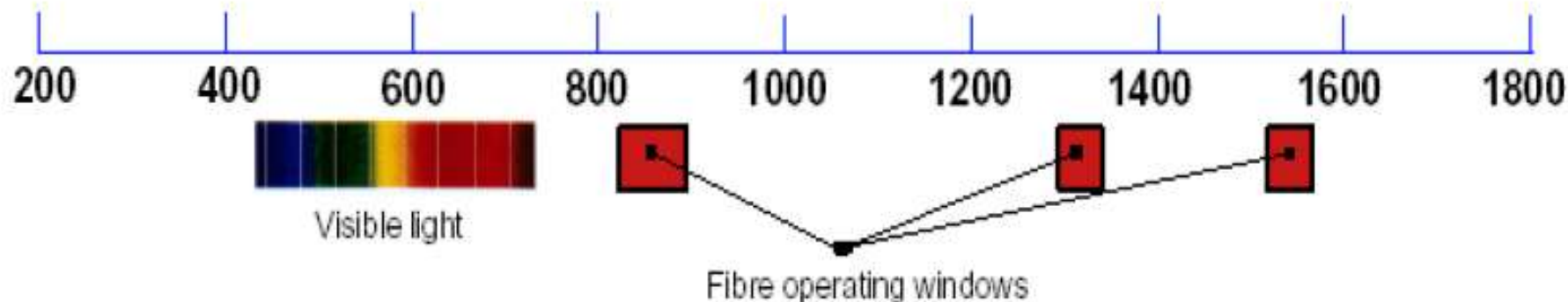
دوره پنجم بعد از ۲۰۰۰	دوره چهارم نیمه اول دهه ۹۰	دوره سوم نیمه دوم دهه ۸۰	دوره دوم نیمه اول دهه ۸۰	دوره اول ۱۹۸۰	
همه باندها	۱۳۱۰ و ۱۵۵۰	۱۵۵۰	۱۳۱۰	۸۵۰	طول موج-نانومتر
همه پنجره ها	دوم و سوم	سوم	دوم	اول	پنجره
			InGaAsP	GaAs	لیزر
	حذف OH و NZDSF	فیبرهای DSF	تک مود SMF	چند مود	فیبر نوری
کمتر از 0.2	0.2	0.2	0.5	2	تلفات (dB/Km)
40 Gb/s و بیشتر	10 Gb/s	4 Gb/s	2.5 Gb/s	۱۰۰ مگابیت بر ثانیه محدود به Modal Dispersion	سرعت
افزایش طول	دریایی	۱۰۰	۴۰	۱۰	فاصله - کیلومتر
انواع تقویت نوری	نوری	الکترونیکی	الکترونیکی	الکترونیکی	تقویت
افزایش طول موجها (>۱۶۰)	WDM	TDM	TDM	TDM	مالتی پلکس

طول موج و طیف

- طول موج (Wavelength): نور بوسیله طول موج مشخص می شود. طول موج برای نور مثل فرکانس برای امواج رادیویی است.

- طول موج نور بر حسب میکرون یا نانومتر بیان می شود.

- فیبرهای نوری معمولاً در محدوده اطراف سه طول موج ۸۵۰ و ۱۳۱۰ و ۱۵۵۰ نانومتر کار می کنند.



طیف نور (طول موج ها به نانومتر می باشد).

مزایای فیبر

- تلفات کم

- پهنای باند وسیع

- ابعاد فیزیکی کوچک

- وزن فیزیکی کم

- ارزان و فراوان بودن ماده اصلی تشکیل دهنده آن

- با توجه به عایق بودن تداخل الکترومغناطیسی و شوک های الکتریکی را حذف می کند و ایزولاسیون الکتریکی فراهم می سازد.

- به دلیل مشکل بودن انشعاب گیری ، امنیت در انتقال داده ها زیاد است.

معایب فیبر

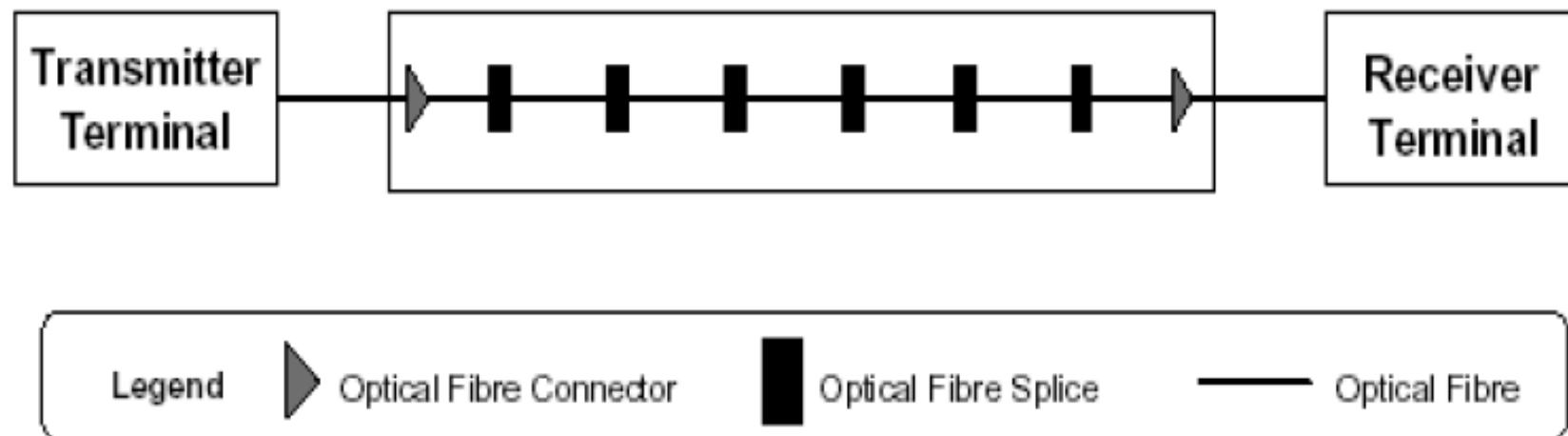
-اتصال فیبرها به یکدیگر می تواند دشوار و گرانبها باشد.

-فیبر از نظر مکانیکی به اندازه سیم مسی مقاوم نیست.

-با توجه به اینکه شدت نور نمی تواند مقادیر منفی داشته باشد بعضی از مدولاسیونها قابل تحقق نیست.

-استفاده از فیبر برای کاربردهایی که نیاز به انشعاب دارند دشوار است لذا استفاده از آنها در شبکه های LAN محدود است.

نمونه ای از لینک مخابرات نوری



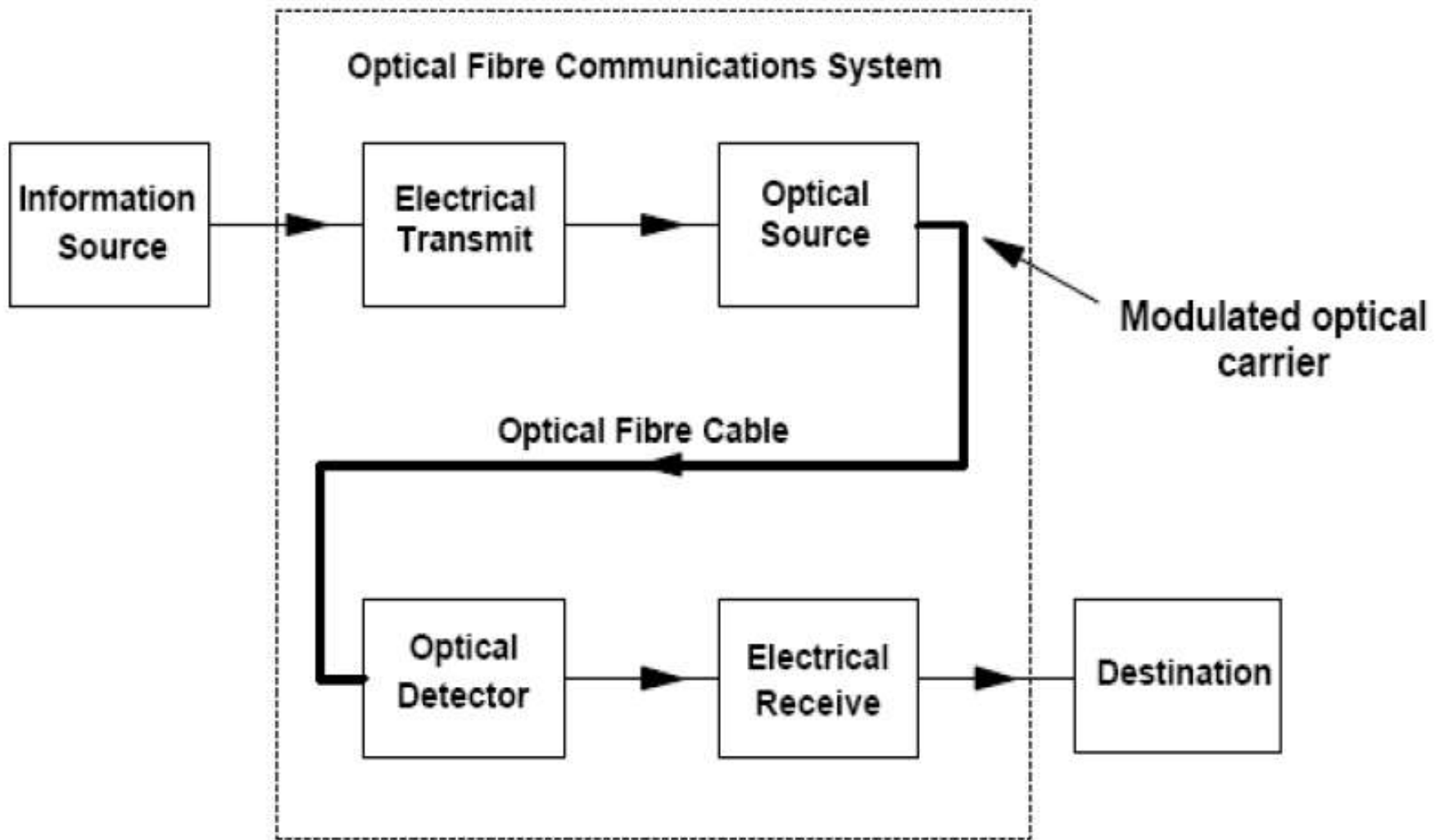
-فرستنده ، یک منبع نور است که سیگنال الکتریکی را تبدیل به نور می کند.

-فیبرها با طولهای کوچک بوسیله جوش (Splice) و مفصل (Connector) به هم وصل می شوند.

-جوش ، دائمی است در حالی که مفصل قابل باز کردن می باشد و مناسب برای آزمایش و تغییر مسیر.

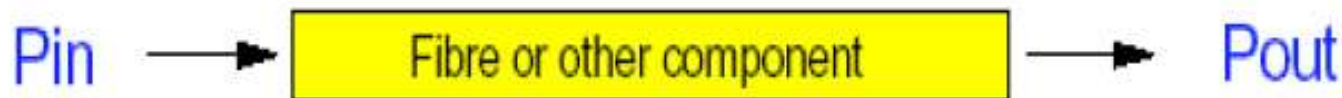
- گیرنده ، یک آشکارکننده (Detector) است که نور را دوباره به الکتریسیته تبدیل می کند.

یک سیستم انتقال نوری پایه



تلفات و دسی بل

- Decibels allows us to relate the power at two points, for example:
 - At the input and output of a complete link
 - Over a span of fibre
 - Across a connector



$$\text{Attenuation in dB} = -10 \log_{10} \left(\frac{P_{out}}{P_{in}} \right)$$

- By convention the **attenuation** in a fibre or other optical component is specified as a positive figure

نمونه ای از محاسبه تلفات

- For the fibre span shown the input power is 2 mW , while the output power is 250 μ W. What is the total attenuation over the fibre span?
- If the fibre span length is 38 km what is the fibre attenuation per km (db/km)



$$\text{Attenuation in dB} = -10 \log_{10} \left(\frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} \right)$$

$$\text{Attenuation in dB} = -10 \log_{10} \left(\frac{250 \mu\text{W}}{2 \text{ mW}} \right)$$

$$\text{Attenuation in dB} = -10 \log_{10}(0.125) = 9.03 \text{ dB} \quad \text{or} \quad 0.24 \text{ dB/km}$$

قدرت مطلق بر حسب دسی بل

- It is very useful to be able to specify in dB an absolute power in watts or mW.
- To do this the power P_2 in the dB formula is fixed at some agreed reference value, so the dB value always relates to this reference power level.
- Allows for the easy calculation of power at any point in a system

Where the reference power is 1 mW the power in an optical signal with a power level P is given in dBm as:

$$\text{Power in dBm} = 10 \log_{10} [P/1\text{mW}]$$

Where the reference power is 1 μW the power in an optical signal with a power level P is given in dB μ as:

$$\text{Power in dB}\mu = 10 \log_{10} [P/1\mu\text{W}]$$

جدول تبدیل وات به dBm

Power (watts)	Power (dBm)
1 W	+30 dBm
100 mW	+20 dBm
10 mW	+10 dBm
5 mW	+7 dBm
2 mW	+3 dBm
1 mW	0 dBm
500 μ W	-3 dBm
200 μ W	- 7 dBm
100 μ W	-10 dBm
50 μ W	-13 dBm
10 μ W	-20 dBm
5 μ W	-23 dBm
1 μ W	-30 dBm
500 nW	-33 dBm
100 nW	-40 dBm

محاسبه dBm در فرستنده

Transmitter Laser

→ 2.3 mW

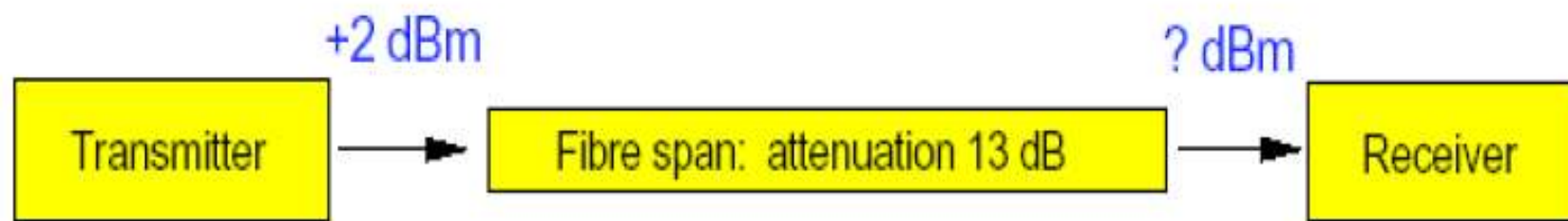
$$\text{Power in dBm} = 10 \log_{10} \left(\frac{\text{Power}}{1 \text{ mW}} \right)$$

$$\text{Power in dBm} = 10 \log_{10} \left(\frac{2.3 \text{ mW}}{1 \text{ mW}} \right)$$

$$\text{Power in dBm} = 10 \log_{10}(2.3) = +3.61 \text{ dBm}$$

ترکیب محاسبات dB و dBm

- dB and dBm can be combined in the same calculation
- As shown a fibre span (including splices etc.) has a total attenuation of 13 dB.
- If the transmitter output power is +2 dBm what is the receiver input power in dBm?



Receiver input in dBm = Transmitter output power - Total fibre span attenuation

Receiver input in dBm = +2 dBm - 13 dB

Receiver input in dBm = -11 dBm

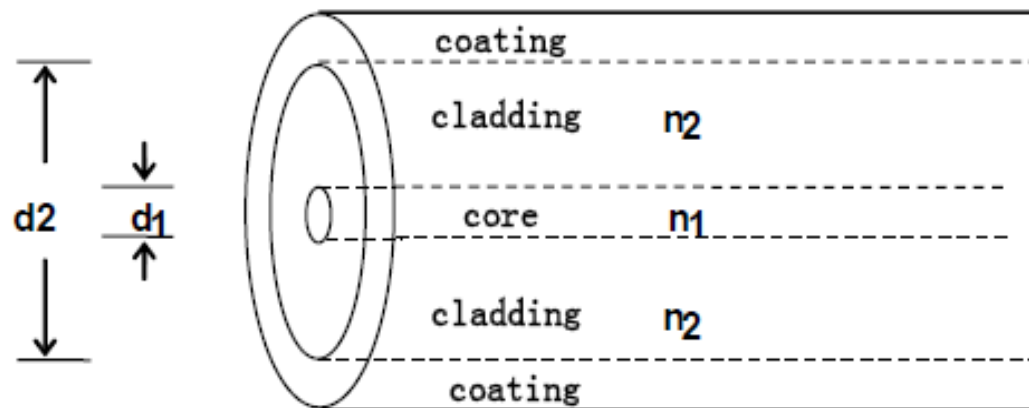
ساختار فیبر نوری

- فیبر تشکیل شده است از هسته که بوسیله غلاف محاط شده است.

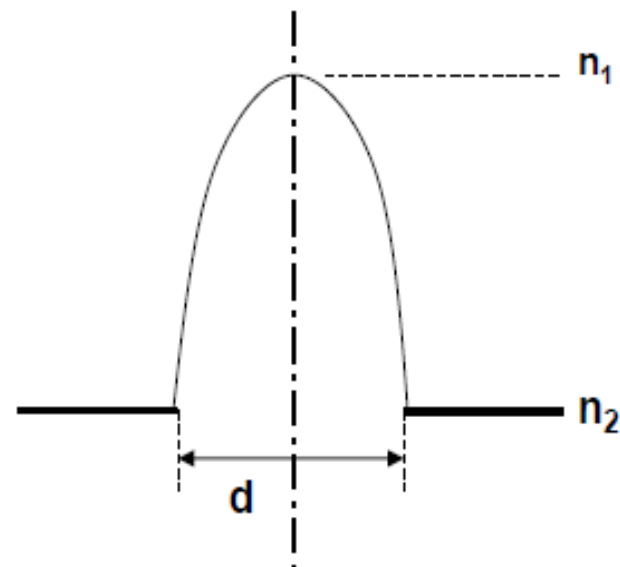
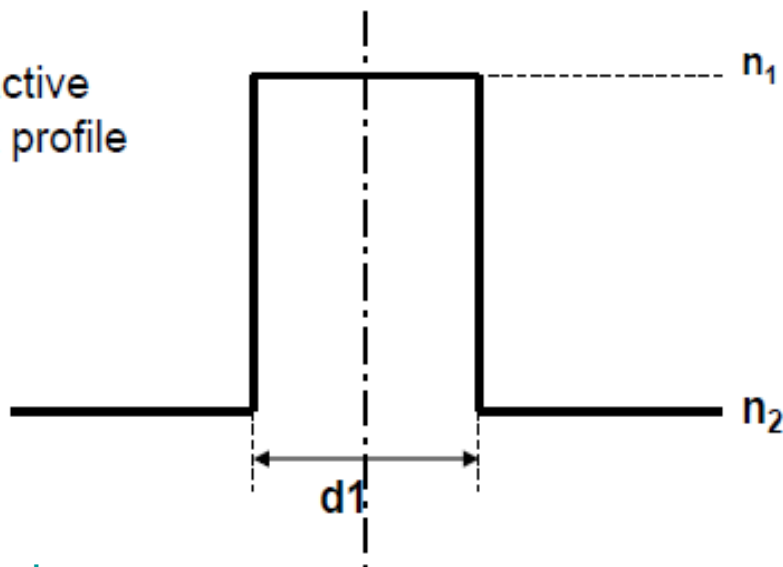
- متداولترین ماده متشکله فیبر - شیشه از جنس سیلیکا (SiO_2) می باشد.

- قطر هسته از ۷ میکرون تا یک میلیمتر می تواند باشد.

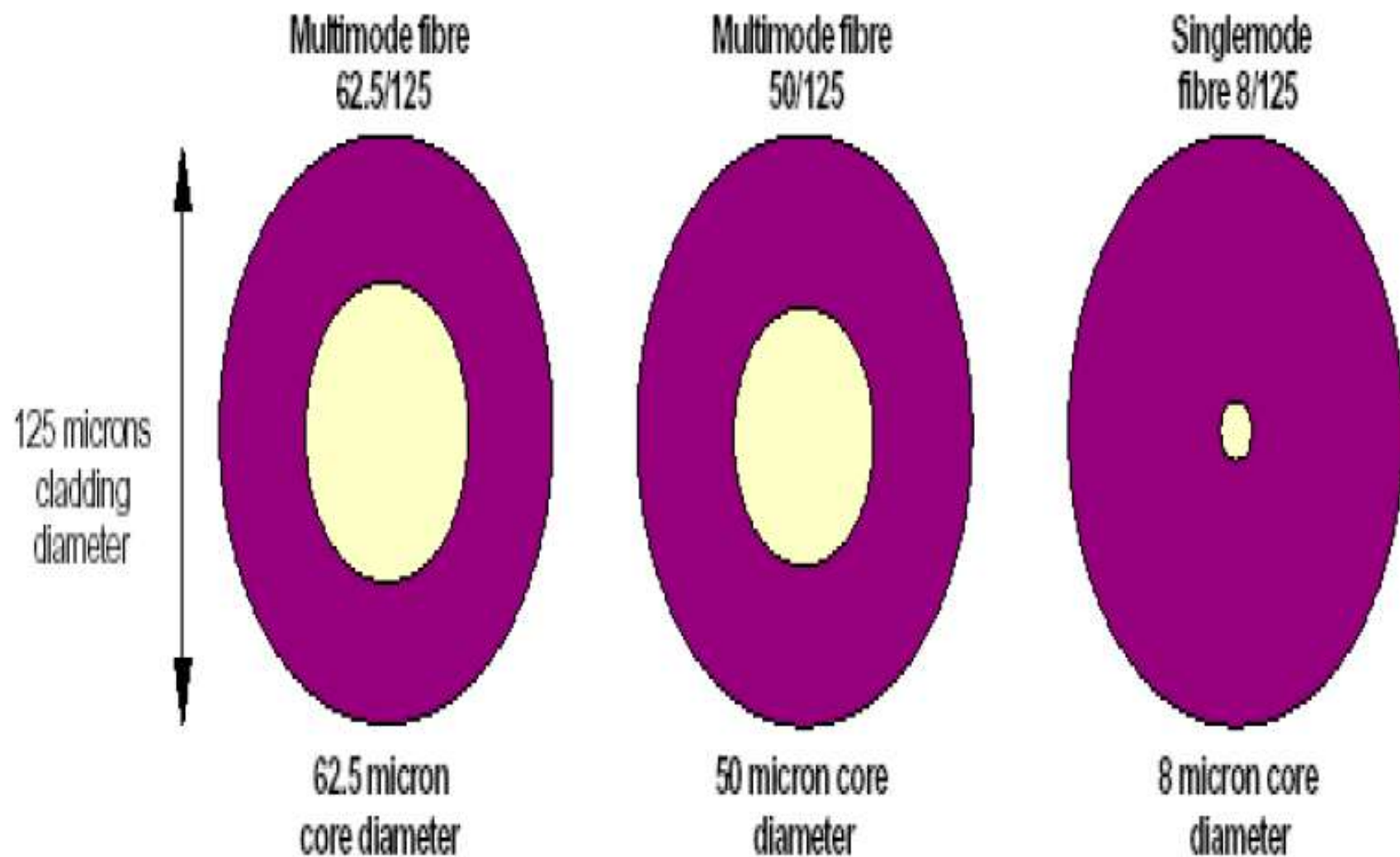
- یک میکرون یک هزارم میلیمتر است.



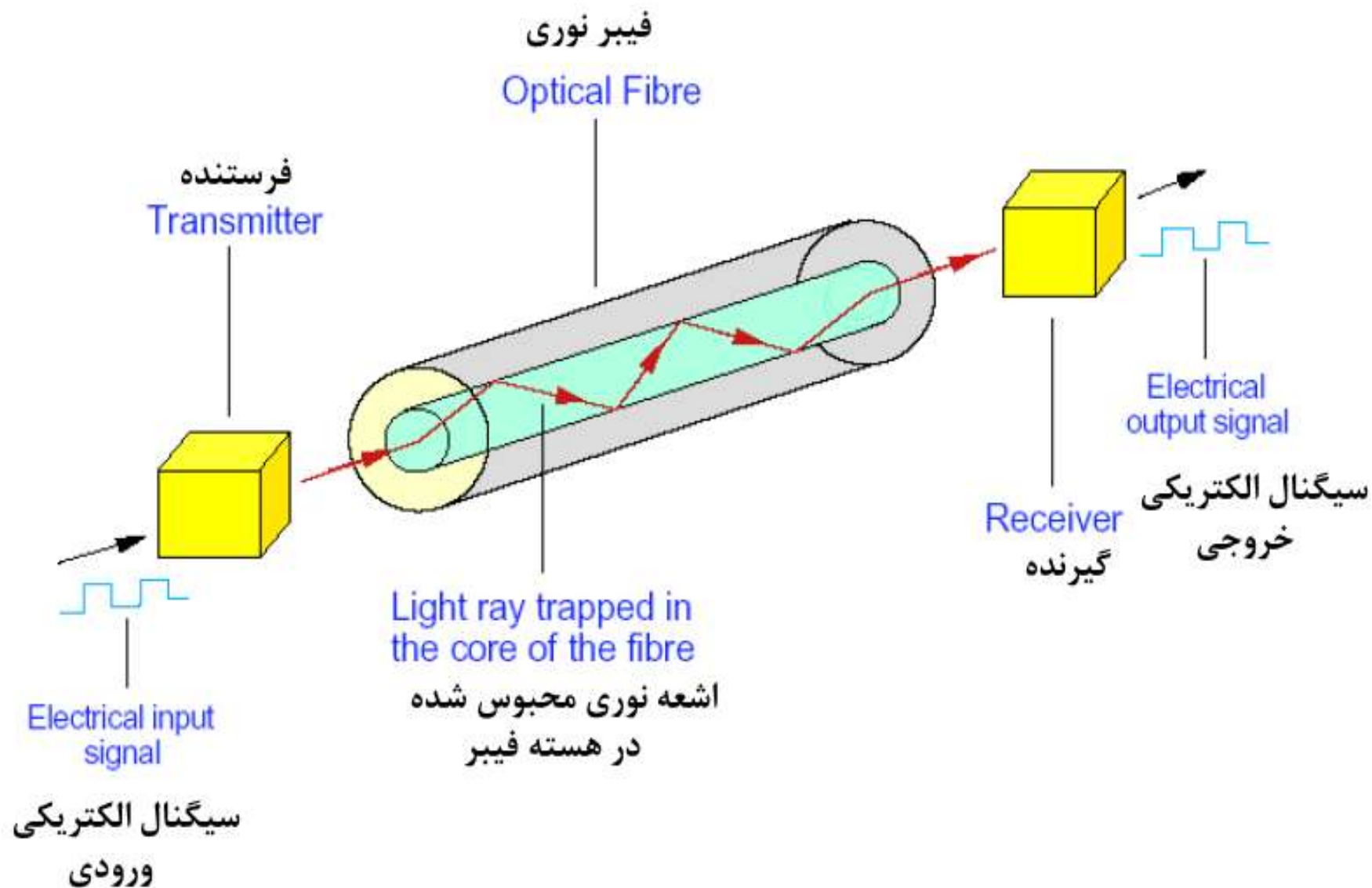
- Refractive index profile



انواع فیبرهای نوری از نظر تعداد مودها



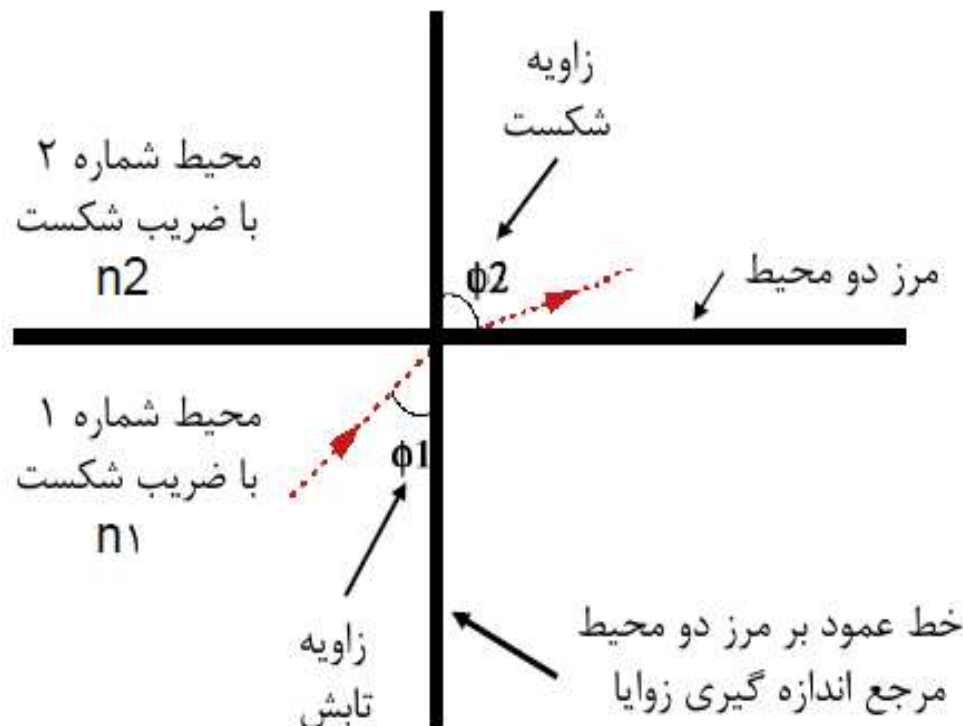
چگونه نور در فیبر طی مسیر می کند؟



شکست نور و قانون اسنل

– هر گاه نور به مرز دو محیط با ضریب شکست های متفاوت برخورد کند شکست نور اتفاق می افتد.

– قانون اسنل روابط بین ضریب شکستها و زاویه های اشعه نوری را تعریف می کند.



قانون اسنل

$$n_1 \sin \phi_1 = n_2 \sin \phi_2$$

جهت شعاع نوری در مرز دو محیط

عوض می شود. اگر

$$n_1 > n_2$$

باشد در نتیجه

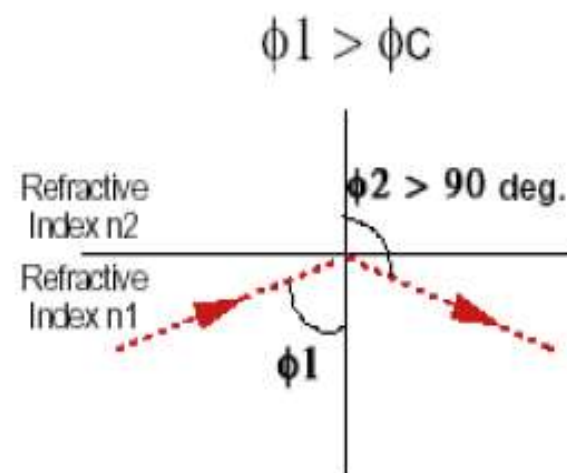
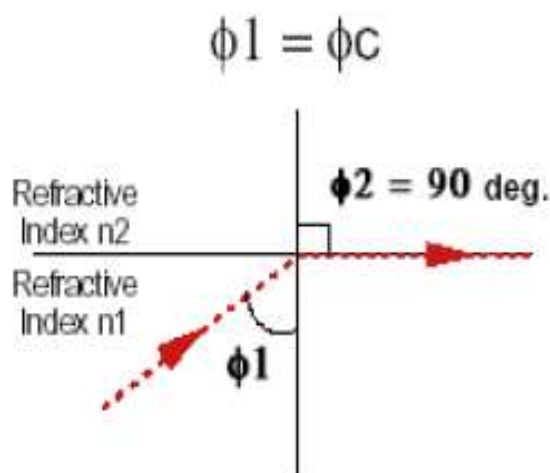
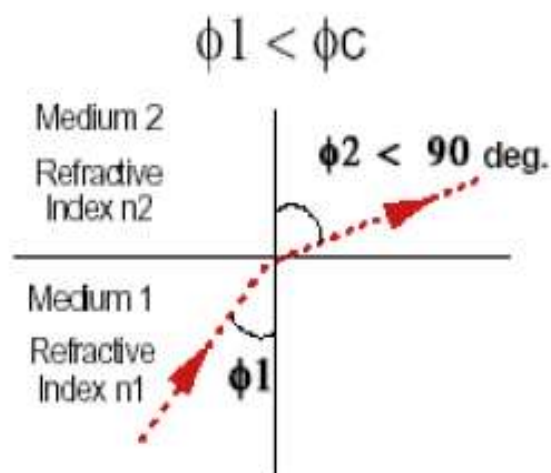
$$\phi_2 > \phi_1$$

انعکاس کلی و زاویه بحرانی

هرگاه نور از محیط با ضریب شکست بزرگتر وارد محیط با ضریب شکست کوچکتر شود زاویه شکست، بیش از زاویه تابش می باشد. حال اگر زاویه تابش افزایش یابد تا به حد زاویه بحرانی برسد زاویه شکست ۹۰ درجه میشود و برای زوایای تابش بیش از زاویه بحرانی هیچ نوری به محیط دوم وارد نمی شود. این پدیده انعکاس کلی نام دارد.

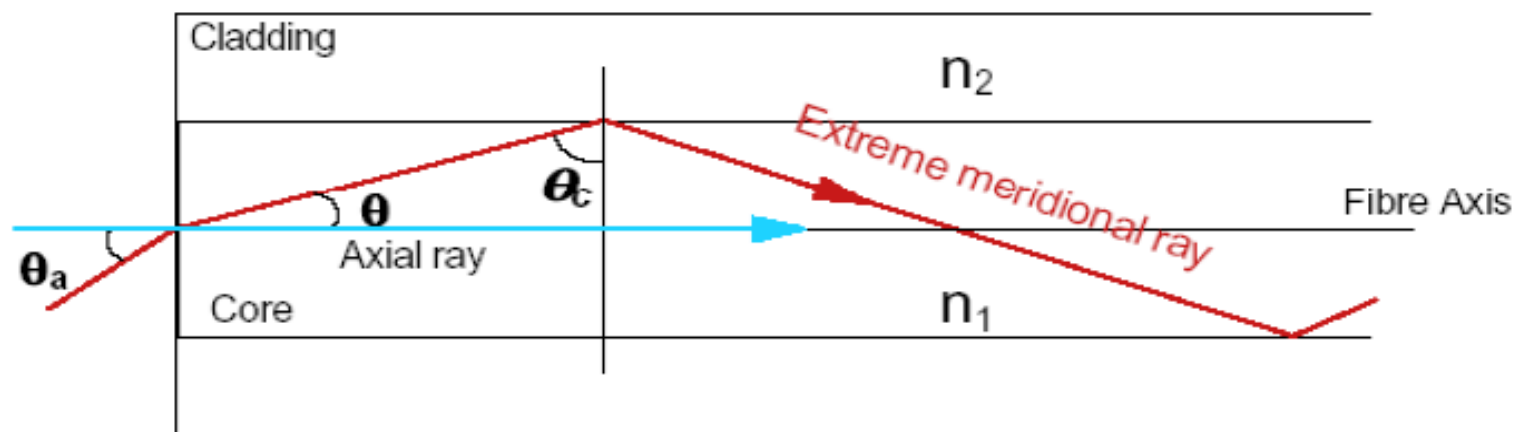
Critical Angle

$$\sin \phi_c = \frac{n_2}{n_1}$$



Assumes $n_1 > n_2$

شرایط انتشار



- برای وقوع انعکاس کلی بایستی زاویه اشعه تابیده به **Cladding** با محور عمود بر مرز هسته و غلاف بیش از θ_c یعنی زاویه بحرانی باشد.

- لذا با توجه به اینکه زاویه θ متمم زاویه اشعه تابیده به غلاف است، باید هر چه کوچکتر باشد و برای اینکه این زاویه کوچکتر باشد باید زاویه تابش نور از بیرون از زاویه حداکثری کوچکتر باشد که به آن زاویه پذیرش یا θ_a گویند. فقط شعاع های نوری که با زاویه ای کمتر از زاویه پذیرش وارد فیبر می شوند قابل انتشار هستند.

Numerical Aperture (NA)

- سینوس زاویه پذیرش را **NA** می نامند که پارامتر مهمی در فیبر نوری است.

- اگر ضریب شکست هوا را یک فرض کنیم داریم: در نتیجه:

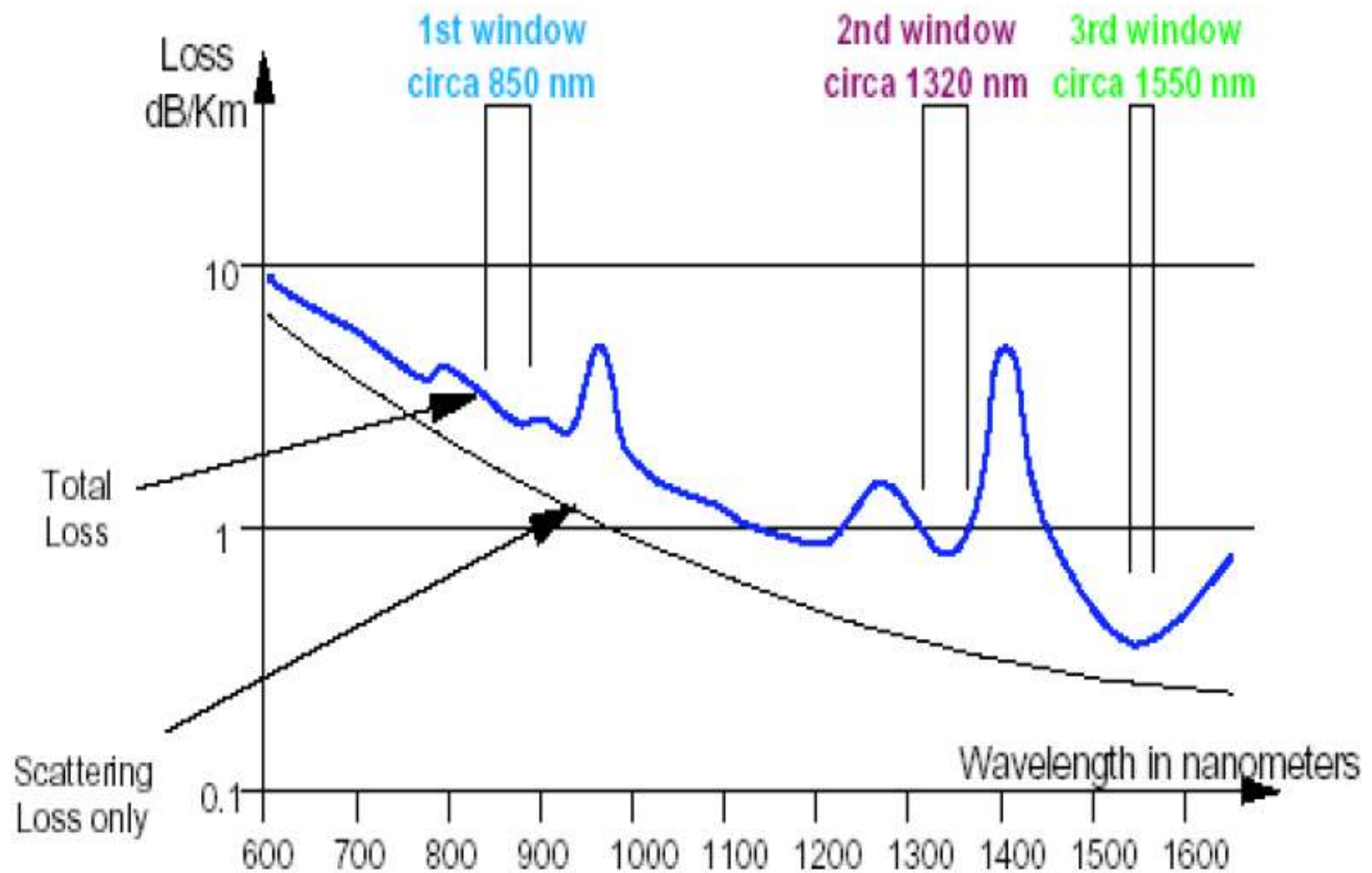
$$NA = \sin(\theta_a) = n_1 \sin \theta = n_1 \cos \theta_c = n_1 \sqrt{1 - \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

- این روابط برای فیبرهایی با قطر هسته کمتر از ۸ میکرون خطای بالایی دارد.

- مثال: اگر ضریب شکست هسته و غلاف به ترتیب ۱.۵ و ۱.۴۷ باشد -

زاویه بحرانی ۷۸.۵ درجه - زاویه پذیرش ۱۷.۴ درجه - و **NA** برابر ۰.۳ می شود

منحنی تلفات بر حسب طول موج برای فیبر نوری



تلفات در فیبر نوری

تلفات ، قدرت رسیده به گیرنده و در نتیجه فاصله بین فرستنده و گیرنده را محدود می کند.



- Attenuation has dropped from 20dB/Km (1973) to 0.2 dB/Km (1993)
- Units of attenuation are dB/Km
- Simple formula relates received power P_r and transmitted power P_t

$$P_r = P_t \cdot 10^{\frac{-AL}{10}}$$

A is attenuation in dB/km
L is fibre span in km

A : is recommended as 0.275dB/km from ITU-T (splicing and redundancy to be considered).

Example:

$P_s=5\text{dBm}$, $P_r= -17\text{dBm}$, $L=80\text{ Km}$

$P_s=5\text{dBm}$, $P_r= -28\text{dBm}$, $L=120\text{ Km}$

انواع تلفات

- **Absorption Loss:**

Caused by the fibre itself or by impurities in the fibre, such as water and metals.

- **Scattering Loss:**

Intrinsic loss mechanism caused by the interaction of photons with the glass itself.

- **Bending loss:**

Loss induced by physical stress on the fibre.

انواع فیبر نوری

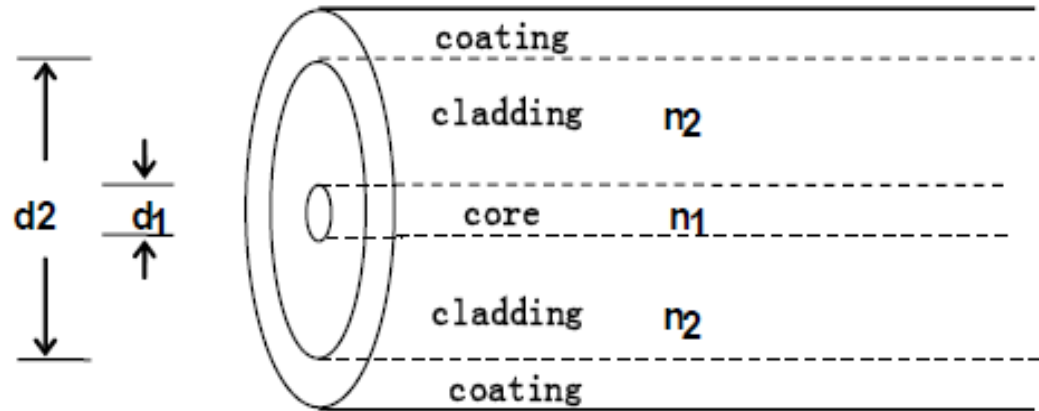
ساختار فیبر نوری

- فیبر تشکیل شده است از هسته که بوسیله غلاف محاط شده است.

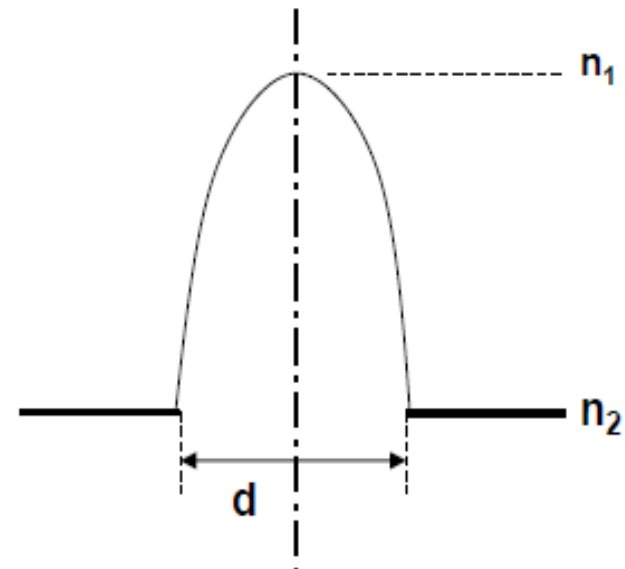
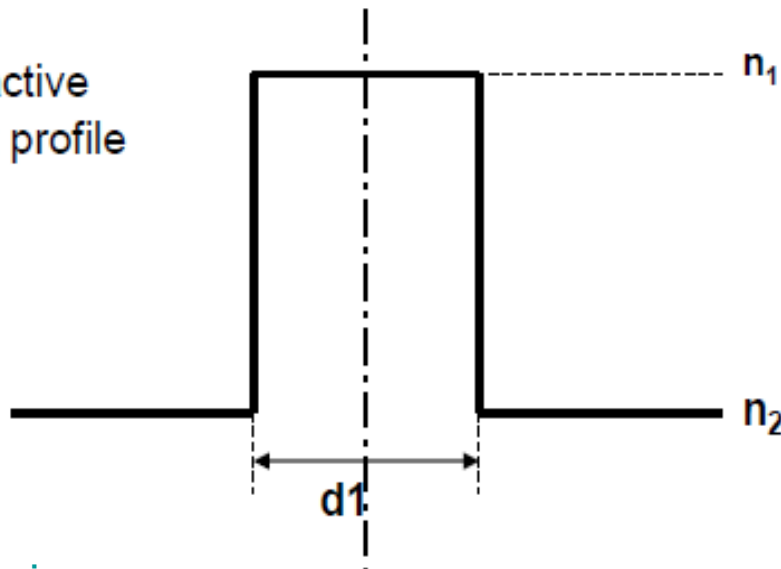
- متداولترین ماده متشکله فیبر - شیشه از جنس سیلیکا (SiO_2) می باشد.

- قطر هسته از ۷ میکرون تا یک میلیمتر می تواند باشد.

- یک میکرون یک هزارم میلیمتر است.

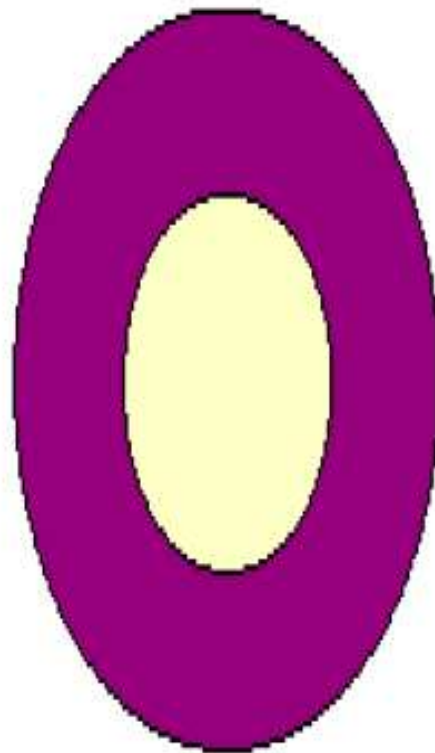


- Refractive index profile



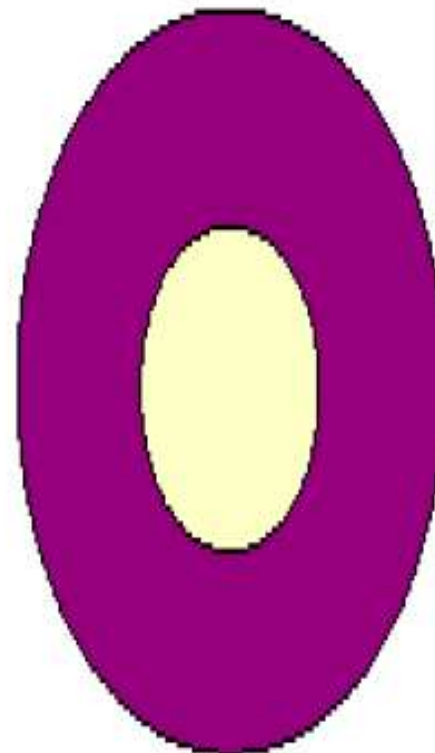
انواع فیبرهای نوری از نظر تعداد مودها

Multimode fibre
62.5/125



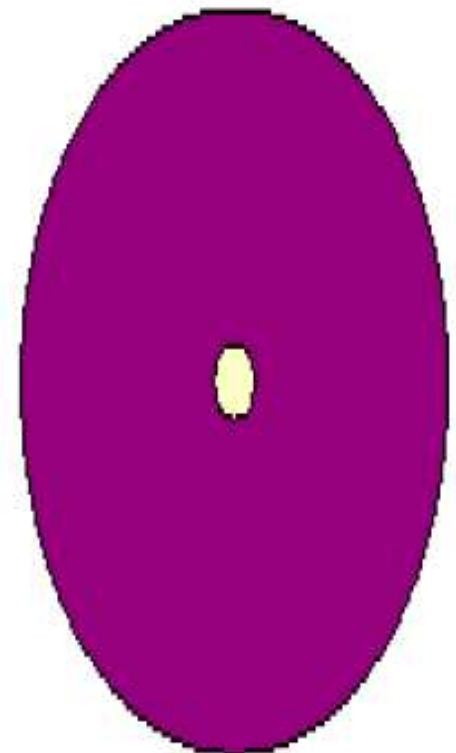
62.5 micron
core diameter

Multimode fibre
50/125



50 micron core
diameter

Singlemode
fibre 8/125



8 micron core
diameter

125 microns
cladding
diameter

Numerical Aperture (NA)

- سینوس زاویه پذیرش را **NA** می نامند که پارامتر مهمی در فیبر نوری است.

- اگر ضریب شکست هوا را یک فرض کنیم داریم: در نتیجه :

$$NA = \sin(\theta_a) = n_1 \sin \theta = n_1 \cos \theta_c = n_1 \sqrt{1 - \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

- مثال: اگر ضریب شکست هسته و غلاف به ترتیب ۱.۵ و ۱.۴۷ باشد -

زاویه پذیرش ۱۷.۴ درجه - و **NA** برابر ۰.۳ می شود

فرکانس نرمالیزه

• برای یک فیبر نوری فرکانس نرمالیزه شده (V) با a شعاع هسته فیبر و طول موج و ضریب شکستها رابطه دارد.

• شرط تک مود بودن فیبر این است که فرکانس نرمالیزه کمتر از ۲.۴۰۵ باشد از اینجا طول موج قطع (**Cut-off Wavelength**) بدست می آید.

$$V = \frac{2\pi}{\lambda} a \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

$$V = \frac{2\pi}{\lambda} a \cdot NA$$

ضریب شکست نسبی

• بصورت زیر تعریف می شود:

$$\Delta = \frac{n_1^2 - n_2^2}{2n_1^2}$$

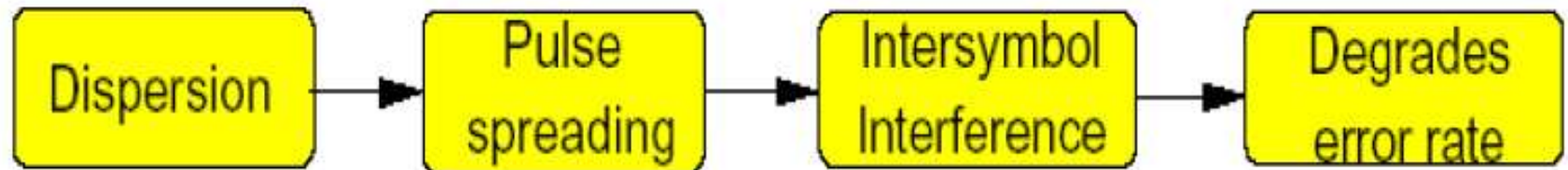
• وقتی ضریب شکست نسبی خیلی کوچکتر از یک باشد می توان تقریب زد:

$$\Delta = \frac{n_1 - n_2}{n_1}$$

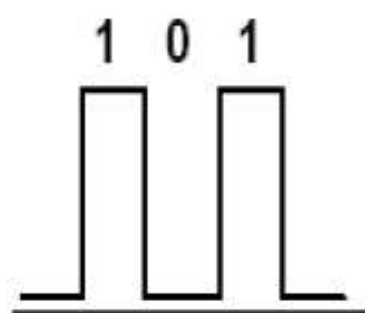
• همچنین فرکانس نرمالیزه شده را می توان برحسب آن نوشت:

$$V = \frac{2\pi}{\lambda} a n_1 \sqrt{2\Delta}$$

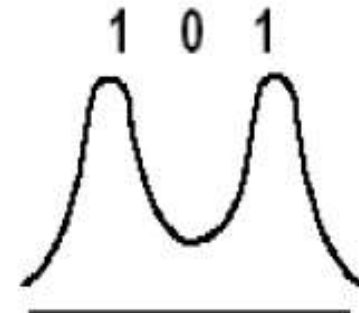
Dispersion



Example



Data at fibre input

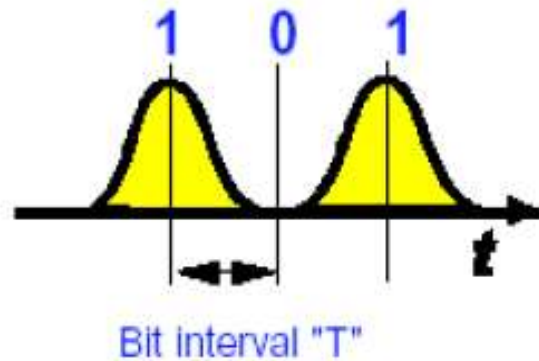


Data at fibre output

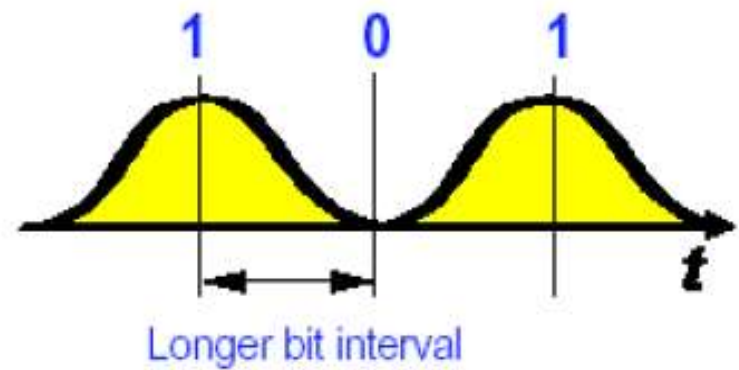
Pulse spreading makes it more difficult to distinguish "0"

Dispersion و نرخ ارسال داده ها

Fibre output with no Dispersion



Fibre output with Dispersion



- هرچه **Dispersion** بیشتر باشد فاصله زمانی یک **bit** باید بیشتر باشد.
 - فاصله زمانی بیشتر برای یک **bit** به این معنی است که تعداد **bit** های کمتری در واحد زمان می شود ارسال کرد.
 - فاصله زمانی بیشتر برای یک **bit** به معنی نرخ ارسال داده های کمتر است.
- نتیجه:** هرچه **Dispersion** بیشتر باشد نرخ ارسال داده ها کمتر باید باشد.

Dispersion انواع

Modal Dispersion (MM)

Chromatic Dispersion (MM-SM)

Polarization Mode Dispersion (PMD) (SM)

Modal Dispersion

– در فیبر مالتی مد (Multimode) – مد های مختلف با سرعت های متفاوتی منتشر می شوند.

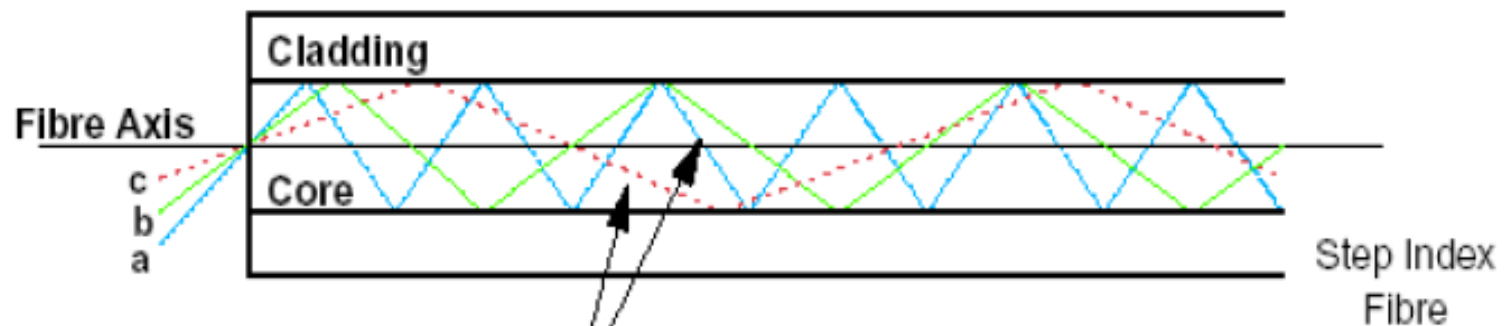
– اگر یک پالس از چند مد تشکیل شده باشد در نتیجه Intermodal Dispersion واقع می شود.

– بیشترین مقدار Modal Dispersion در فیبر های مالتی مد با ضریب شکست پله ای (Step Index) وجود دارد.

– در نتیجه تلاشها برای کاهش Modal Dispersion فیبرهای مالتی مد با ضریب شکست تدریجی (Graded Index) و فیبرهای تک مد (Single mode) تولید شدند.

Modal Dispersion

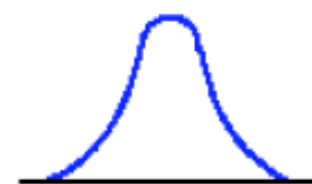
- هر چه تعداد مدها بیشتر باشد مقدار **Modal Dispersion** هم بیشتر می شود.



شعاع نوری (a) مسیر طولانی تری را نسبت
به شعاع نوری (c) در داخل فیبر طی می کند.



پالس باریک در ورودی فیبر



پالس پهن شده در خروجی فیبر

Modal Dispersion کاهش

Reduce the difference between the propagation velocities of different modes



Graded index fibre design

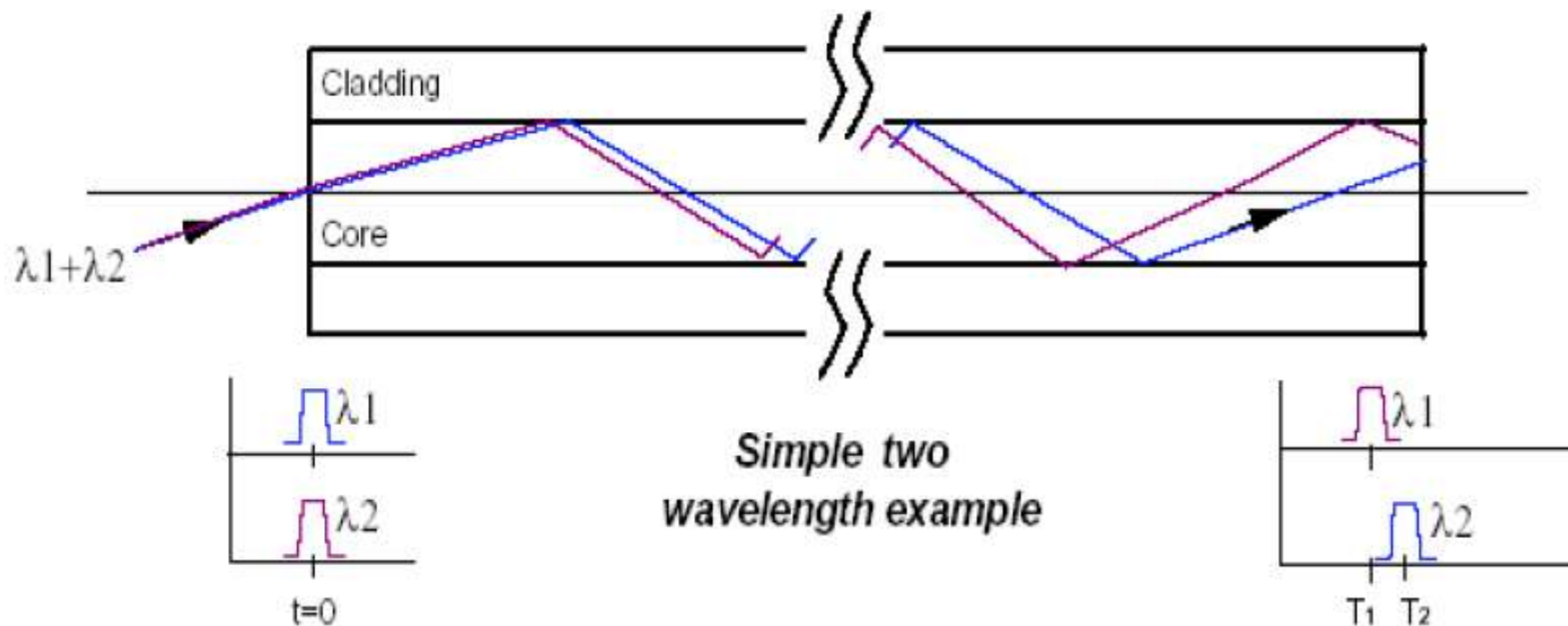
Reduce the number of modes to one



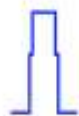
Singlemode fibre design

Material Dispersion توضیح

In an optical fibre the propagation velocity varies with wavelength. Thus a pulse made up of many wavelengths will be spread out in time as it propagates

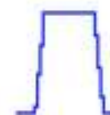


Net Pulse
Width at
fibre input



Melec.ir

Net Pulse
Width is
approx $T_2 - T_1$



Finding the Total Chromatic Dispersion

$$\text{Total Chromatic Dispersion} = D_c \times \sigma_\lambda \times L$$

where:

D_c is the dispersion coefficient for the fibre (ps/nm.km)

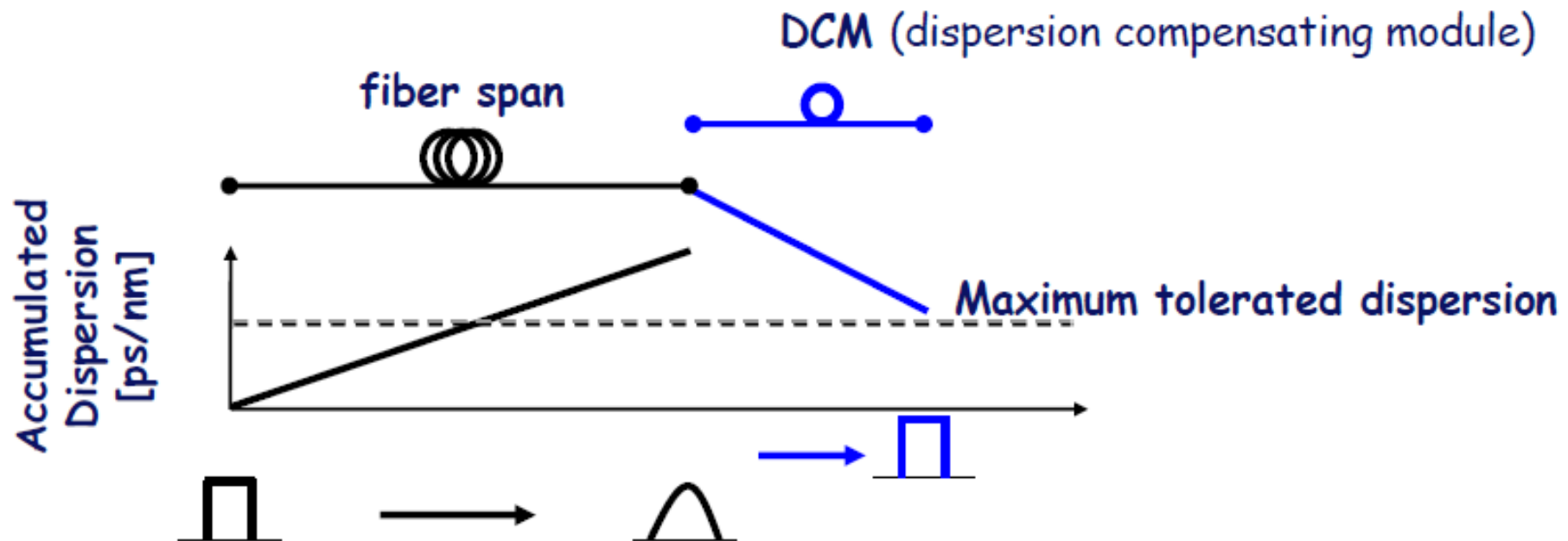
σ_λ is transmitter source spectral width (nm)

L is the total fibre span (km)

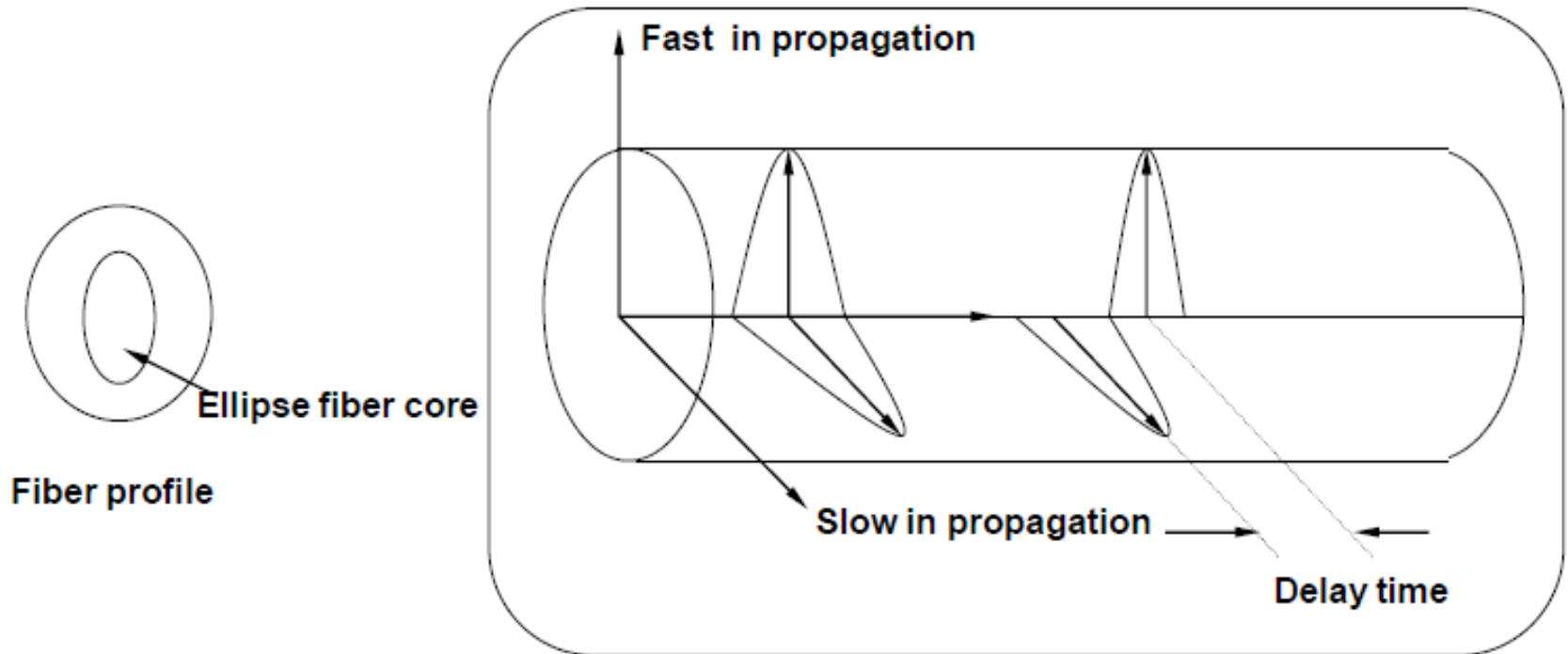
Dispersion compensation

- Optical receivers can tolerate a certain amount of accumulated chromatic dispersion (for example: 12800 ps/nm at 2.5 Gb/s)
- If such amount is exceeded, chromatic dispersion compensation must be performed

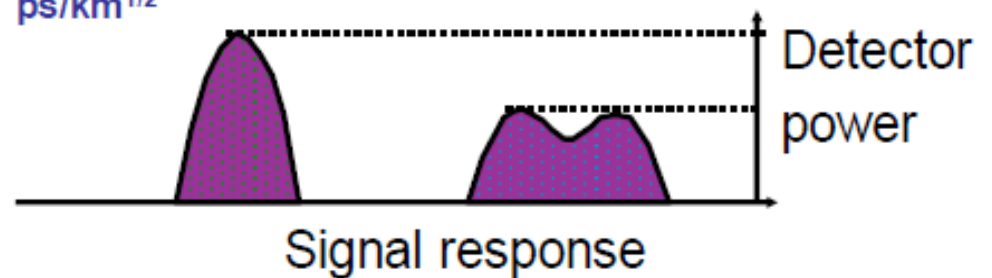
البته ذکر این نکته ضروری است که در سیستمهای جدید در گیرنده ها از مدارهای DSP برای جبران استفاده می کنند که تحمل ۴۰ هزار تا ۶۰ هزار دست یافتنی است.



Polarization Mode Dispersion—PMD



- Polarization mode dispersion (PMD)
- Polarization mode dispersion coefficient: $\text{ps/km}^{1/2}$



حدود قابل قبول PMD بر اساس استاندارد ITU-T (G.691)

- PMD با جذر فاصله رابطه مستقیم دارد.
- واحد اندازه گیری آن ps بر جذر کیلومتر است.

	Bit rate	Maximum PMD 10% Tbit	PMD coefficient for 400 km link ($\text{ps}/\text{km}^{1/2}$)
STM-16	2.5 Gbits/s	40 ps	≤ 2
STM-64	10 Gbits/s	10 ps	≤ 0.5
STM-256	40 Gbits/s	2.5 ps	≤ 0.125

PMD Limited Distance

Bit Rate (Gb/s)	PMD Tolerance (ps)	Distance (km) (@0.5ps/km ^{1/2})	Distance (km) (@0.2ps/km ^{1/2})	Distance (km) (@0.08ps/km ^{1/2})
2.5	40	6400	40000	250000
10	10	400	2500	15625
40	2.5	25	156.25	976

Normally, PMD coefficient of latest fiber < 0.2PS/km^{1/2}
or < 0.08ps/km^{1/2} (for some best fiber), PMD limited distance >2500km (for 10Gb/s).

- Two formulas:

$$\text{PMD}_{\text{link}}(\text{ps}) = \text{PMD}_{\text{fiber}}(\text{ps} \cdot \sqrt{\text{km}}) \times \sqrt{\text{Link}(\text{km})}$$

$$\text{PMD}_{\text{total}} = (\text{PMD}_1^2 + \text{PMD}_2^2 + \text{PMD}_3^2 + \dots)^{1/2}$$

فیبر چند مود بر اساس توصیه ITU-T G.651

The characteristics of a **multimode graded index** optical fibre cable were specified in Recommendation **ITU-T G.651**, originally published in 1984

Recommendation ITU-T G.651 covered the geometrical and transmissive properties of multimode fibres having a **50 μm** nominal core diameter and a **125 μm** nominal cladding diameter.

Single-mode fibres, which became available shortly after the publication of ITU-T G.651, have almost completely replaced multimode fibres in the publicly switched networks.

فیبر تک مود معمولی بر اساس توصیه ITU-T G.652

• در محدوده طول موج ۱۳۱۰ نانومتر:

تلفات کمتر از: 0.36 dB/km

Dispersion کمتر از: 3.5 ps/(nm.km)

• در محدوده طول موج ۱۵۵۰ نانومتر:

تلفات کمتر از: 0.25 dB/km

Dispersion : 18 ps/(nm.km)

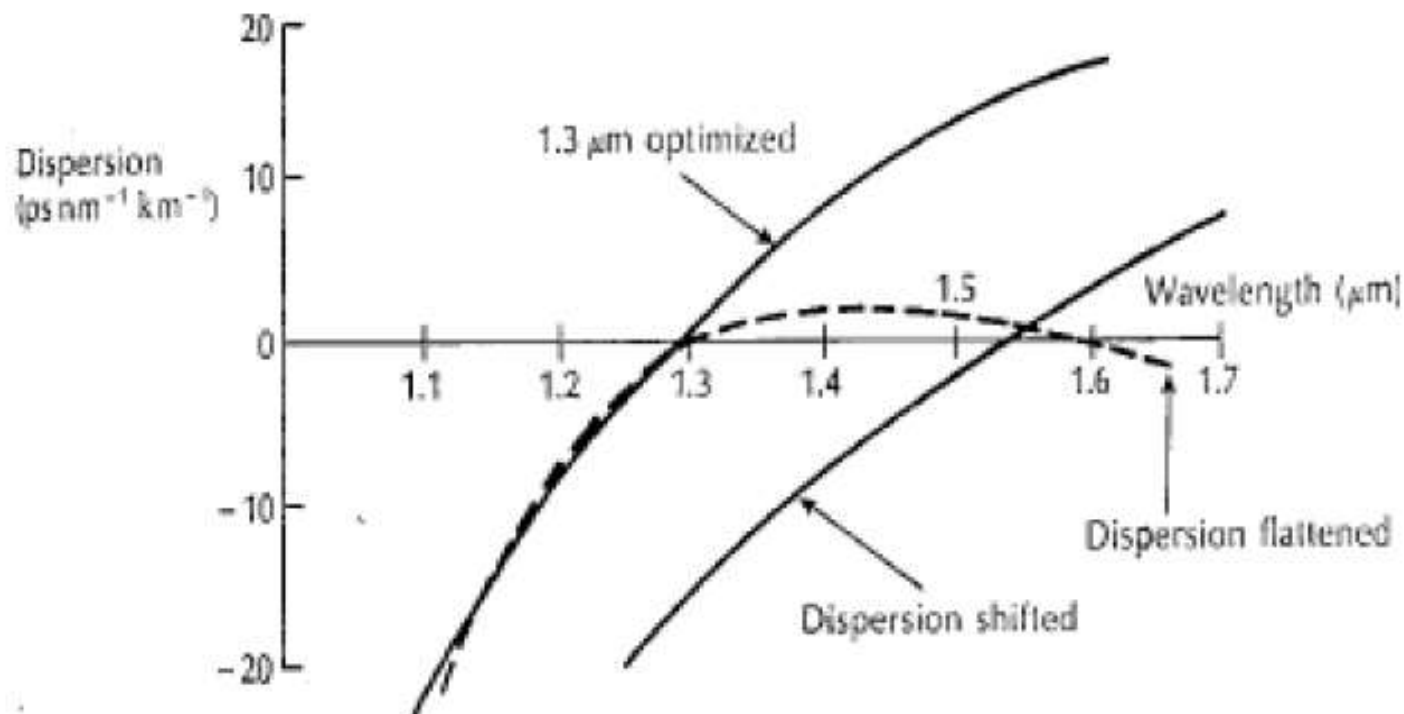
فیبر تک مود DS بر اساس توصیه ITU-T G.653

• در محدوده طول موج ۱۵۵۰ نانومتر:

تلفات کمتر از: 0.25 dB/km

Dispersion: 3.5 ps/(nm.km)

• با تغییر مواد طول موج صفر Dispersion به ناحیه کمترین تلفات شیفته می‌شود.



فیبر تک مود بر اساس توصیه ITU-T G.654

One of The main features of the fibre described by Recommendation **ITU-T G.654** is its **lower attenuation** coefficient at 1550 nm compared to other single-mode optical fibres.

The lowest values of attenuation coefficient depend on fabrication process, fibre composition and design, and cable design.

Values of **0.15 to 0.19 dB/km** in the 1550 nm region have been achieved.

These features are suitable for long-haul transmission (**Such as Submarine**) in the 1530-1625 nm region.

فیبر تک مود NZ-DS بر اساس توصیه ITU-T G.655

• در محدوده طول موج بین ۱۵۳۰ تا ۱۵۶۵ نانومتر:

تلفات کمتر از: 0.25 dB/km

Dispersion بیش از: 0.1 ps/(nm.km)

Dispersion کمتر از: 6 ps/(nm.km)

فیبر تک مود . بر اساس توصیه ITU-T G.656

The characteristics of a fibre and cable with non-zero dispersion for **wideband optical transport** are specified in Recommendation ITU-T **G.656**.

In the current development of lightwave systems, one direction of evolution is towards increasing the capacity transmitted on an optical fibre.

One of the solutions is by deploying the optical channels not only in the C-band, but also in the short wavelength S-band (1460-1530 nm) and in the long wavelength L-band (1565-1625 nm).

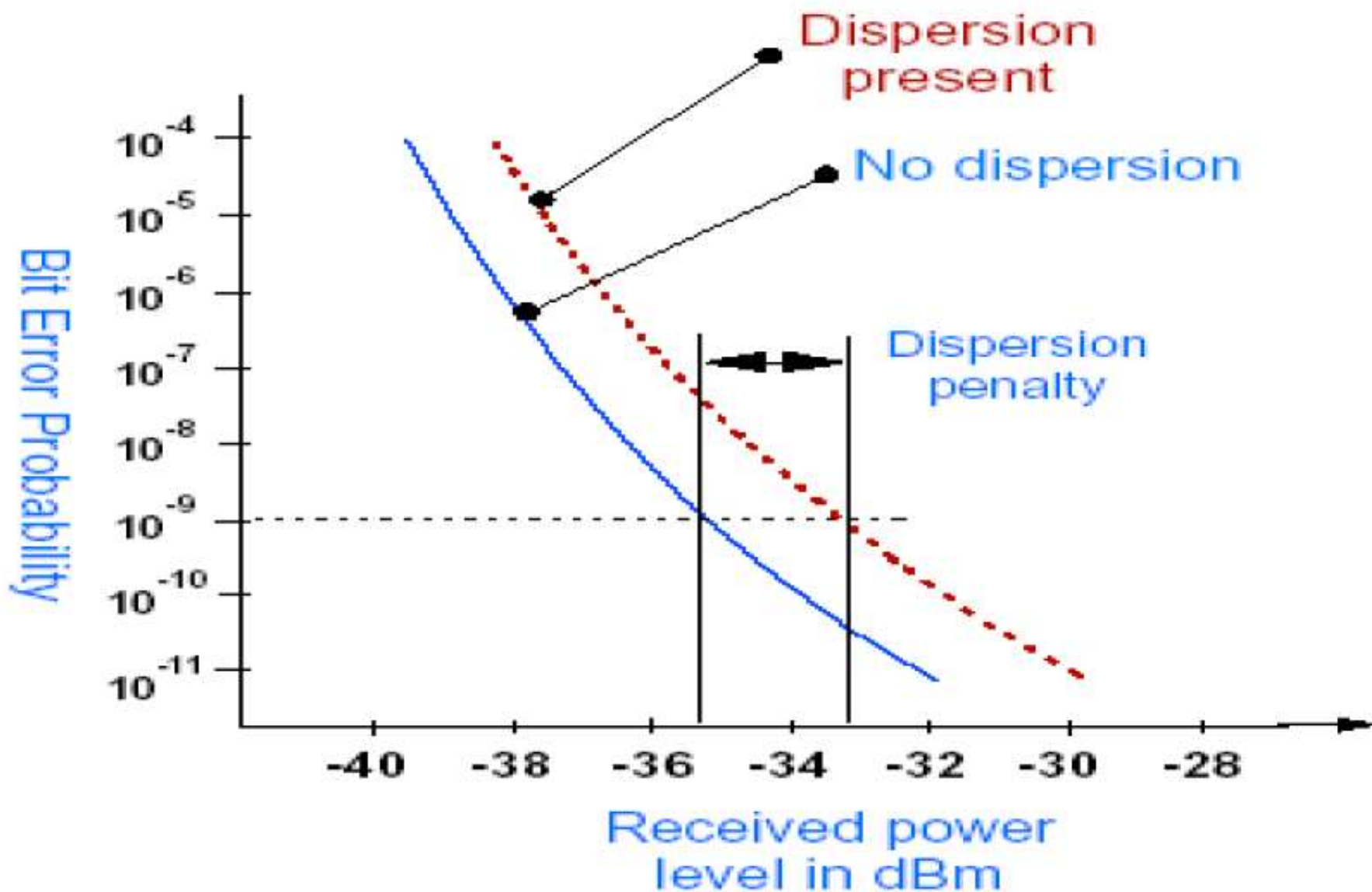
This type of fibre can be utilized for **both CWDM and DWDM** systems throughout the wide wavelength region between **1460 and 1625 nm**.

فیبر تک مود . بر اساس توصیه ITU-T G.657

Recommendation **ITU-T G.657** describes single-mode optical fibre cable that are suitable for use in the **access networks**, including **inside buildings** at the end of these networks.

These fibres are suitable to be used in the O, E, S, C and L-band, i.e. throughout the **1260 to 1625 nm** range . The main improvement is **lower bending loss**.

Dispersion Penalty



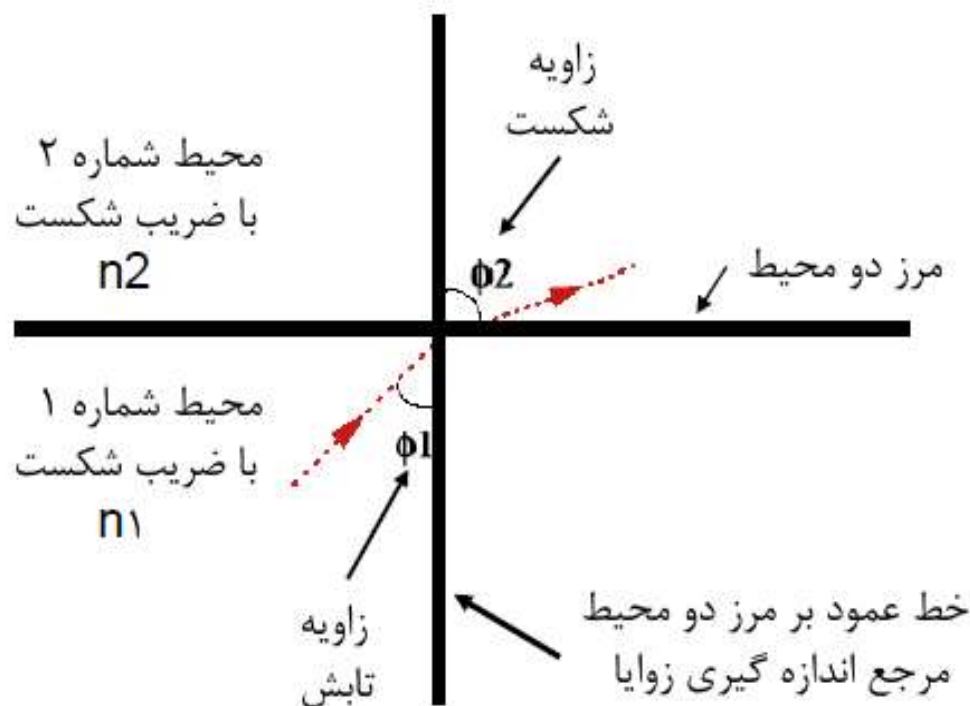
مسئله

- یک فیبر نوری از جنس سیلیکا با قطر هسته 2a
- دارای ضریب شکست هسته (Core) برابر ۱,۵۰ و ضریب شکست غلاف (Cladding) برابر ۱,۴۷ می باشد.
- مقدار NA را محاسبه کنید.
- زاویه پذیرش را محاسبه کنید.
- زاویه بحرانی را محاسبه کنید.

شکست نور و قانون اسنل

- هر گاه نور به مرز دو محیط با ضریب شکست های متفاوت برخورد کند شکست نور اتفاق می افتد.

- قانون اسنل روابط بین ضریب شکستها و زاویه های اشعه نوری را تعریف می کند.



قانون اسنل

$$n_1 \sin \phi_1 = n_2 \sin \phi_2$$

جهت شعاع نوری در مرز دو محیط
عوض می شود. اگر
 $n_1 > n_2$
باشد در نتیجه

$$\phi_2 > \phi_1$$

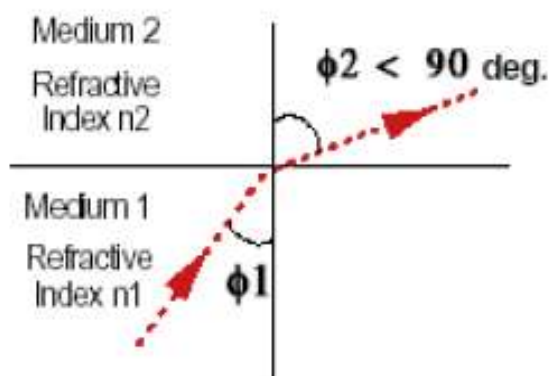
انعکاس کلی و زاویه بحرانی

هرگاه نور از محیط با ضریب شکست بزرگتر وارد محیط با ضریب شکست کوچکتر شود زاویه شکست، بیش از زاویه تابش می باشد. حال اگر زاویه تابش افزایش یابد تا به حد زاویه بحرانی برسد زاویه شکست ۹۰ درجه میشود و برای زوایای تابش بیش از زاویه بحرانی هیچ نوری به محیط دوم وارد نمی شود. این پدیده انعکاس کلی نام دارد.

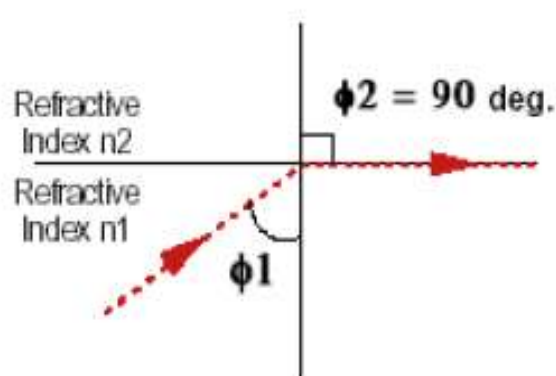
Critical Angle

$$\sin \phi_c = \frac{n_2}{n_1}$$

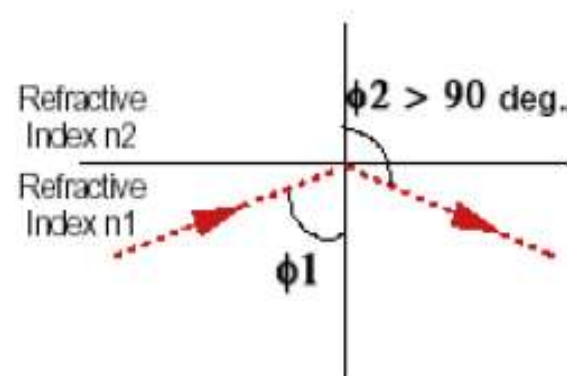
$$\phi_1 < \phi_c$$



$$\phi_1 = \phi_c$$

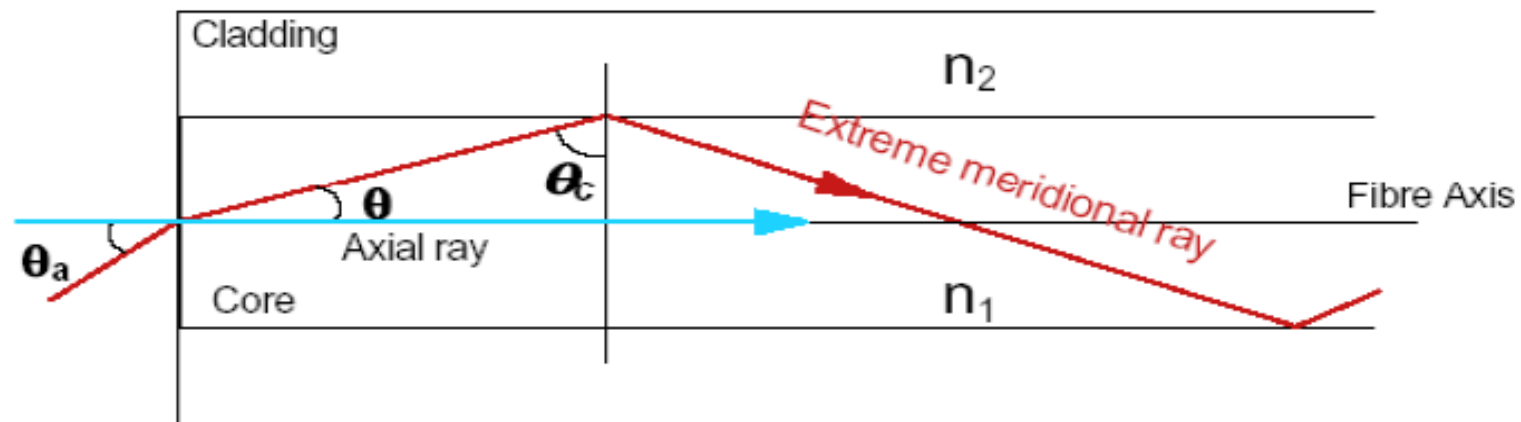


$$\phi_1 > \phi_c$$



Assumes $n_1 > n_2$

محاسبه فرمول زاویه پذیرش - زاویه بحرانی و NA



- برای وقوع انعکاس کلی بایستی زاویه اشعه تابیده به **Cladding** با محور عمود بر مرز هسته و غلاف بیش از θ_c یعنی زاویه بحرانی باشد.

- لذا با توجه به اینکه زاویه θ متهم زاویه اشعه تابیده به غلاف است، باید هر چه کوچکتر باشد و برای اینکه این زاویه کوچکتر باشد باید زاویه تابش نور از بیرون از زاویه حداکثری کوچکتر باشد که به آن زاویه پذیرش یا θ_a گویند. فقط شعاع های نوری که با زاویه ای کمتر از زاویه پذیرش وارد فیبر می شوند قابل انتشار هستند.

Numerical Aperture (NA)

- سینوس زاویه پذیرش را NA می نامند
- نور از محیط هوا وارد محیط هسته فیبر می شود و می شکند گر ضریب شکست هوا را یک فرض کنیم طبق قانون شکست نور داریم :

$$(1) \sin(\theta_a) = n_1 \sin \theta \rightarrow \sin(\theta_a) = n_1 \sin \theta$$

- فرض کردیم نور تحت حداکثر زاویه که زاویه پذیرش است به هسته فیبر تابید و شکست و این نور شکسته شده تحت زاویه بحرانی به غلاف فیبر می تابد که انعکاس کلی یابد با توجه به شکل مشاهده می شود که زاویه نور شکسته شده در هسته فیبر کتمم زاویه بحرانی است پس:

$$n_1 \sin \theta = n_1 \cos \theta_c$$

Numerical Aperture (NA)

- از طرفی با توجه به اینکه نور تحت زاویه بحرانی انعکاس کلی از غلاف فیبر دارد پس:

$$\sin \theta_c = \frac{n_2}{n_1}$$

- از ترکیب سه رابطه فوق و تعریف **NA** رابطه زیر بدست می آید:

$$NA = \sin(\theta_a) = n_1 \sin \theta = n_1 \cos \theta_c = n_1 \sqrt{1 - \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

- حال با جاگذاری ضریب شکستهای داده شده در صورت مسئله سه پارامتر خواسته شده به ترتیب زیر محاسبه می شوند:

$$NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = \sqrt{(1.5)^2 - (1.47)^2} = 0.3$$

$$0.3 = \sin(\theta_a) \Rightarrow \theta_a = 17.4 \text{ Degree}$$

$$0.3 = n_1 \cos \theta_c = 1.5 \cos \theta_c \Rightarrow \cos \theta_c = 0.2 \Rightarrow \theta_c = 78.5 \text{ Degree}$$

اگر قرار باشد این فیبر در طول موج ۱۵۵۰ نانومتر تک مود باشد ($V=2.405$) مقدار شعاع هسته را حساب کنید.

• برای یک فیبر نوری فرکانس نرمالیزه شده (V) با شعاع هسته فیبر و طول موج و ضریب شکستها رابطه دارد.

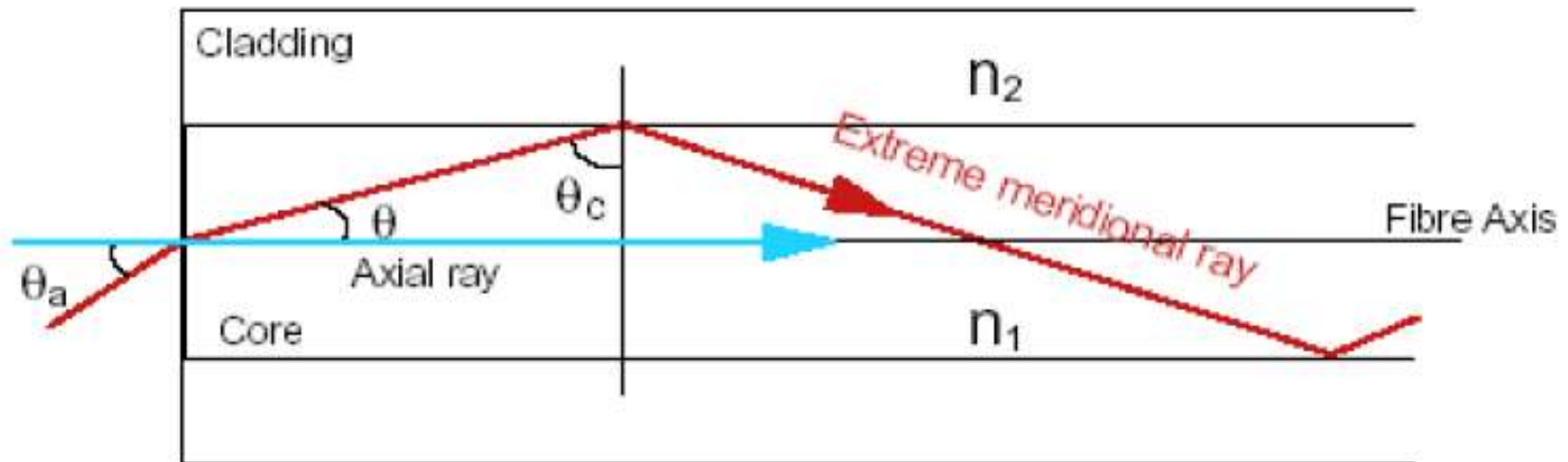
• شرط تک مود بودن فیبر این است که فرکانس نرمالیزه کمتر از ۲,۴۰۵ باشد

$$V = \frac{2\pi}{\lambda} a \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

• با جایگذاری اعداد داده شده حداکثر شعاع هسته را بدست می آوریم:

$$2.405 = \frac{2\pi}{1.55} a \sqrt{1.5^2 - 1.47^2} \Rightarrow a = \frac{2.405 * 1.55}{2\pi * 0.3} = 2 \mu m$$

اگر طول فیبر برابر L کیلومتر باشد اختلاف زمانی طی مسیر بین مود تحت زاویه بحرانی و مسیر مستقیم چقدر است.



Transmission distance = L

$T_{\max}$ = Transmission time for extreme meridional ray

$T_{\min}$ = Transmission time for axial ray

Delay difference $\delta t = T_{\max} - T_{\min}$

ادامه

- اگر سرعت نور در خلا c باشد سرعت نور در هسته فیبر بصورت زیر است:

$$Velocity = \frac{c}{n_1}$$

- زمان طی مسیر مستقیم بصورت زیر خواهد بود:

$$T_{\min} = \frac{Distance}{Velocity} = \frac{L}{(c/n_1)} = \frac{Ln_1}{c}$$

- از روی شکل می توان فهمید در حالی که اشعه آبی مسیر مستقیم بطول L را طی می کند مود با زاویه بحرانی مسیر زیگزاگی را طی می کند یعنی بجای d مسیر h طی می شود پس به نسبت h به d ضربدر مسیر مستقیم مسیری است که طی می شود.

ادامه

$$T_{\max} = \frac{\text{Distance}}{\text{Velocity}} = \frac{(\frac{h}{d})L}{(c/n_1)} = \frac{(\frac{1}{\cos \theta})L}{(c/n_1)} = \frac{Ln_1}{c \cos \theta}$$

• با توجه به مثلث تشکیل شده و قانون اسنل داریم:

$$\cos \theta = \sin \theta_c = \frac{n_2}{n_1} \Rightarrow T_{\max} = \frac{Ln_1^2}{cn_2}$$

• حال اختلاف زمانی بین کوتاهترین اسعه و بلندترین را حساب می کنیم:

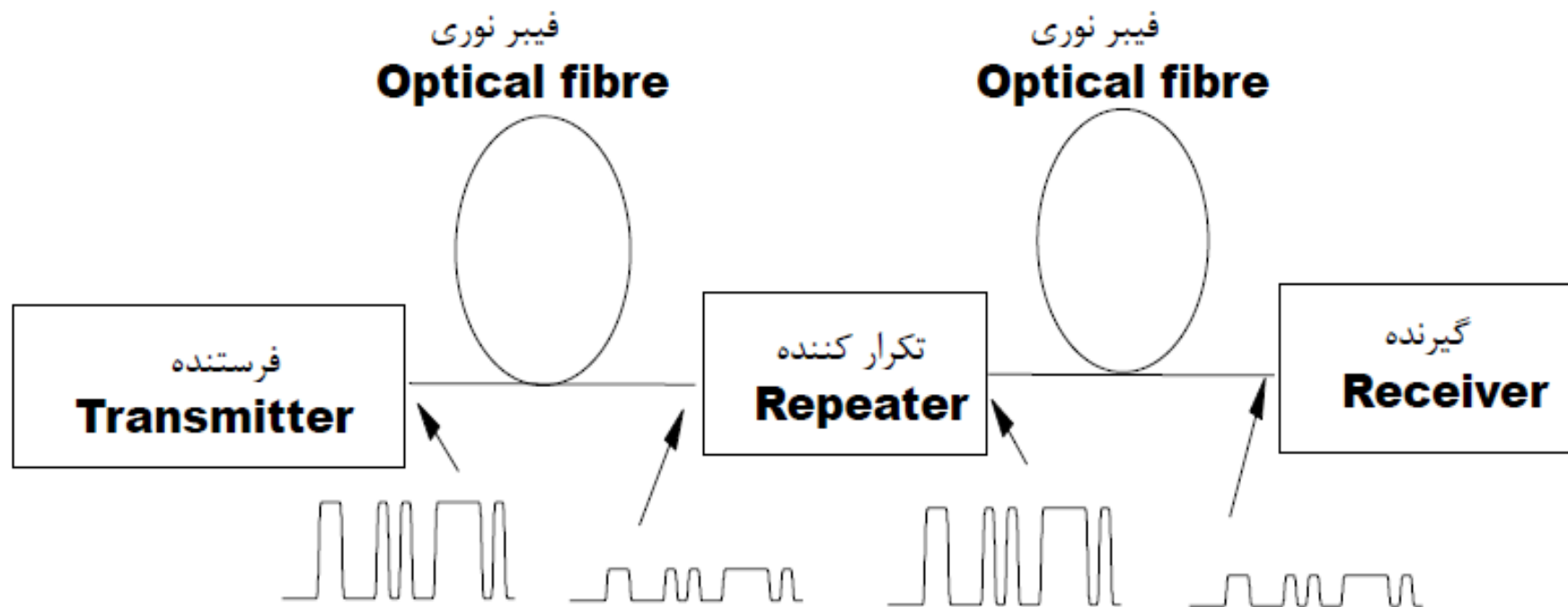
$$\text{DelayDifference} = \delta_t = T_{\max} - T_{\min} = \frac{Ln_1^2}{cn_2} - \frac{Ln_1}{c} = \frac{Ln_1}{c} \left(\frac{n_1}{n_2} - 1 \right)$$

• با اعداد داده شده در مسئله برای یک فاصله ۱ کیلومتری اختلاف زمانی ۰٫۱ میکروثانیه خواهد بود.

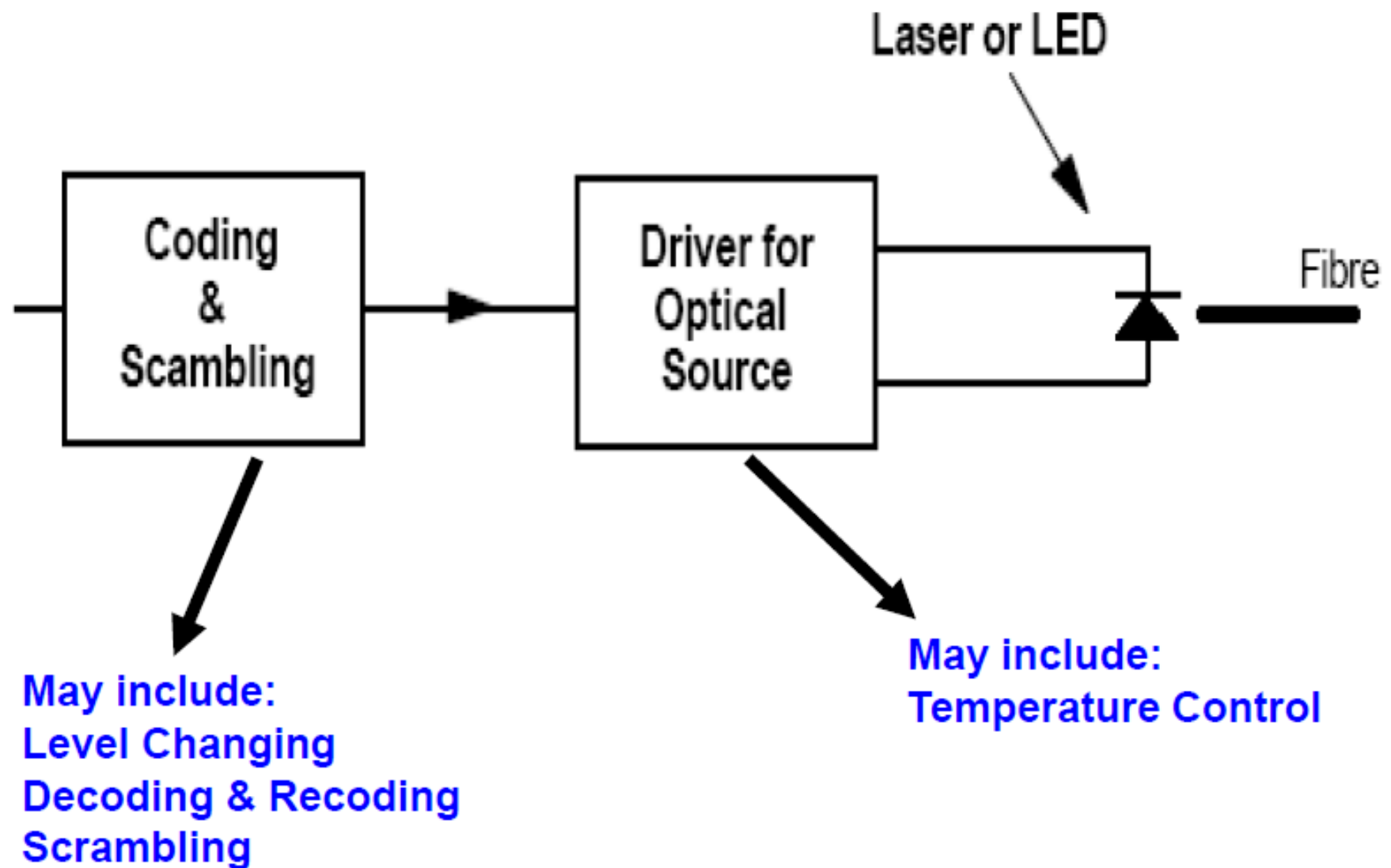
مروری بر تجهیزات و ابزارهای فیبر نوری

Melec.ir

سیستم نقطه به نقطه

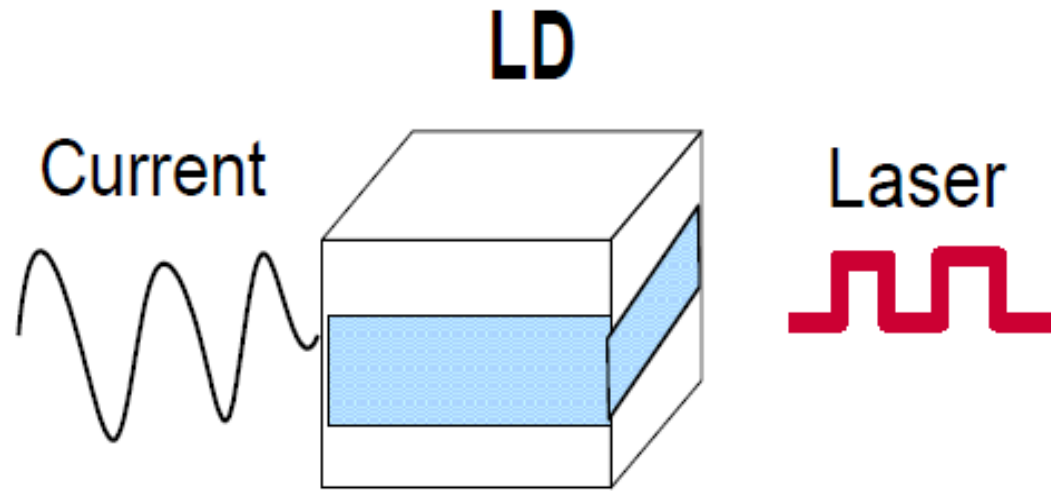


فرستنده نوری



مدولاتور داخلی

Direct modulation is: Output laser is controlled by input current



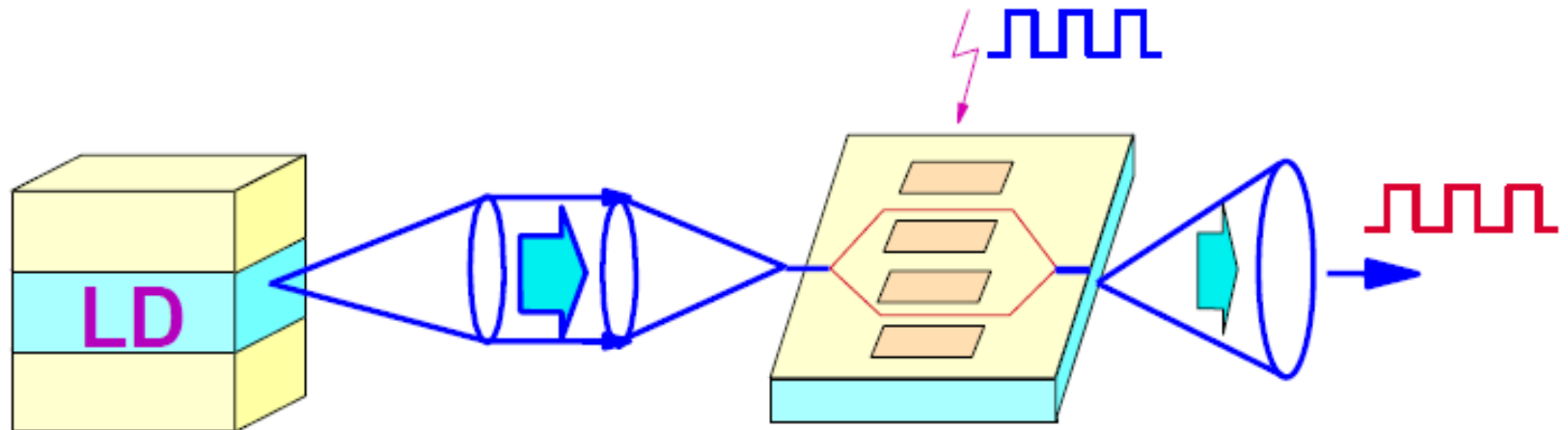
Advantages: simple structure, low loss and low cost

Disadvantages: modulation chirp

transmission distance $\leq 100\text{km}$

transmission rate $\leq 2.5\text{Gbit/s}$

مدولاتور خارجی



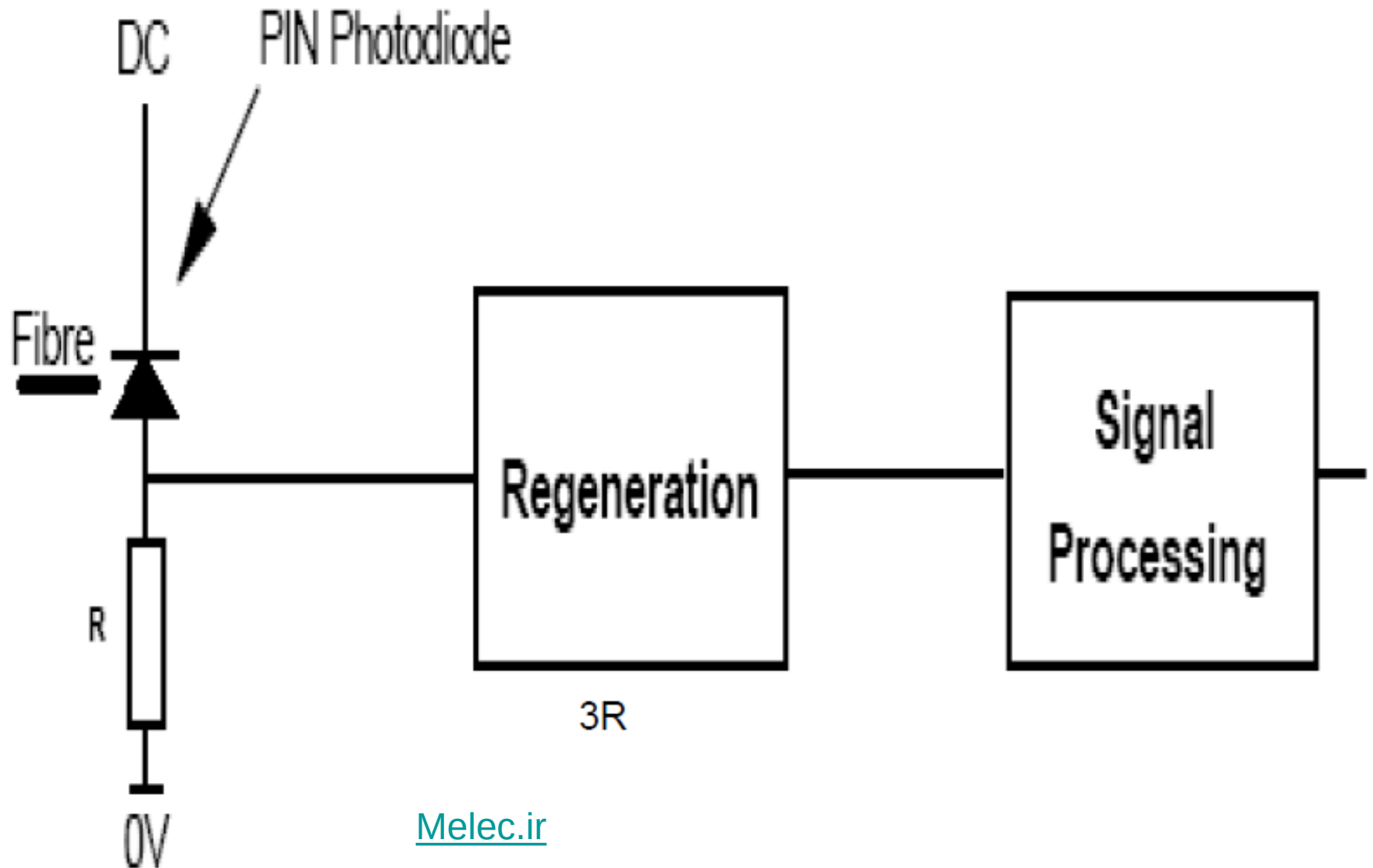
مزایا:

چرپ تقریبا صفر است.
برای راه دور مناسب است.

عیب:

هزینه زیاد

گیرنده نوری



تقویت کننده نوری

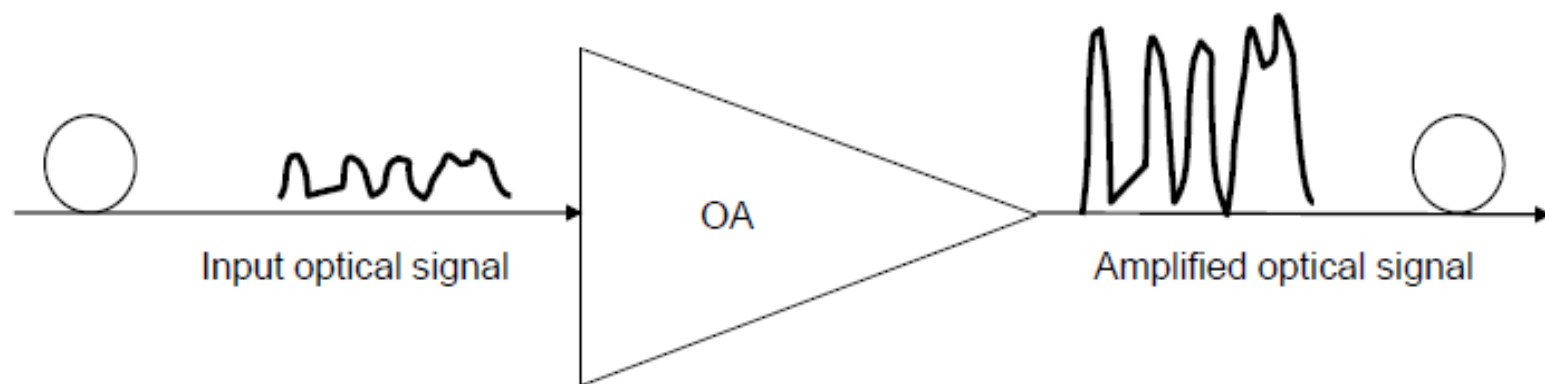
تقویت کننده نوری ، قدرت نور را افزایش می دهد.

بطور کلی دو نوع تقویت کننده نوری وجود دارد:

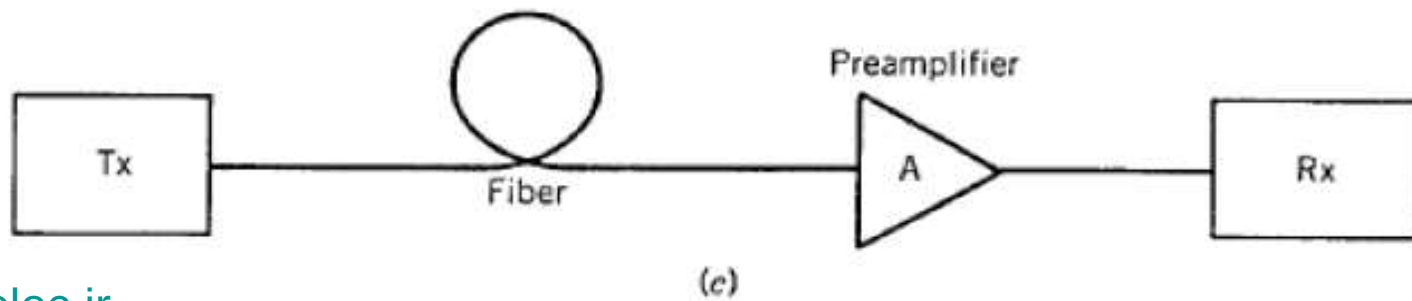
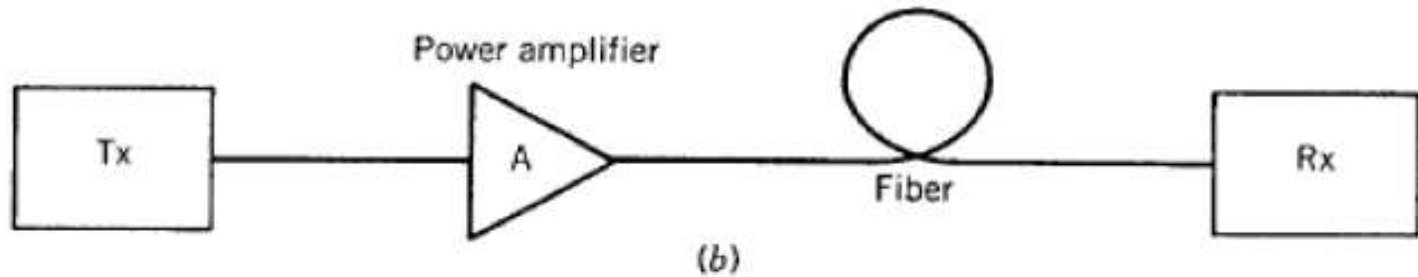
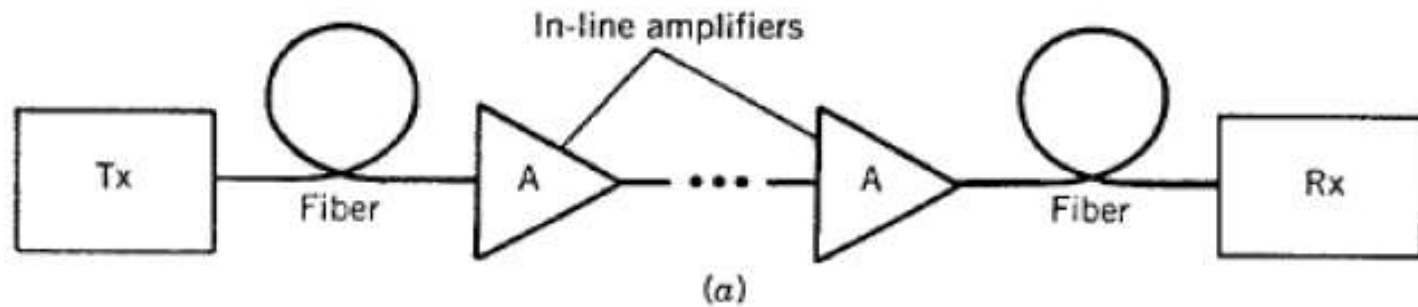
تقویت کننده نوری نیمه هادی (Semiconductor Optical Amplifier : SOA)
تقویت کننده نوری فیبری (Fibre Optical Amplifier)

- در حال حاضر تقویت کننده های نوری فیبری متداولتر هستند.

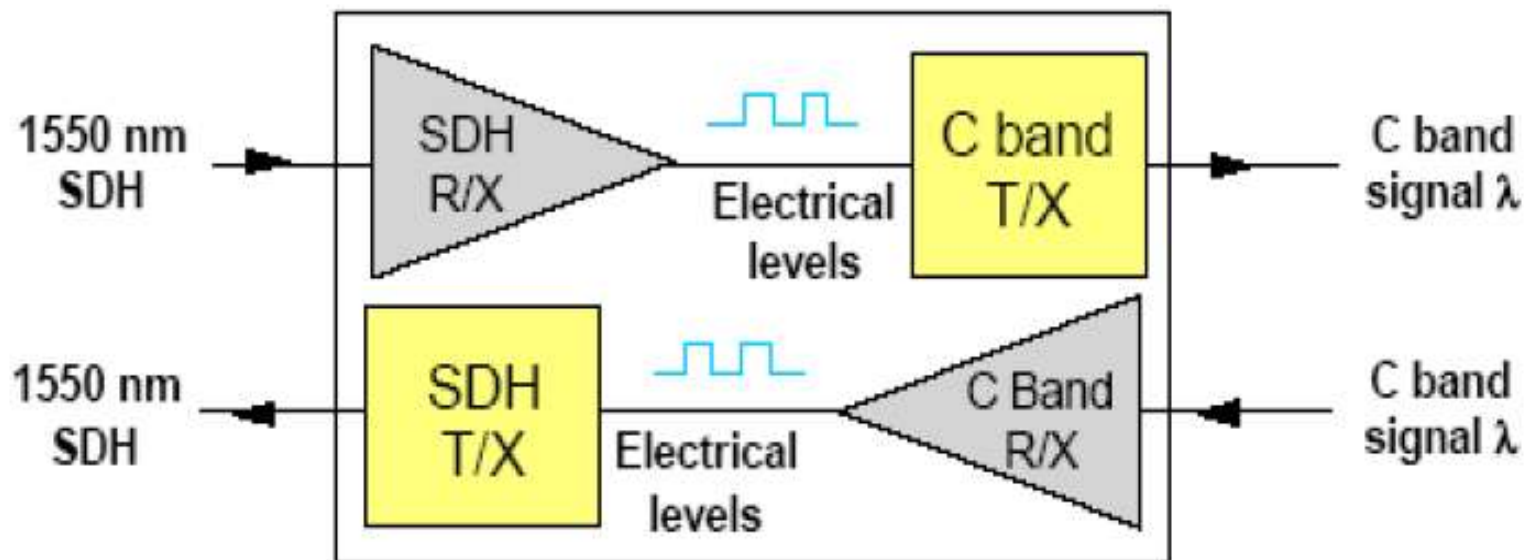
- پایه ای ترین عنصر برای سیستم های DWDM است.



کاربردهای تقویت کننده نوری

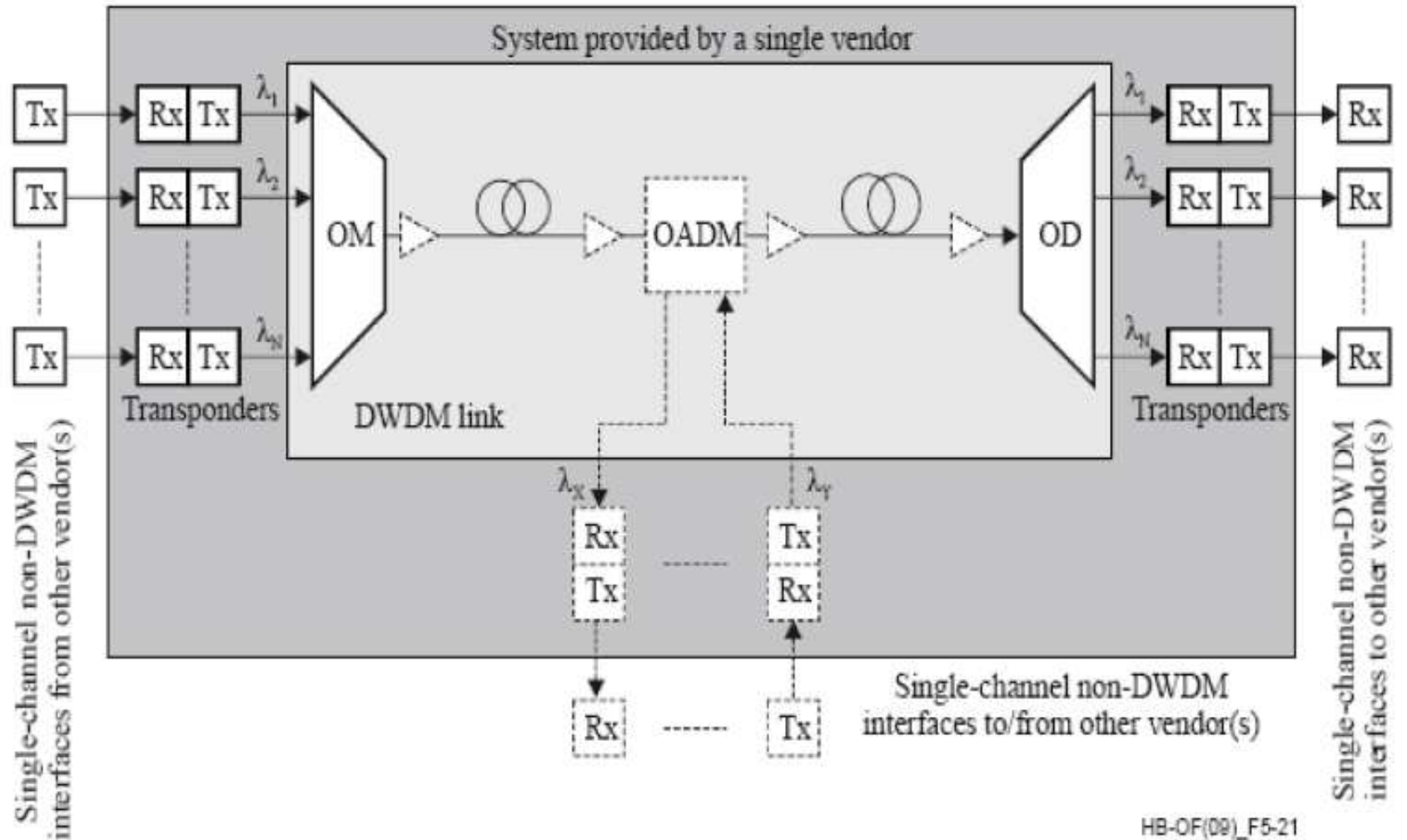


ترانسپوندرهای نوری

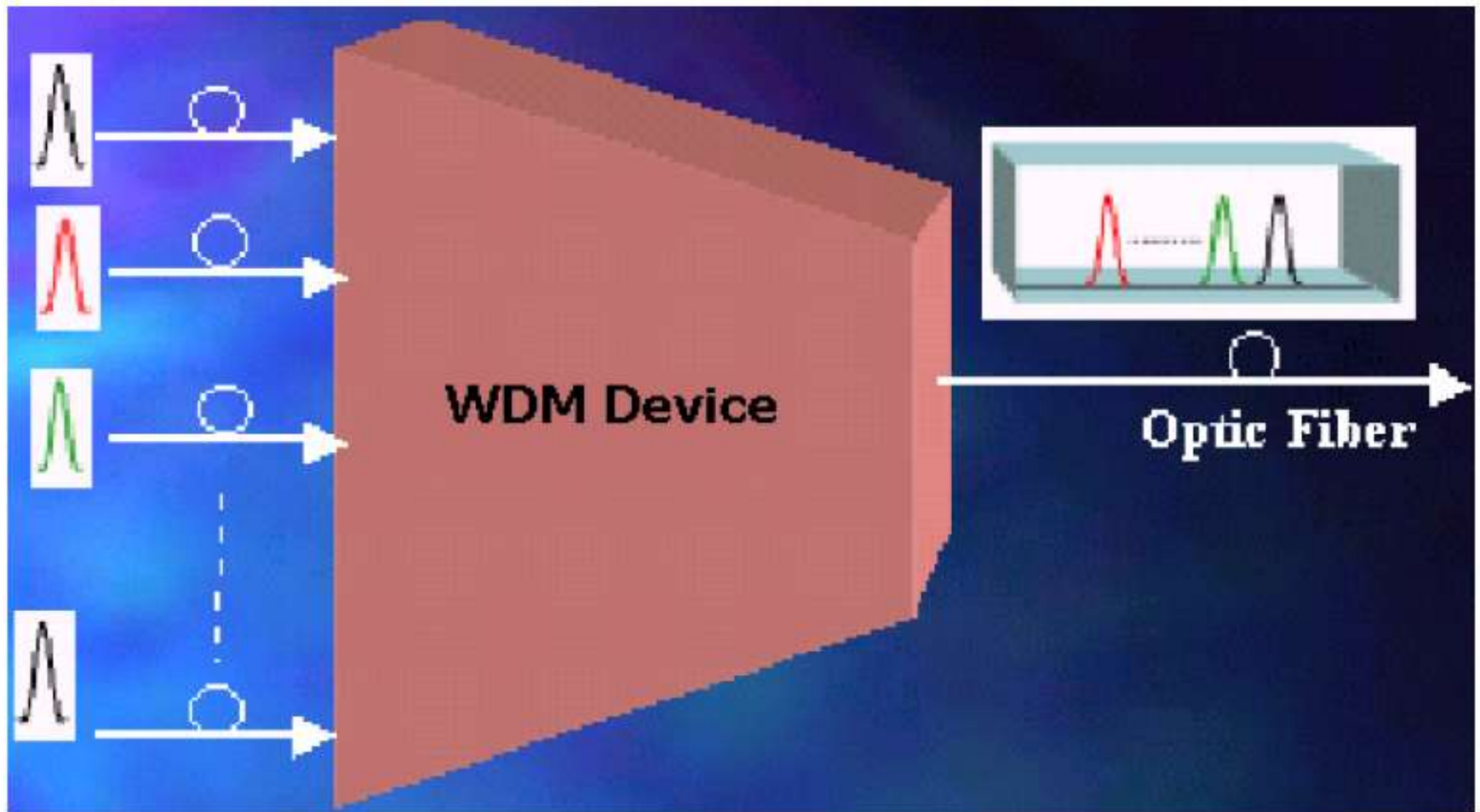


- Transponders are frequently formed by two transceivers back-to-back
- So called Optical-Electrical-Optical (OEO) transponders
- Expensive solution at present
- True all-optical transponders without OEO needed

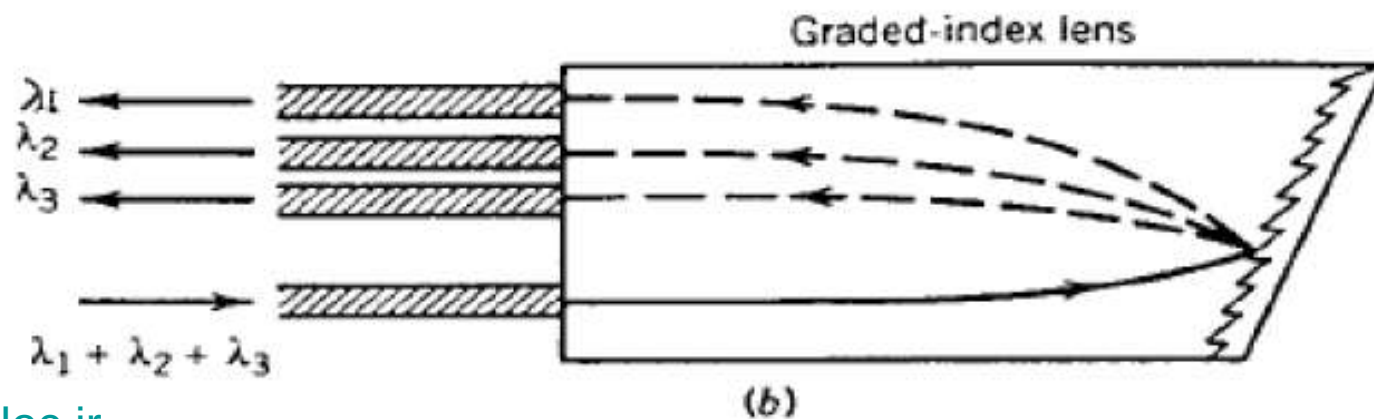
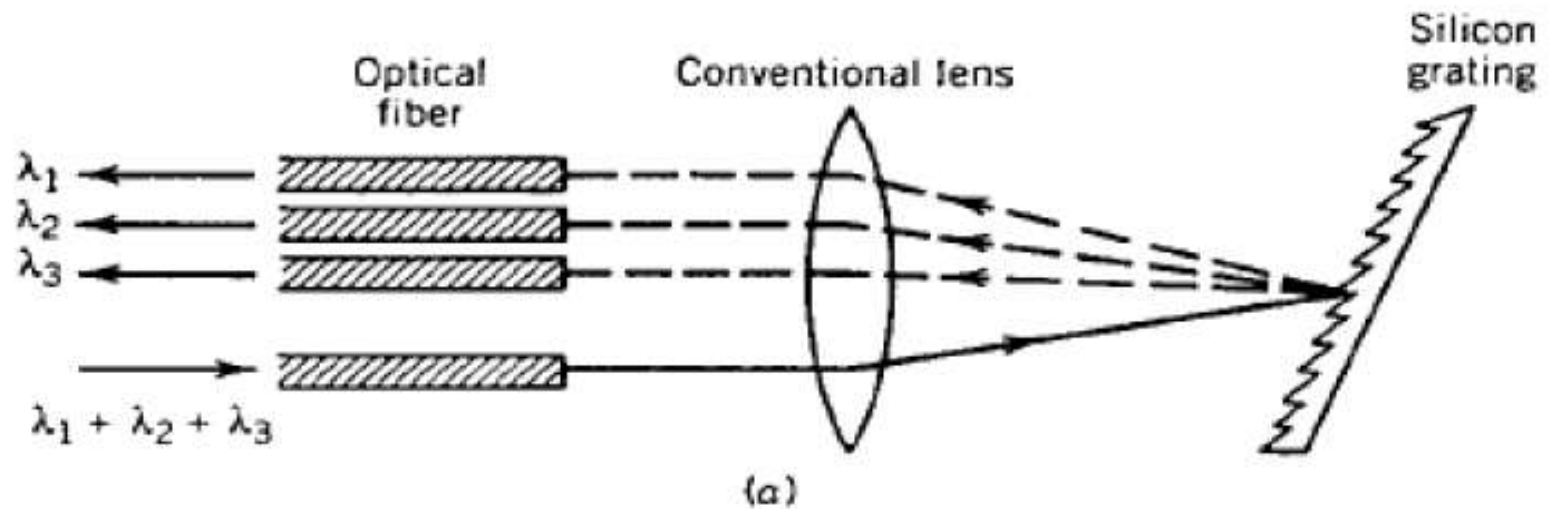
ترانسپوندرها



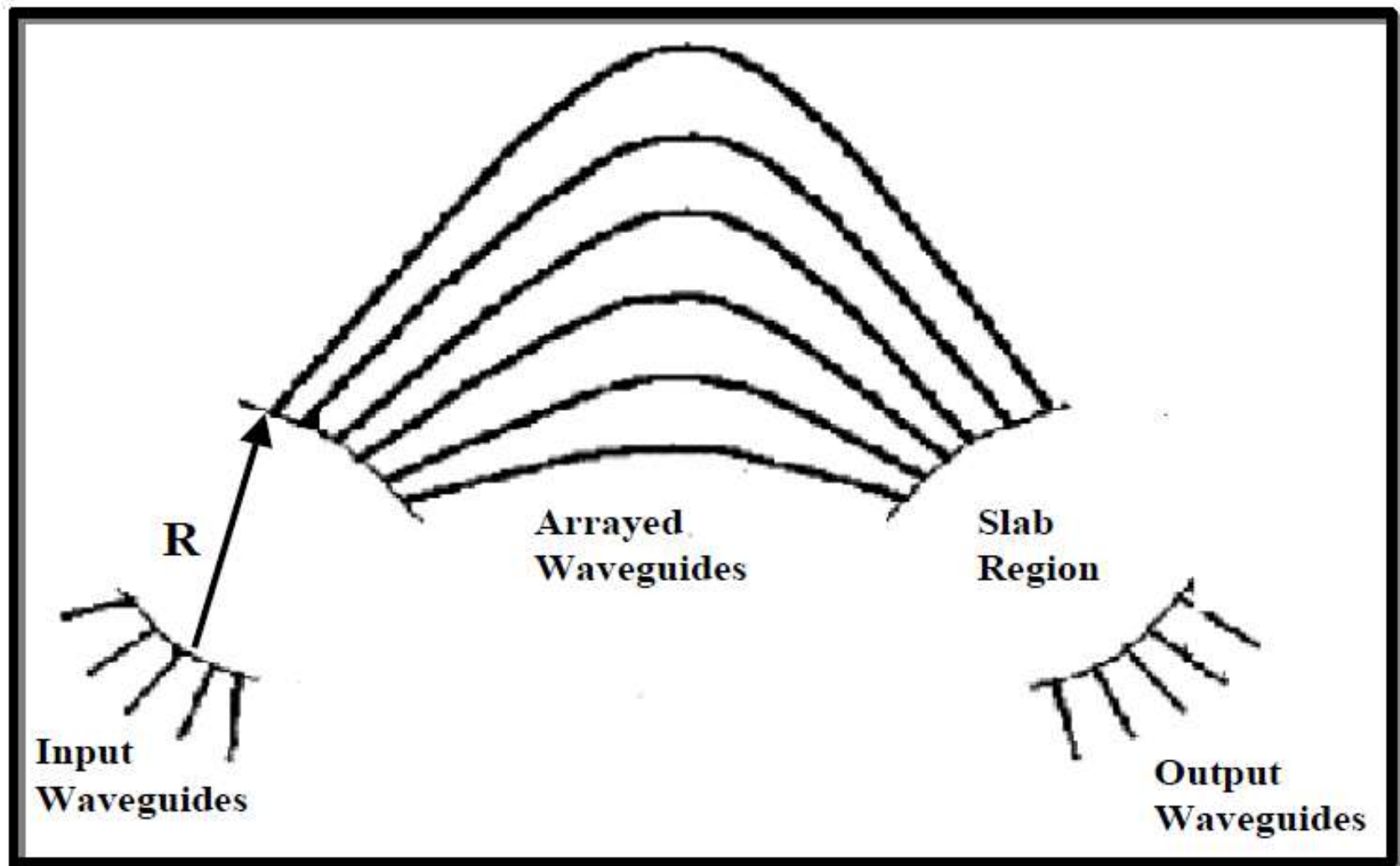
Multiplexer



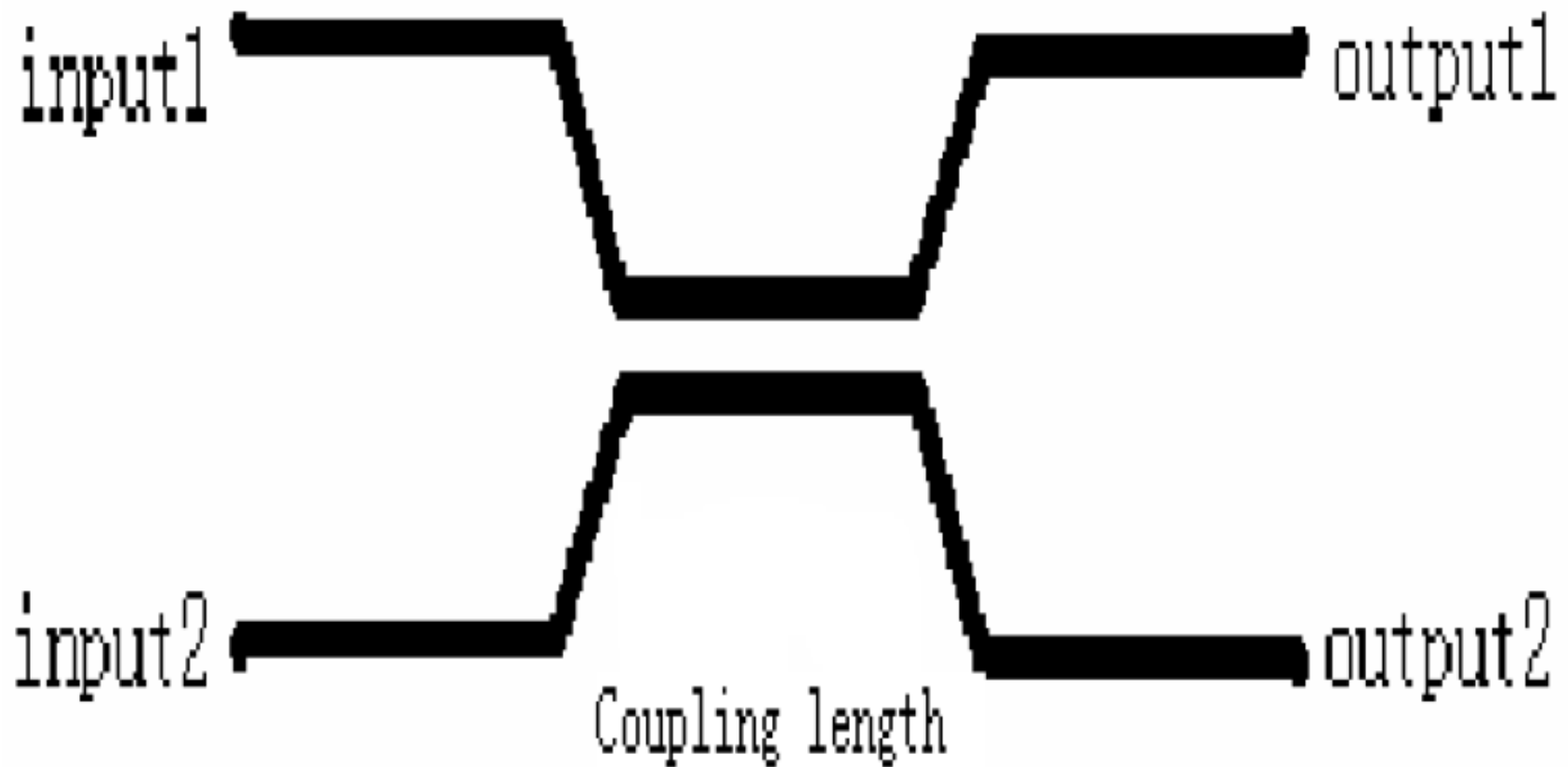
Mux/DMux



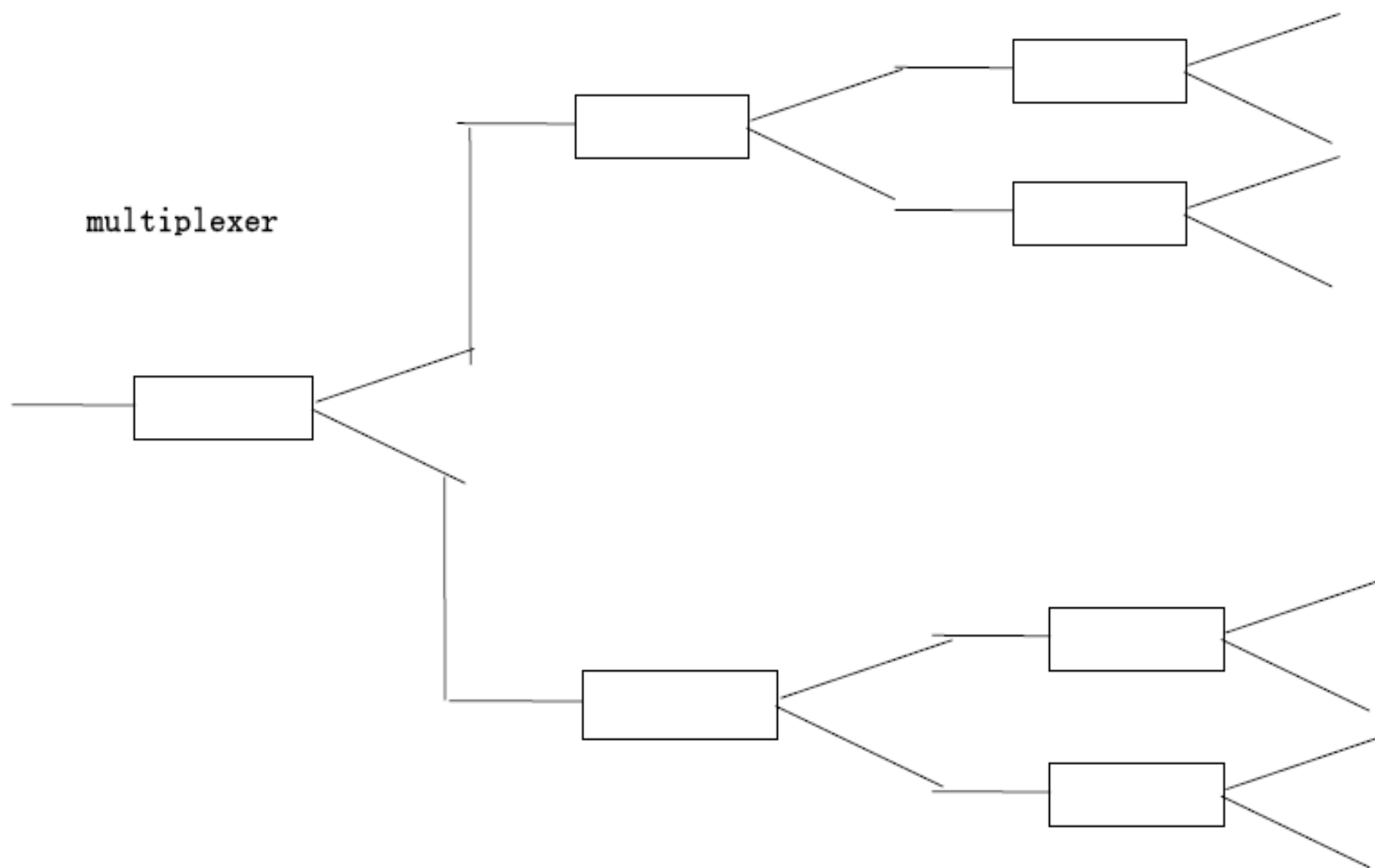
Arrayed-Waveguide Grating (AWG)



Coupler and Splitter



Multiplexer using Coupler

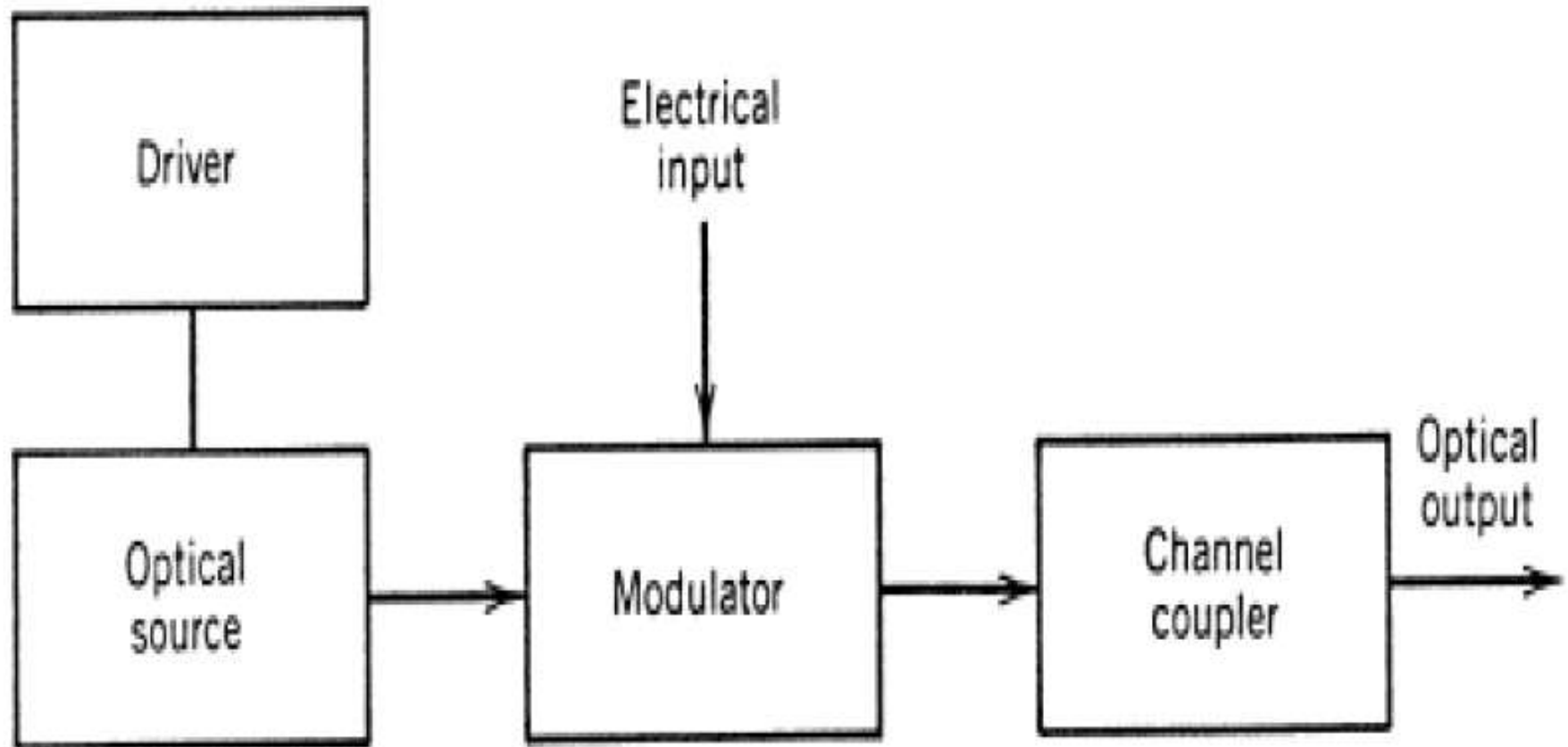


فرستنده های نوری

Melec.ir

اجزاء یک فرستنده نوری

The role of an *optical transmitter* is to convert the electrical signal into optical form and to launch the resulting optical signal into the optical fiber.



مشخصات مهم فرستنده

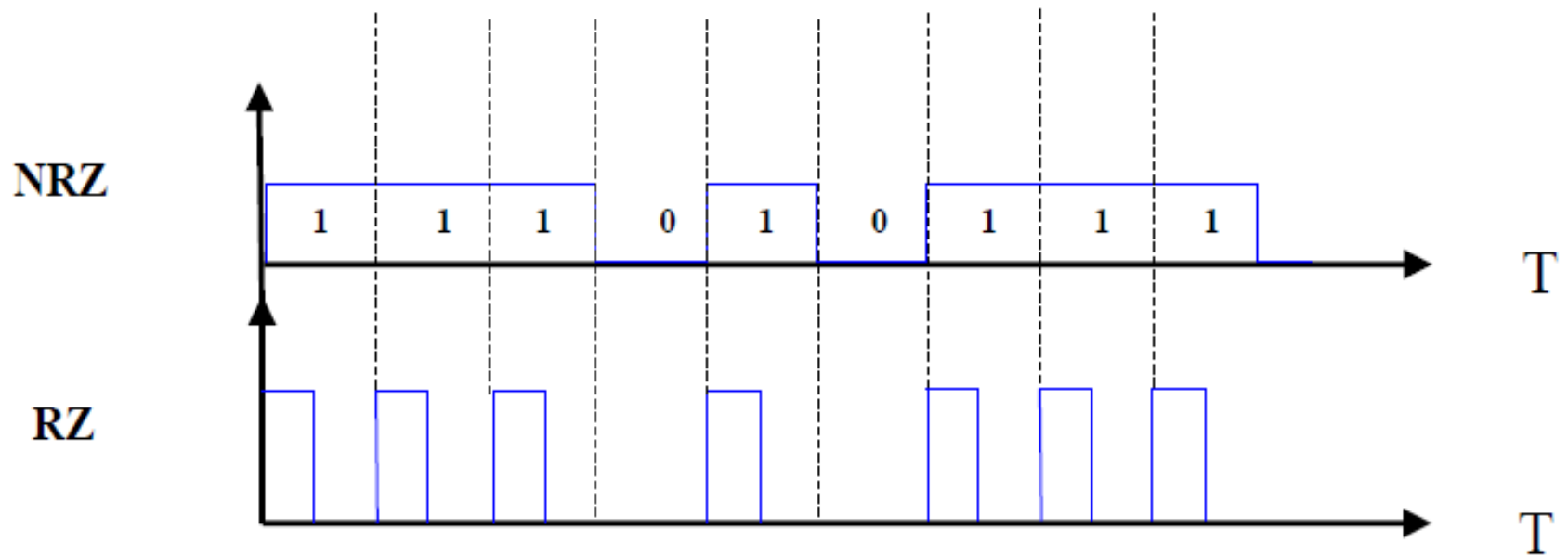
بخش الکترونیک

- سطوح ورودی الکتریکی
- نرخ بیت
- نوع کدینگ (N-RZ) دیتا
- ولتاژ تغذیه

بخش نوری

- طول موج خروجی
- قدرت خروجی بر حسب dBm

N R Z: Non Return to Zero



- چگالی قدرت کمتر
- مقاومت بیشتر در مقابل آثار غیرخطی
- مقاومت بیشتر در مقابل **PMD**

مدولاسیون شدت

- تکنولوژی جا افتاده و لیزرهای خوبی وجود دارد.

- مدولاسیون دیجیتال و آنالوگ امکان پذیر است.

- طراحی گیرنده نسبتاً آسان است.

- گیرنده به نام **Direct Detection** معروف است.

Electrical
Data

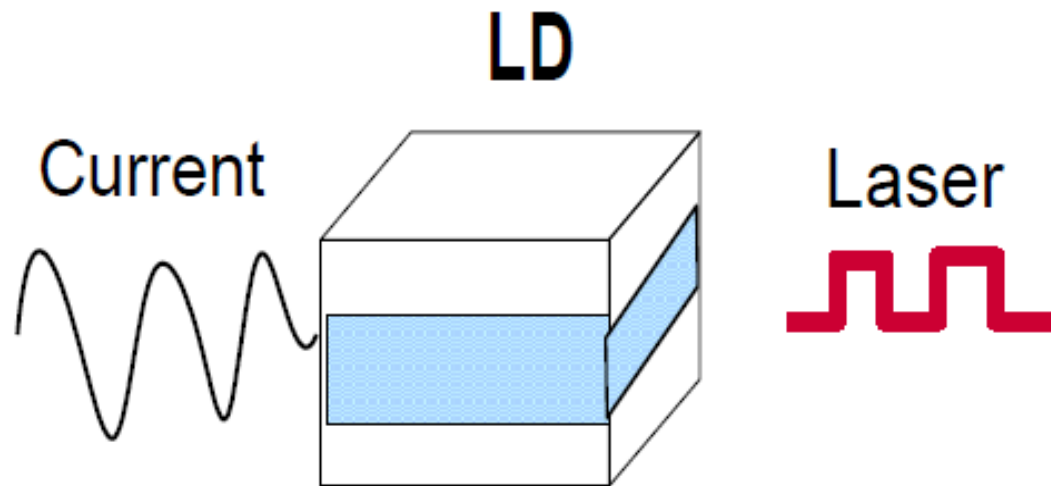


Modulated
Optical
Signal



Direct Modulation

Direct modulation is: Output laser is controlled by input current



Advantages: simple structure, low loss and low cost

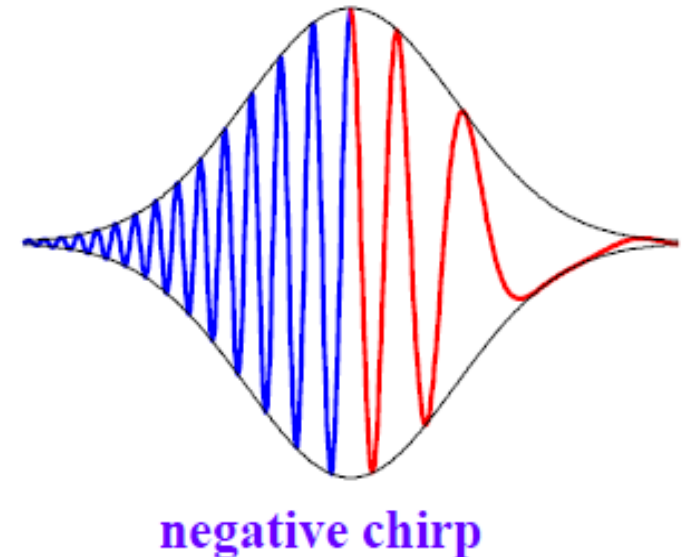
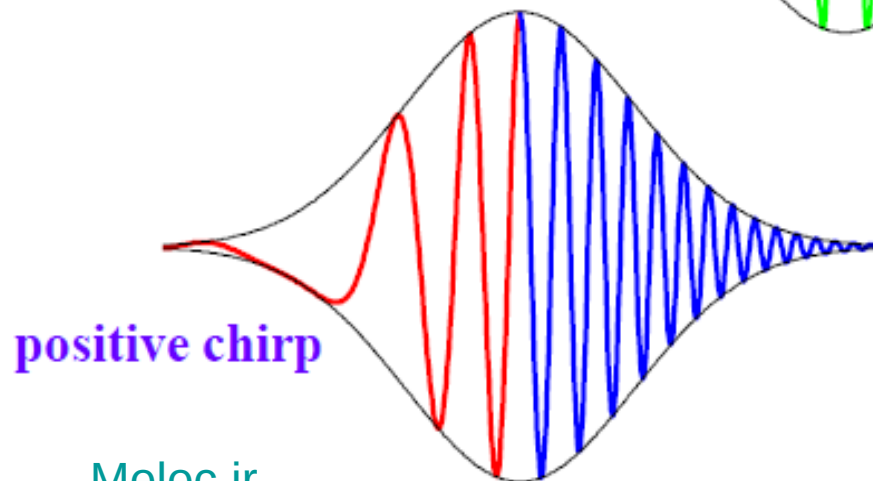
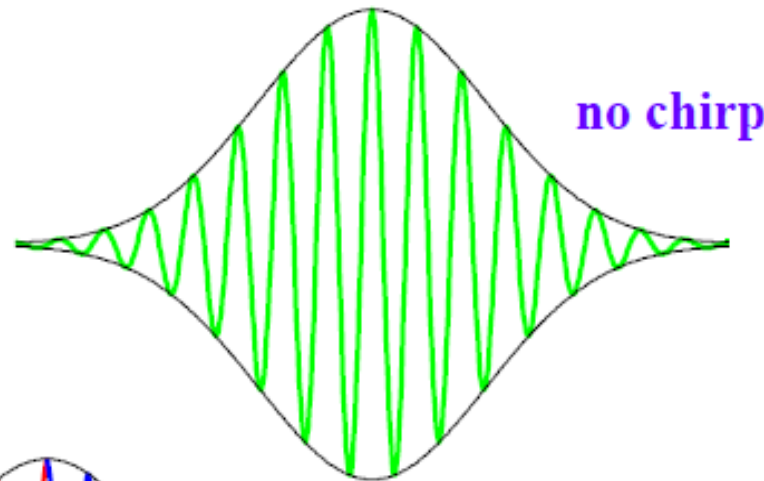
Disadvantages: modulation chirp

transmission distance $\leq 100\text{km}$

transmission rate $\leq 2.5\text{Gbit/s}$

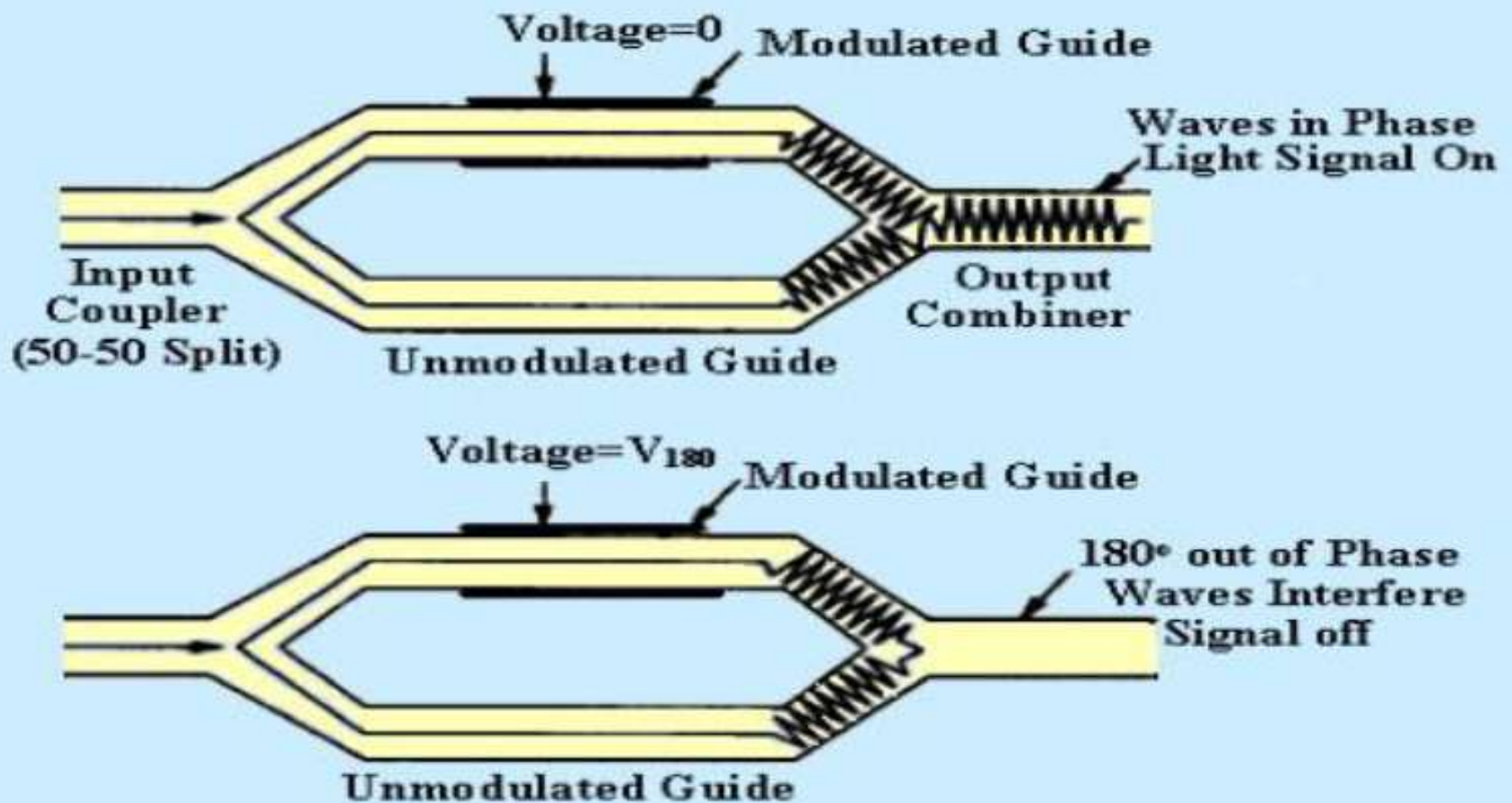
چرپ (Chirp) چیست؟

انحراف فرکانس لیزر از فرکانس مرکزی آن

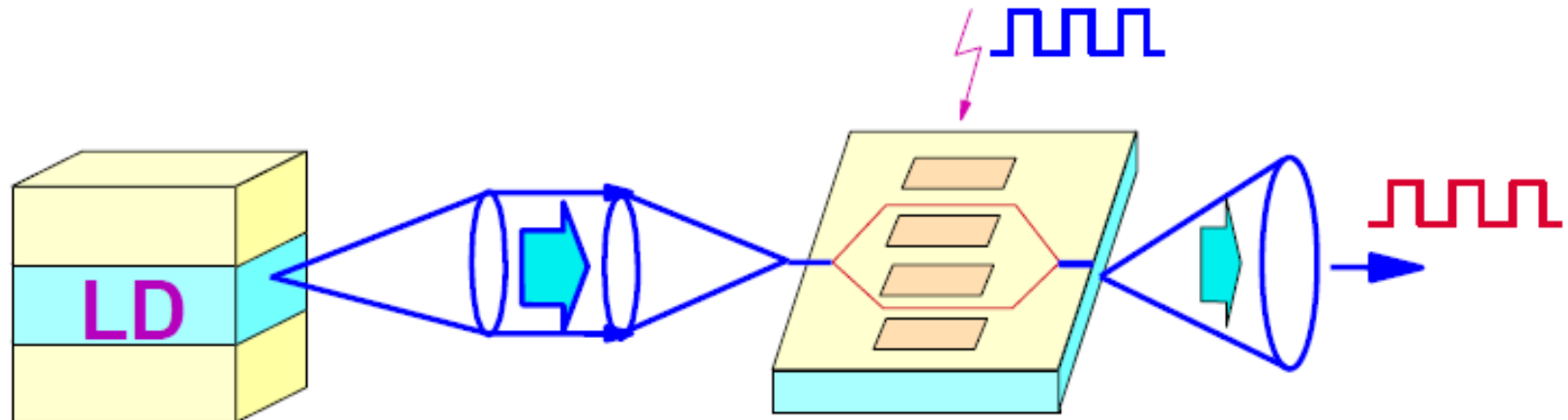


مدولاسیون خارجی الکترواپتیک: Mach-Zehnder

Based on the electro-optic effect, that is the refractive index change of certain materials (LiNbO_3) due to the applied electric field.



مدولاتور Mach-Zehnder



مزایا:

چرپ تقریبا صفر است.
برای راه دور مناسب است.

عیب:

هزینه زیاد

مقایسه روشهای مدولاسیون شدت

مبنای مقایسه سیگنال STM-16 می باشد.

	Direct Modulator	مدولاتور M-Z
Max.dispersion tolerance (ps/nm)	1200~4000	>12800
قیمت	متوسط	گران
پایداری طول موج	خوب	عالی

منابع نور برای سیستم های مخابرات نوری

انرژی الکتریکی را که بصورت جریان الکتریکی است به انرژی نوری تبدیل می کند.

منابع نوری در سیستم های مخابرات نوری باید خواص زیر را داشته باشند:

- نور خروجی برای تاباندن به هسته فیبر مناسب باشد.
- طول موج آن در محدوده کم تلفات فیبر باشد یعنی یکی از سه پنجره طول موج ها
- قدرت خروجی به حدی کافی باشد که پس از یک فاصله طولانی قدرت گیرنده مناسبی دریافت شود.
- به آسانی قابلیت مدوله شدن را داشته باشد.
- پهنای طیفی آن باریک باشد تا **Material Dispersion** کاهش یابد.
- برای **Packaging** به همراه مدارهای الکترونیکی معمولی قابلیت داشته باشد
- ارزان و قابل اطمینان باشد.

منابع نور برای سیستم های نوری

بطور کلی دو نوع منبع نور وجود دارد:

• LED یا Light Emitting Diode

• دیود لیزری نیمه هادی (Semiconductor Laser Diode)

مقایسه دو نوع منبع نور

LED

دیود لیزری

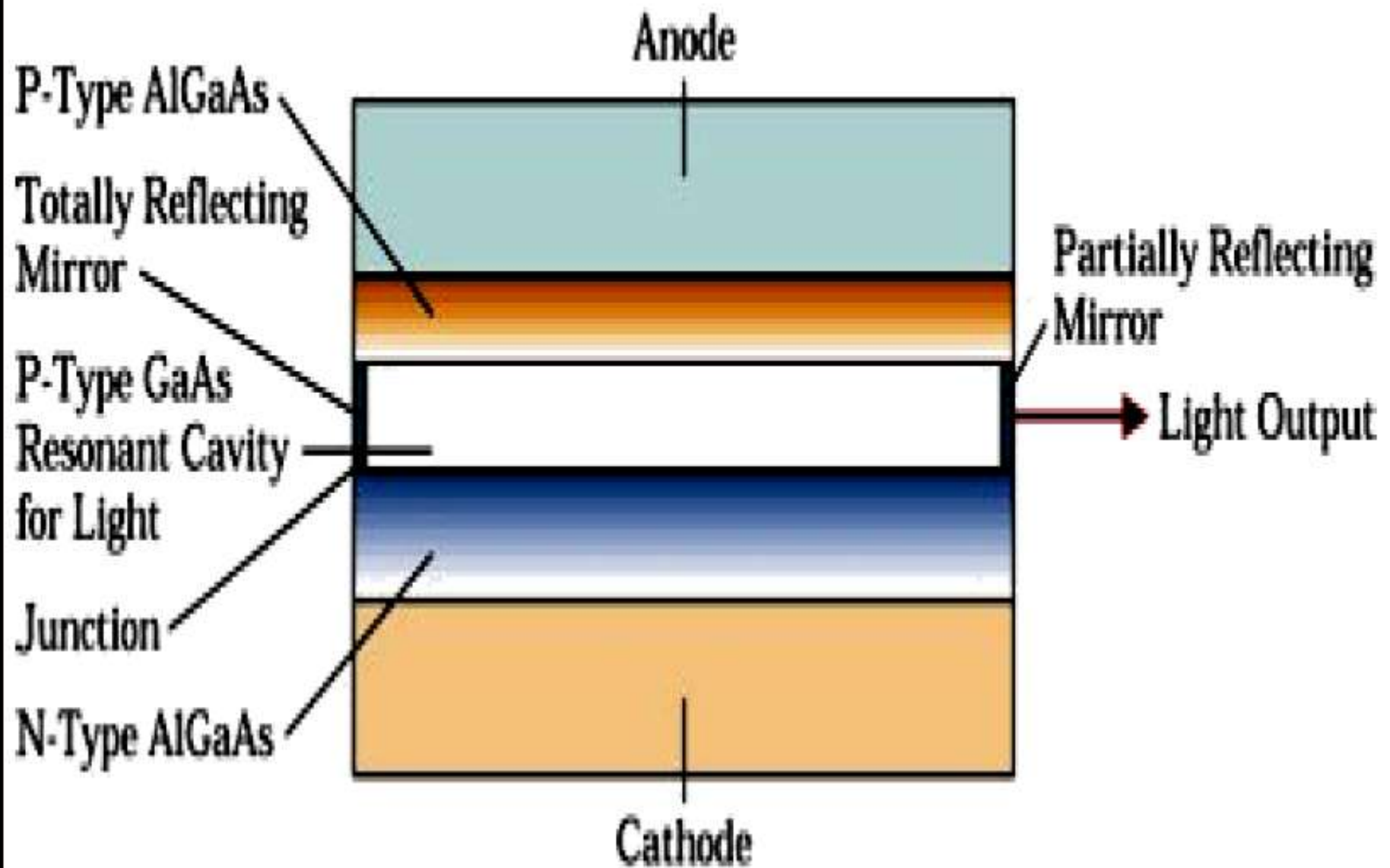
- نور غیر همدوس پراکنده شده
- سادگی کنترل و بکارگیری
- ارزان قیمت
- پهنای باند مدولاسیون: چند صد مگاهرتز
- دشواری تزویج نور کافی به فیبر
- نامناسب برای فیبرهای تک مود
- نور خروجی برای چشم ایمن است
- قدرت خروجی کم
- طیف نوری وسیع
- نرخ بیت پائین
- مناسب برای فواصل کوتاه

- نور همدوس با پرتو باریک
- پیچیدگی کنترل
- گران قیمت
- پهنای باند مدولاسیون: چند ده گیگاهرتز
- تزویج بیشتر نور به فیبر
- مناسب برای فیبرهای تک مود
- نور خروجی برای چشم ایمن نیست
- قدرت خروجی زیاد
- طیف نوری باریک
- نرخ بیت بالا
- مناسب برای فواصل دور

فرستنده های نوری

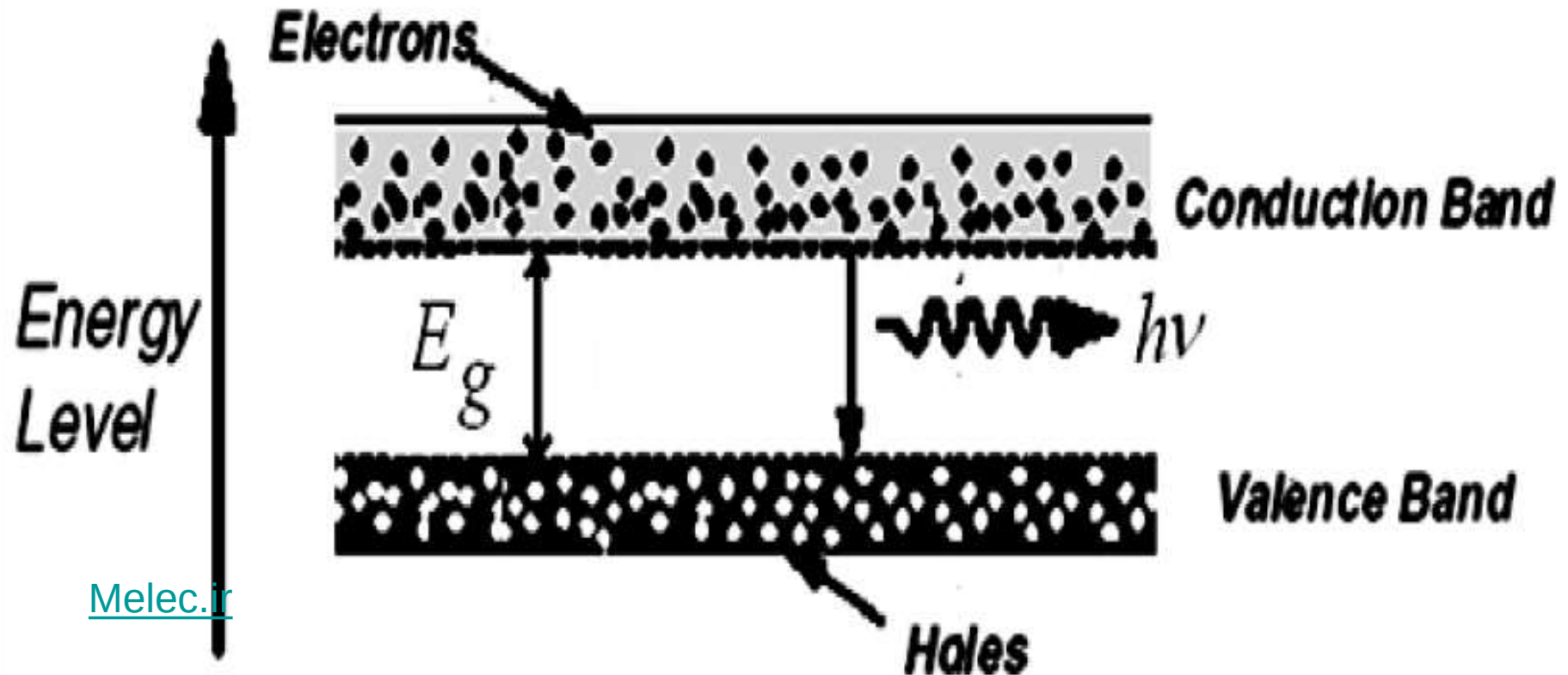
Melec.ir

Fabry-Perot (FP) Laser Structure



مبانی عملکرد منابع نوری

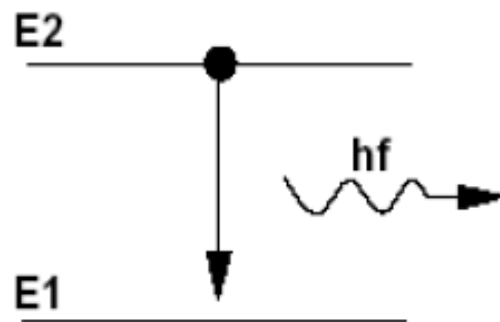
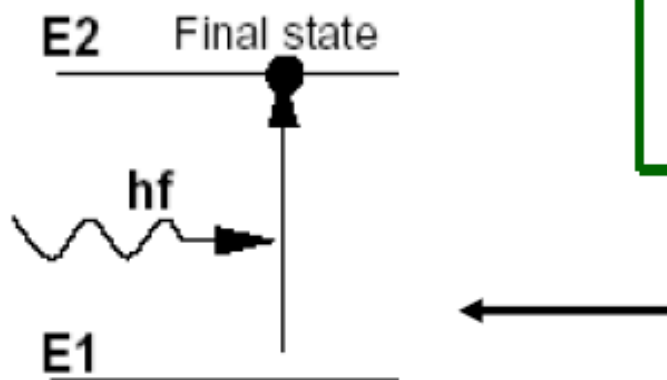
هرگاه الکترونهای آزاد "باند هدایت" برای ترکیب با حفره ها به "باند ظرفیت" وارد می شوند، در این فرایند فوتون منتشر می شود.



پدیده های تابش و جذب نور

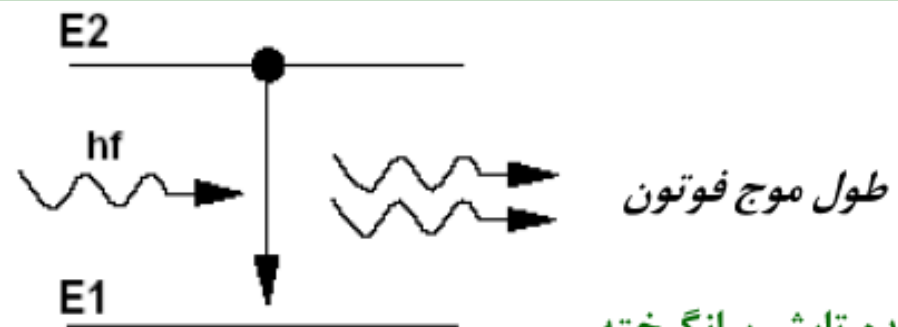
- دیاگرام ها سطوح انرژی یک اتم را نشان می دهند.
- در تمام حالتها $E_2 > E_1$ می باشد.

۱- پدیده جذب (Absorption): تابش فوتون به یک اتم آن را به سطح انرژی بالاتری می برد.



۲- پدیده تابش خودبخودی
(Spontaneous Emission):

وقتی اتم بطور کاملاً اتفاقی به سطح انرژی پایین تر برگردد فوتون می تابد.

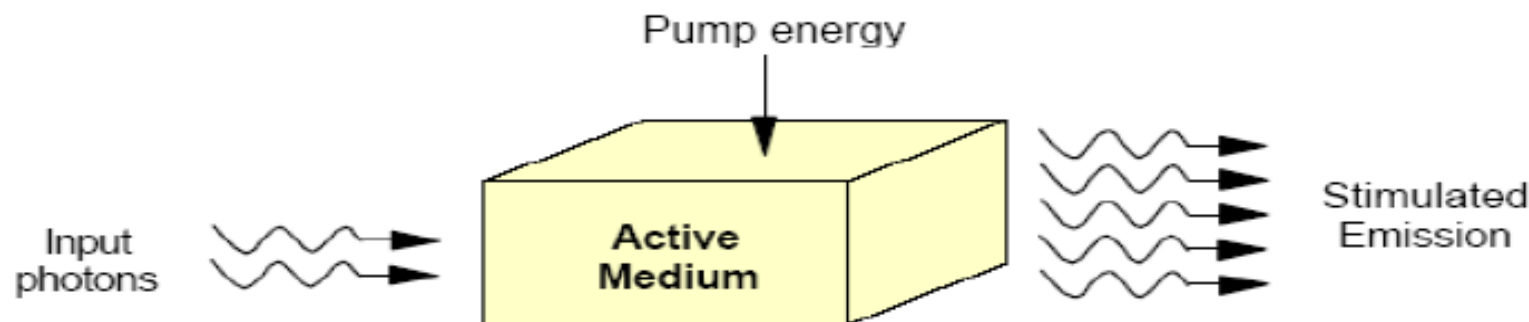


۳- پدیده تابش برانگیخته
(Stimulated Emission):

یک فوتون تابیده به اتم طوری عمل می کند که باعث می شود در این فرایند، اتم به سطح انرژی پایین برگردد و بر اثر این بازگشت، فوتونی هم فاز، هم فرکانس و هم پلاریزاسیون با فوتون تابیده شده ایجاد گردد.

شرط اول بدست آوردن تابش برانگیخته: گین و پمپ کردن

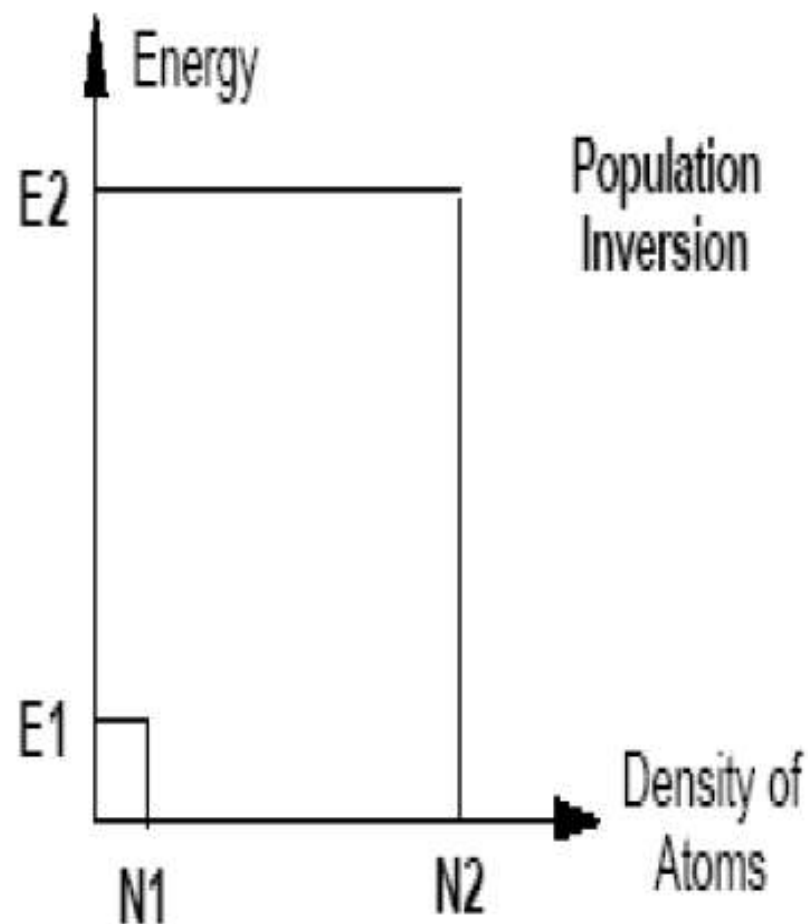
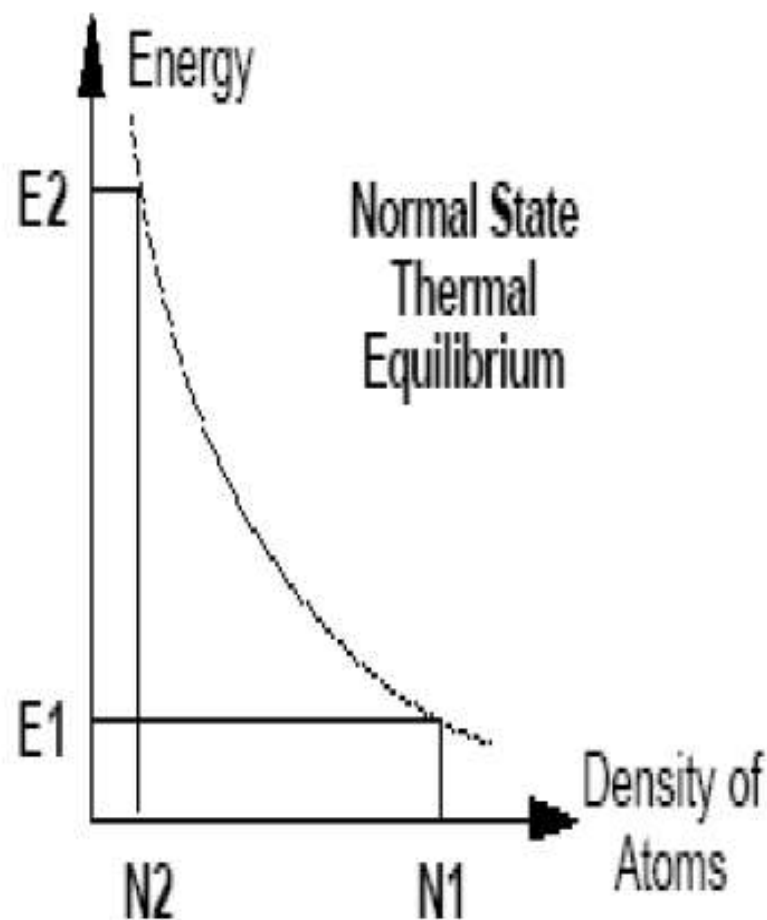
- محیطی که دارای ساختار دلخواه از سطوح انرژی باشد تا عمل لیزر امکان پذیر شود که ناحیه فعال $p-n$ Junction است
- برقرار کردن **Population Inversion** که با جریان بایاس مستقیم اعمالی به دیود لیزر بدست می آید. به این عمل پمپ کردن هم می گویند. اتمها به سطح انرژی بالاتر رانده می شوند (**Excited**).
- البته یکی از روشهای پمپ کردن استفاده از جریان الکتریسیته است. یکی دیگر از روشها هم استفاده از لیزر دیگر است.
- تابش برانگیخته در واقع گین نوری است چرا که تعداد فوتونهای خارج شده از ناحیه پمپ شده از تعداد فوتونهای وارد شده بیشتر می شود.



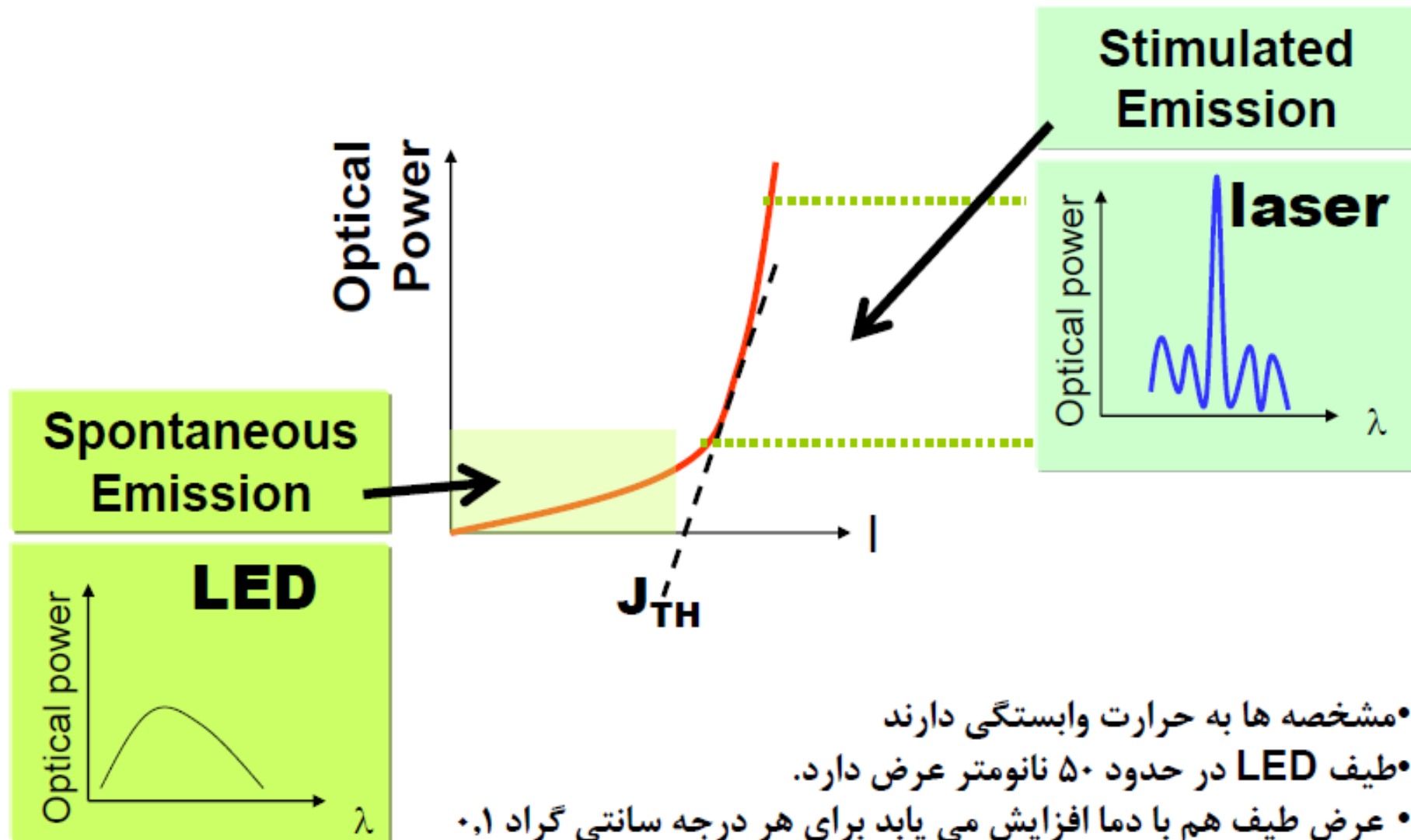
پمپ کردن به تنهایی عمل لیزر را کامل نمی کند برای انجام عمل لیزر بایستی **Population Inversion** و تابش برانگیخته، در حضور فیدبک نوری صورت گیرد.

Population Inversion

در حالت طبیعی بیشتر اتمها در سطح انرژی پایین تر هستند ولی ما لازم داریم که بیشتر اتمها در سطح انرژی بالاتر باشند به ترتیبی باید این جابجایی انجام شود



جریان آستانه و طیف خروجی



- مشخصه ها به حرارت وابستگی دارند
- طیف LED در حدود ۵۰ نانومتر عرض دارد.
- عرض طیف هم با دما افزایش می یابد برای هر درجه سانتی گراد ۰,۱ تا ۰,۳ نانومتر

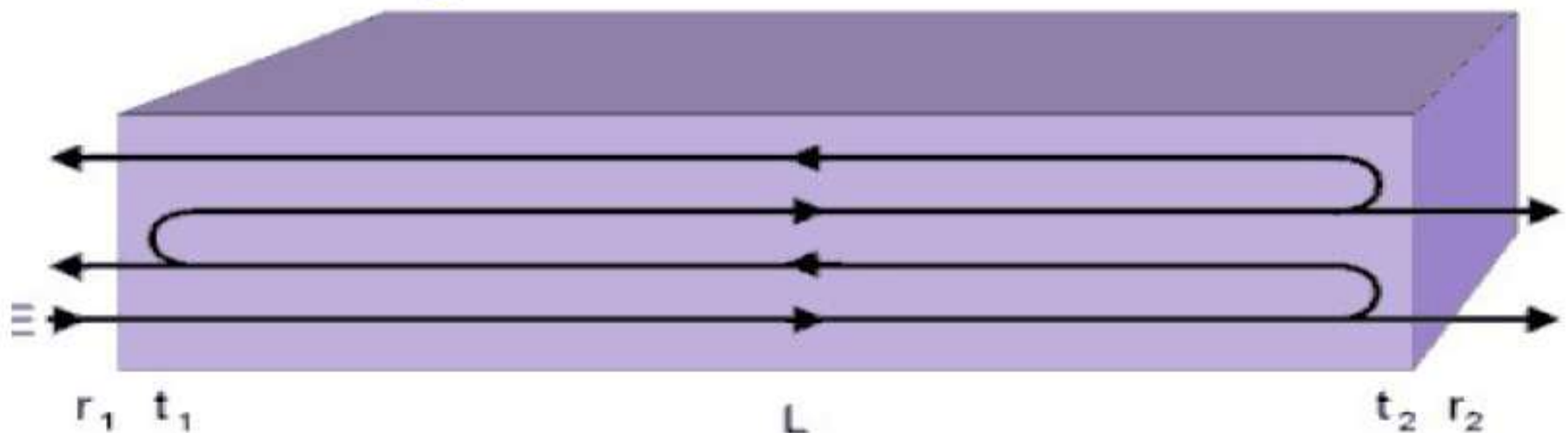
شرط دوم: فیدبک نوری

• اگر قرار باشد گین که تابش برانگیخته ایجاد می کند خروجی پیوسته تولید کند پس لازم است فیدبک نوری وجود داشته باشد.

• معمولاً فیدبک با استفاده از آینه های صفحه ای در دو سمت ناحیه فعال بدست می آید. این محفظه رزونانسی را به نام محفظه فابری-پرو (Fabry-Perot) می نامند.

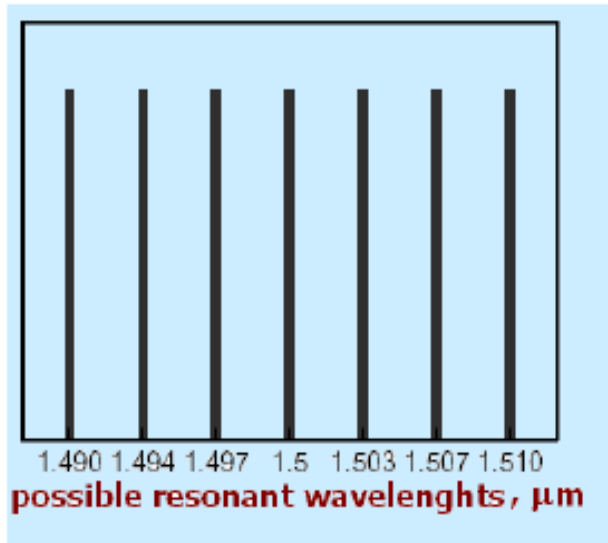
• بنا براین ترکیب تابش برانگیخته و فیدبک یک خروجی پیوسته تولید می کند. (مثل یک تقویت کننده الکتریکی با فیدبک مثبت که اسیلاتور ایجاد می کند)

گین باید بیش از تلفات موجبری و تلفات ناشی از آینه ها باشد

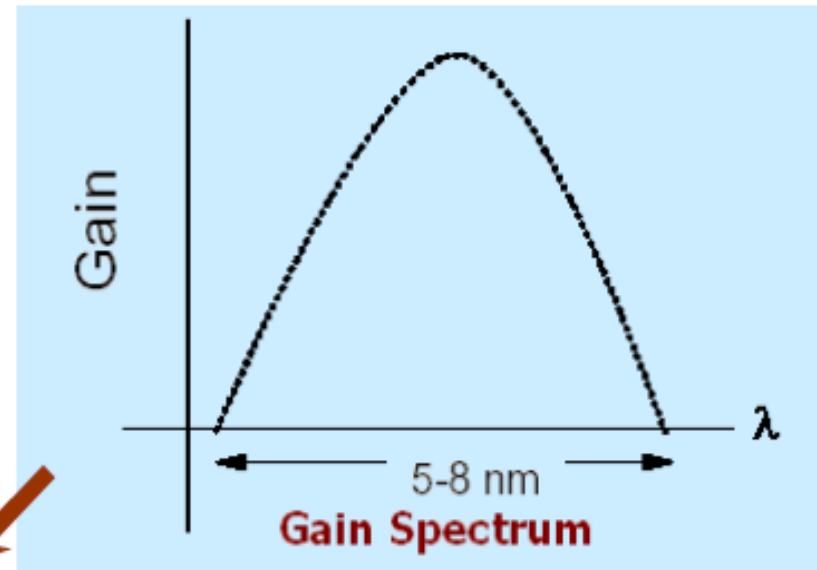


گین بر حسب طول موج

When the graph of possible resonant wavelengths combines with the amplifying characteristics of the device we get a pattern of possible modes.

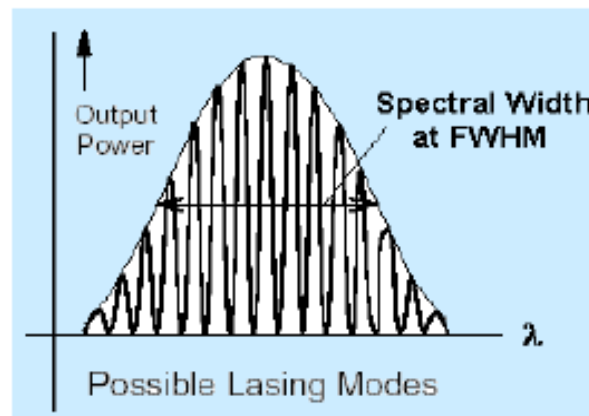


$$nL = \frac{m\lambda}{2}$$



Fabry-Perot lasers have relatively wide spectral width and not suitable for :

- extended distances
- wavelength multiplexing



طول موج لیزر

طیف طول موجهای ممکن برای یک لیزر توسط ماده سازنده لیزر تعیین می شود.

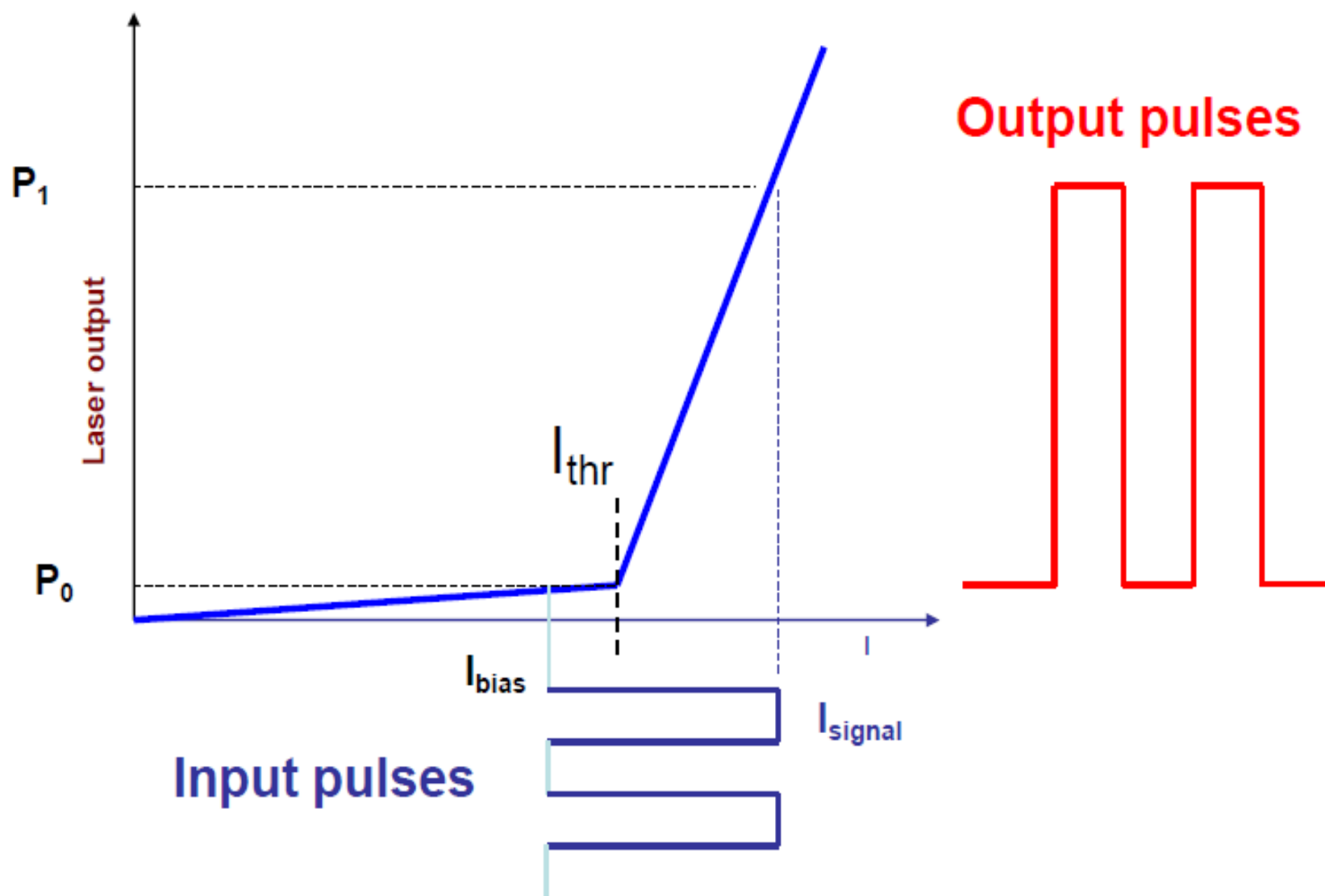
$$\lambda(\mu m) = \frac{1.24}{E_g (eV)}$$

Types of optical sources

- Fixed wavelength
 - Multi-wavelength
- Laser array
tunable laser

Material	Wavelength Range λ (μm)
InP	0.92
InAs	3.6
GaP	0.56
GaAs	0.87
AlAs	0.59
GaInP	0.64-0.68
AlGaAs	0.8-0.9
InGaAs	1.0-1.3
InGaAsP	0.9-1.7

مدوله کردن لیزر

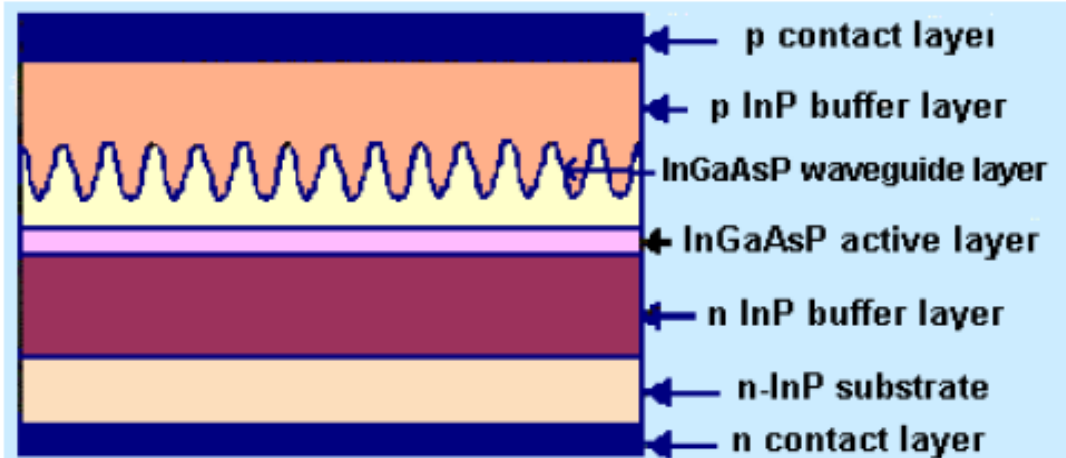


DFB & DBR lasers

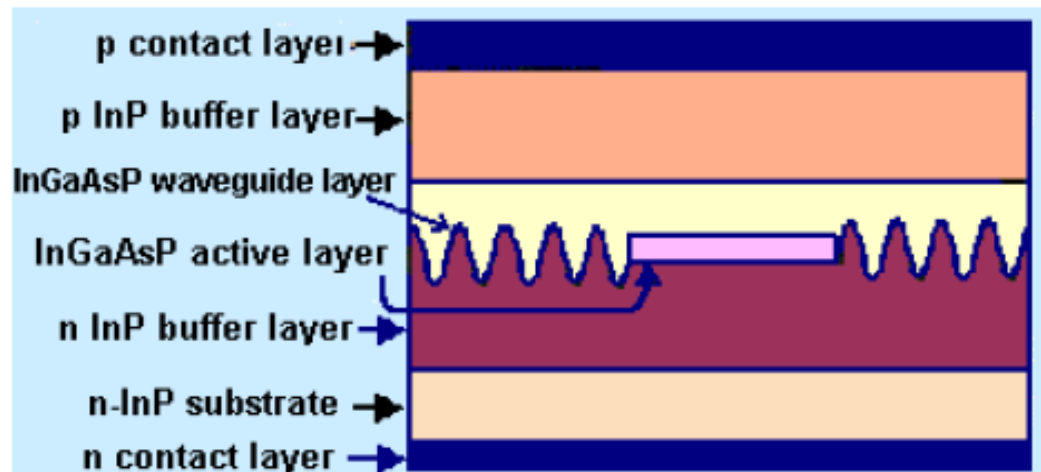
Grating acts as a wavelength selective mirror.

narrow linewidth, typically 0.2 to 0.3 nm.

Distributed FeedBack (DFB)

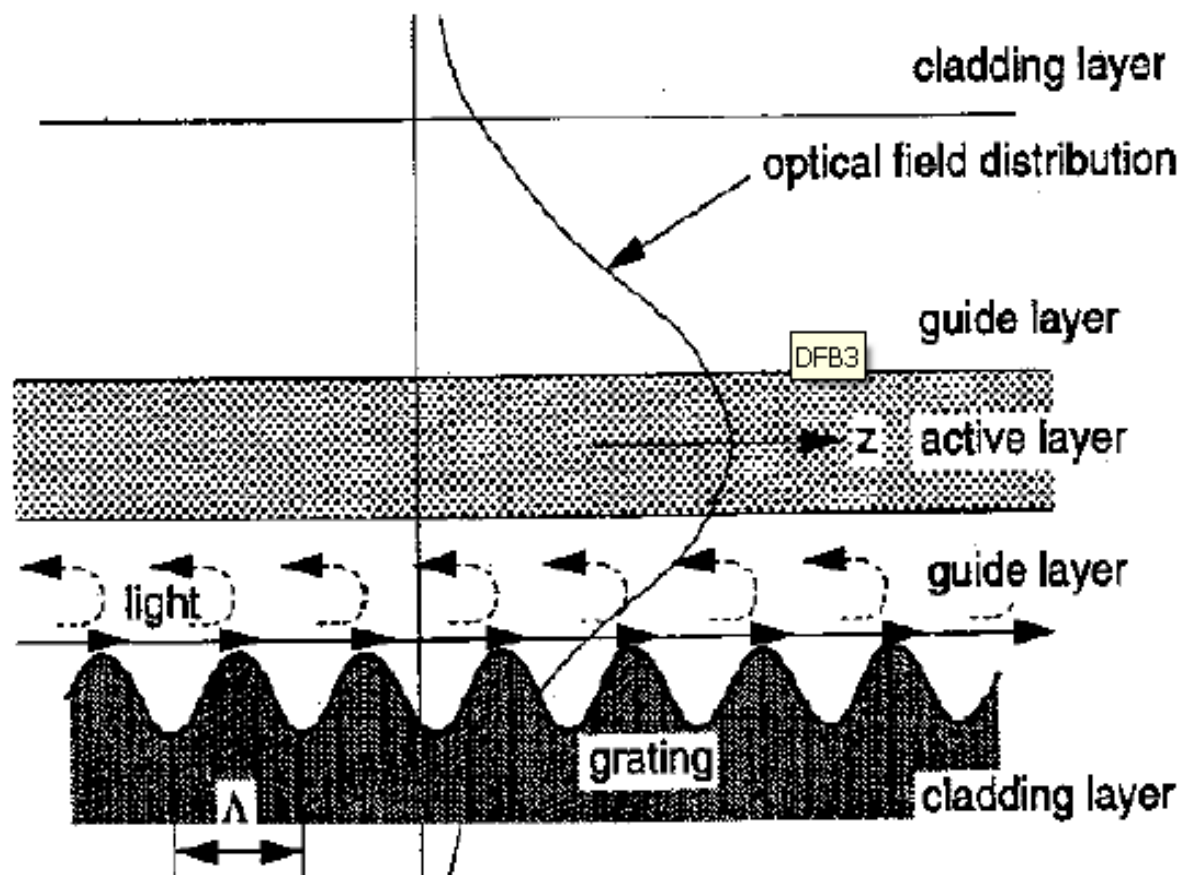


Distributed Bragg Reflector (DBR)



Bragg wavelength

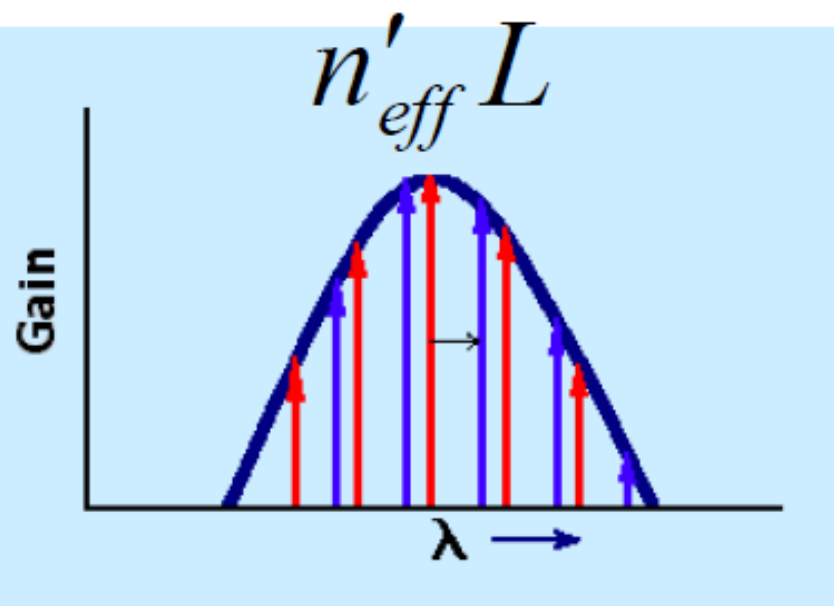
In DFB and DBR lasers, for wavelengths close to the Bragg wavelength the reflections from the individual parts of grating are in phase and constructive interference occurs.



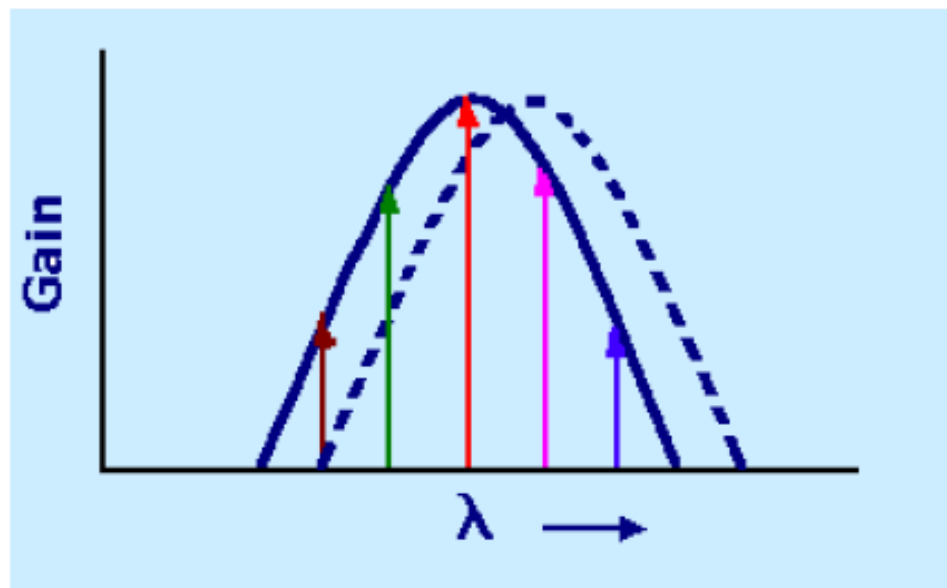
$$\lambda_B = 2n_{eff}\Lambda$$

تنظیم طول موج لیزر

تغییر طول اپتیکی محفظه لیزر



تغییر مشخصه گین محفظه لیزر



تغییر وابستگی طول موجی گین محیط فعال

استفاده از آینه هایی با وابستگی طول موجی تلفات انعکاس

Sampled Grating-DBR (SG-DBR)

- جریان قسمت گین سطح توان خروجی را کنترل می کند

- جریان قسمت‌های آینه های جلویی و عقبی باعث تغییر ضریب شکست می شود که در نتیجه طول موج لیزر را تنظیم دقیق می کند با استفاده از شیفت طیف انعکاس
DBR

- جریان اعمالی به قسمت فاز طول موج مودهای محفظه را تنظیم می کند

Front Mirror Gain Phase Rear Mirror



گیرنده های نوری

Melec.ir

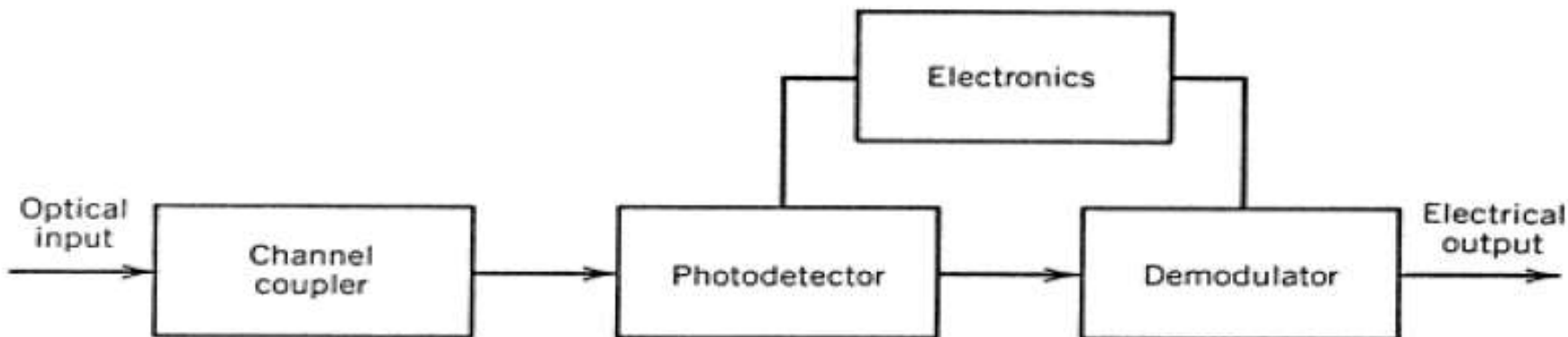
گیرنده نوری

• نقش یک گیرنده نوری این است که سیگنال نوری را به فرم الکتریکی برگرداند و اطلاعات ارسال شده از طریق سیستم نوری را بازسازی کند

• عنصر اصلی گیرنده نوری آشکارساز نوری است که نور را با استفاده از اثر فتوالکتریک به الکتریسیته تبدیل می کند.

• الزامات یک آشکارساز نوری شبیه الزامات منبع نوری است (اندازه کوچک، بازدهی بالا، قابلیت اطمینان خوب، محدوده طول موج مطلوب، تطابق با ابعاد هسته فیبر نوری)

• این الزامات در آشکارسازهای نوری ساخته شده از مواد نیمه هادی به بهترین وجه یافت می شوند.



مشخصات مهم گیرنده

بخش الکترونیک

- سطوح خروجی الکتریکی
- نرخ بیت و نوع کدینگ دیتا
- احتمال خطا یا نرخ خطا

بخش نوری

- محدوده طول موج کار
- حساسیت گیرنده برای یک نرخ خطا یا سیگنال به نویز مشخص
- نوع کانکتور یا نوع **Pigtail**
- محدوده توان ورودی قابل قبول (**Dynamic Range**)

اعداد نمونه ای از حساسیت و حد اکثر و محدوده توان ورودی گیرنده

- حد اقل قدرتی که با کمتر از آن گیرنده قادر به آشکارسازی اطلاعات نیست حساسیت گیرنده نامیده می شود.
- حداکثر قدرتی که اگر بیش از آن به گیرنده اعمال شود باعث آسیب رساندن به آن می شود به نام **Overload Power** یا **Maximum Input Power** شناخته می شود.
- اختلاف بین حد اکثر قدرت (**Overload Power/Maximum input**) و حساسیت گیرنده (**Receiver Sensitivity**) را **Dynamic Range** می نامند.

Data Rate	Sensitivity	Maximum input level	Dynamic Range
Mbits/sec	dBm	dBm	dB
52	-40	-6	34
155	-36	-6	30
622	-29	-7	22

مشخصات دلخواه یک فتودیود

- حساسیت بالا در محدوده طول موج کار (مثلاً از ۱۲۰۰ تا ۱۶۰۰ نانومتر)
- زمان پاسخ دهی کوتاه (Rise Time) – آمادگی برای نرخ ارسال داده های بالا
- نویز کم
- پاسخدهی بالا (Responsivity)
- قدرت تزویج بالا از فیبر
- پایداری مشخصات نسبت به زمان و تغییرات حرارتی
- قابلیت تطبیق با سیستمهای الکترونیکی موجود
- قیمت پایین
- قابلیت اطمینان بالا

دو نوع اصلی آشکارسازهای نوری

- **P**ositive **I**ntrinsic **N**egative (PIN) : Simple, Low Voltage Operation, No inherent Gain, Larger Bandwidth, Low Noise, Low Dark Current, Low Cost, Low Sensitivity
- **A**valanche **P**hoto **D**iode (APD) : More Complex, High Operating Wavelength, Significant Gain, Lower Bandwidth, More Sensitivity, High Noise, High Dark Current, More Sensitivity to Temperature, High Operating Voltage, More Expensive

Types	Spectrum response	Overload Power	Optical Sensitivity
PIN	1100~1600nm	0dBm	-20dBm
APD	1000~1600nm	-9dBm	-28dBm

• می توان تصور کرد یک APD ترکیبی از تقویت کننده و PIN است.

تفاوت مواد استفاده شده برای فتودیودها

	Silicon	Germanium	InGaAs
Wavelength Range,nm	300-1,100	500-1,800	1000-1,700
Peak Response, nm	800	1,550	1,700
Pk Responsivity, A/W	0.5	0.7	0.9
Dark Current, nA	1	200	10
Typical risetime, ps	500	100	300

• ژرمانیوم فقط موقعی استفاده می شود که لازم باشد همه پنجره های طول موج پوشش داده شوند، معمولا در دستگاههای اندازه گیری توان نوری مورد استفاده هستند.

مقایسه مشخصات دو نوع آشکارساز نوری

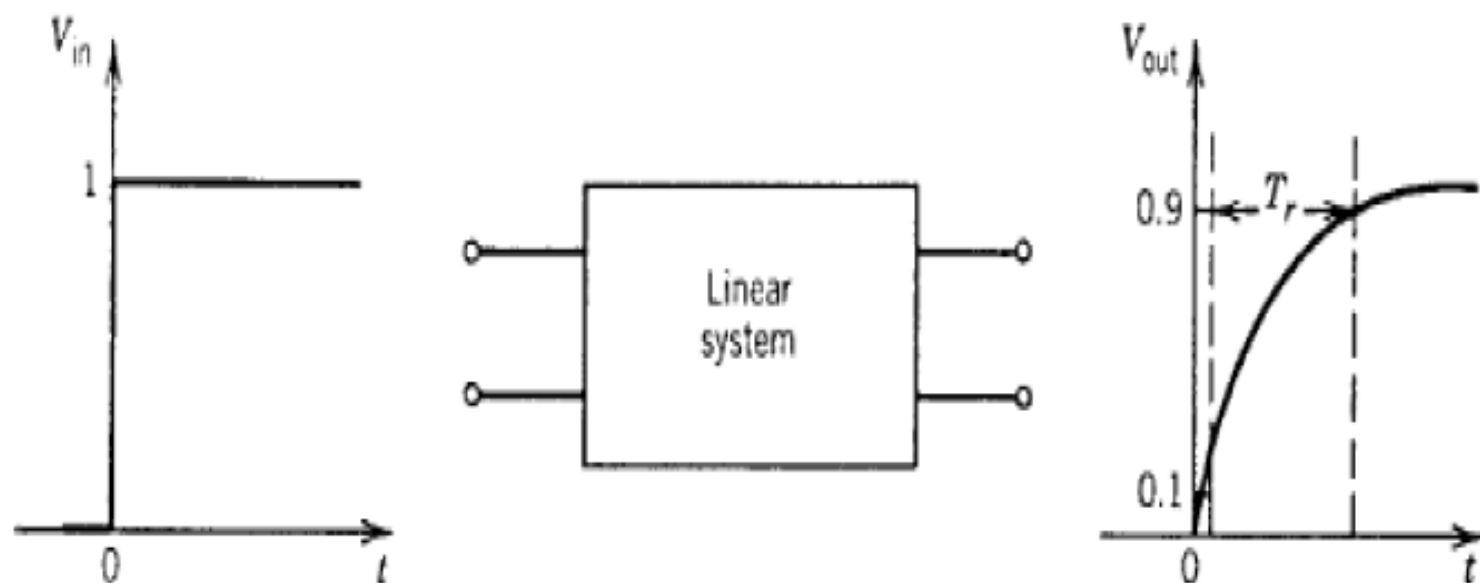
Table 4.1 Characteristics of common $p-i-n$ photodiodes

Parameter	Symbol	Unit	Si	Ge	InGaAs
Wavelength	λ	μm	0.4–1.1	0.8–1.8	1.0–1.7
Responsivity	R	A/W	0.4–0.6	0.5–0.7	0.6–0.9
Quantum efficiency	η	%	75–90	50–55	60–70
Dark current	I_d	nA	1–10	50–500	1–20
Rise time	T_r	ns	0.5–1	0.1–0.5	0.02–0.5
Bandwidth	Δf	GHz	0.3–0.6	0.5–3	1–10
Bias voltage	V_b	V	50–100	6–10	5–6

Table 4.2 Characteristics of common APDs

Parameter	Symbol	Unit	Si	Ge	InGaAs
Wavelength	λ	μm	0.4–1.1	0.8–1.8	1.0–1.7
Responsivity	R_{APD}	A/W	80–130	3–30	5–20
APD gain	M	—	100–500	50–200	10–40
k -factor	k_A	—	0.02–0.05	0.7–1.0	0.5–0.7
Dark current	I_d	nA	0.1–1	50–500	1–5
Rise time	T_r	ns	0.1–2	0.5–0.8	0.1–0.5
Bandwidth	Δf	GHz	0.2–1	0.4–0.7	1–10
Bias voltage	V_b	V	200–250	20–40	20–30

Rise Time- Dark Current



- مدت زمانی که طول می کشد تا سیگنال به ۹۰ درصد حد اکثر خود برسد. هرچه کمتر باشد پهنای باند سیستم بیشتر می شود مقدار ایده آل صفر است. زیاد بودن آن نرخ ارسال داده ها را محدود می کند.
- جریان تاریکی جریانی است که در یک فتودیود در غیاب سیگنال نوری تولید می شود منشأ این جریان، الکترون-حفره هایی هستند که بر اثر حرارت تولید می شوند. در یک فتودیود خوب باید جریان تاریکی هر چه کمتر و در حد کمتر از ۱۰ نانو آمپر باشد.

Quantum Efficiency- Responsivity

- بازدهی کوانتومی (Quantum Efficiency): نسبت فتونهای تابیده شده ای که انرژی کافی برای آزادسازی الکترون را دارند.

- معمولا بازدهی کوانتومی برای طول موج ۸۵۰ نانومتر در حدود ۴۵ درصد است.
- بازدهی کوانتومی را با علامت η نشان می دهند.

- پاسخدهی (Responsivity): نسبت جریان متوسط خروجی به قدرت متوسط نوری ورودی لذا واحد آن A/W است.

- برای طول موج ۸۵۰ نانومتر این عدد معمولا ۰.۵ است یعنی به ازای یک میلی وات قدرت نوری ورودی ۰.۵ میلی آمپر جریان خروجی داریم.
- معمولا با علامت R_0 آن را نشان می دهند.

- R_0 can be expressed as:

$$R_0 = \frac{\eta e}{h f}$$

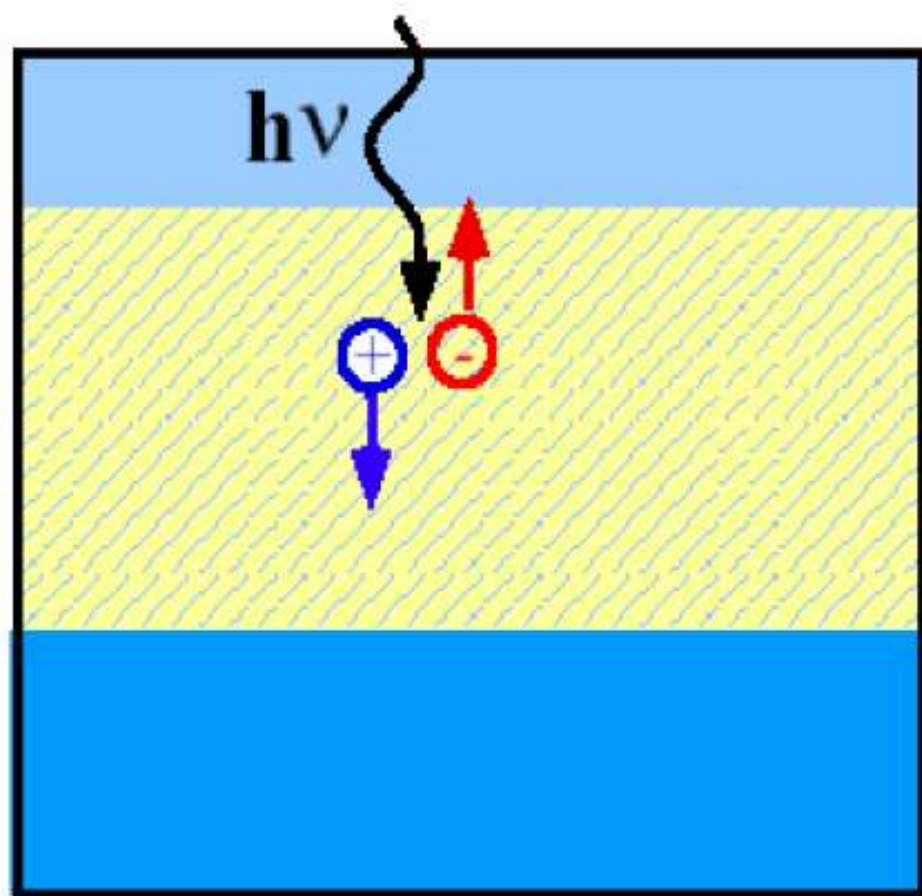
hence: $I_p = R_0 P_{opt}$ (pin diode)

$$I_p = M R_0 P_{opt} \text{ (APD)}$$

I_p is the photodiode current

ساختار آشکارساز نوری

فوتونهای نور جفت الکترون-حفره در ناحیه **depletion** ایجاد می کند.



reverse biased pn junction

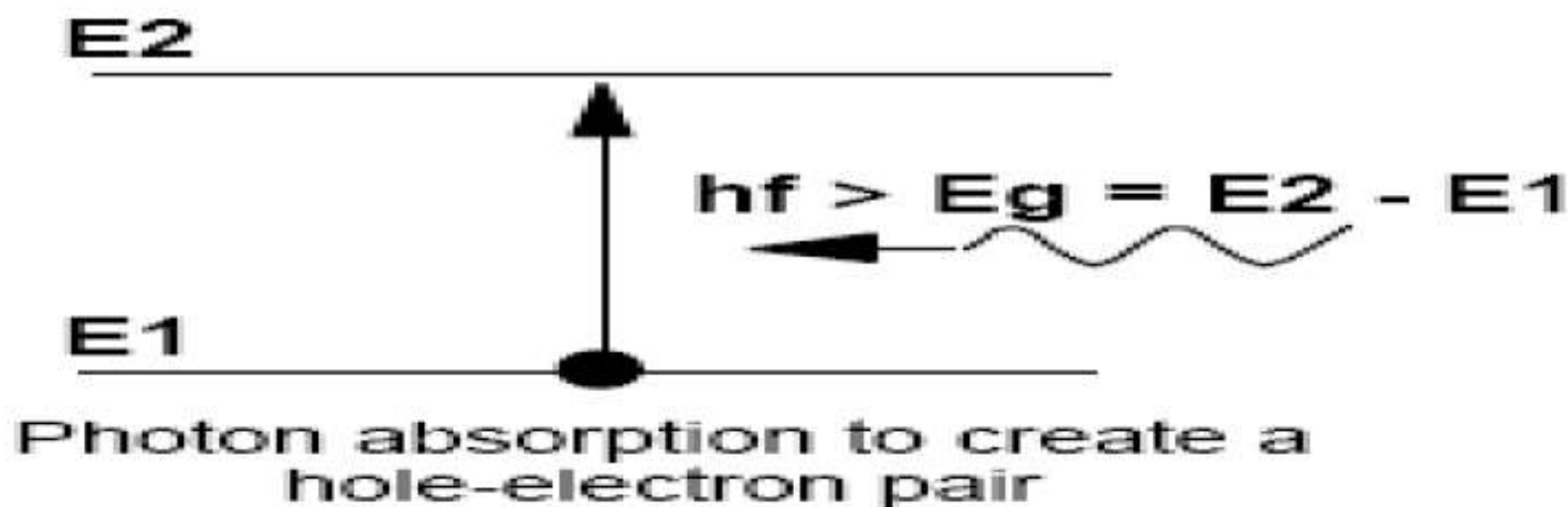
 p: type Window Layer

 Depletion Region

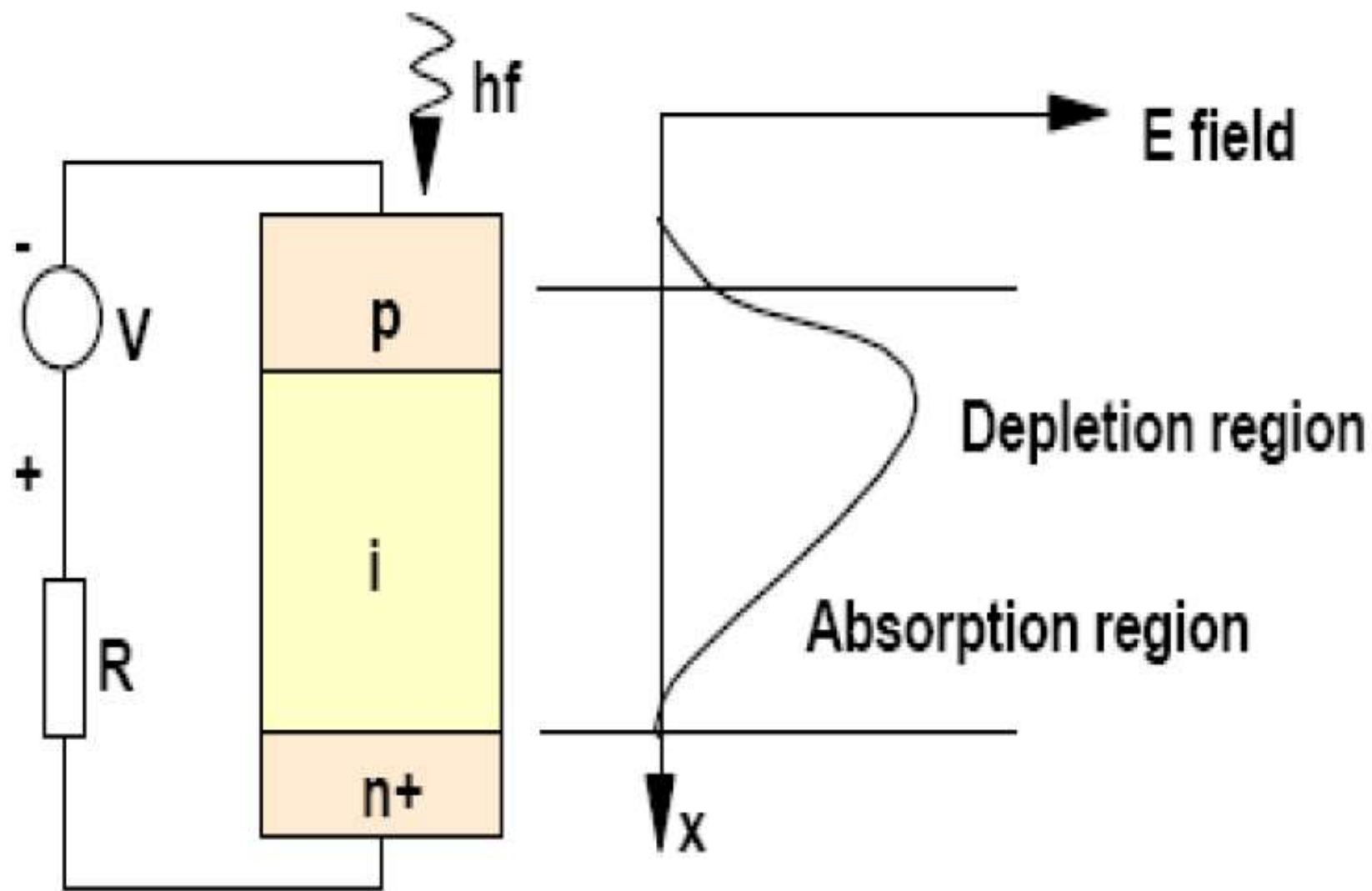
 n: type Substrate

نحوه آشکارسازی نور با فتو دیود

- Absorption of photons in a photodiode with a suitable bandgap energy causes an electron to move from the valence band to the conduction band.
- Absorption most likely in or near the depletion region.
- Generated carriers are swept out of the device to form an current in an external circuit.

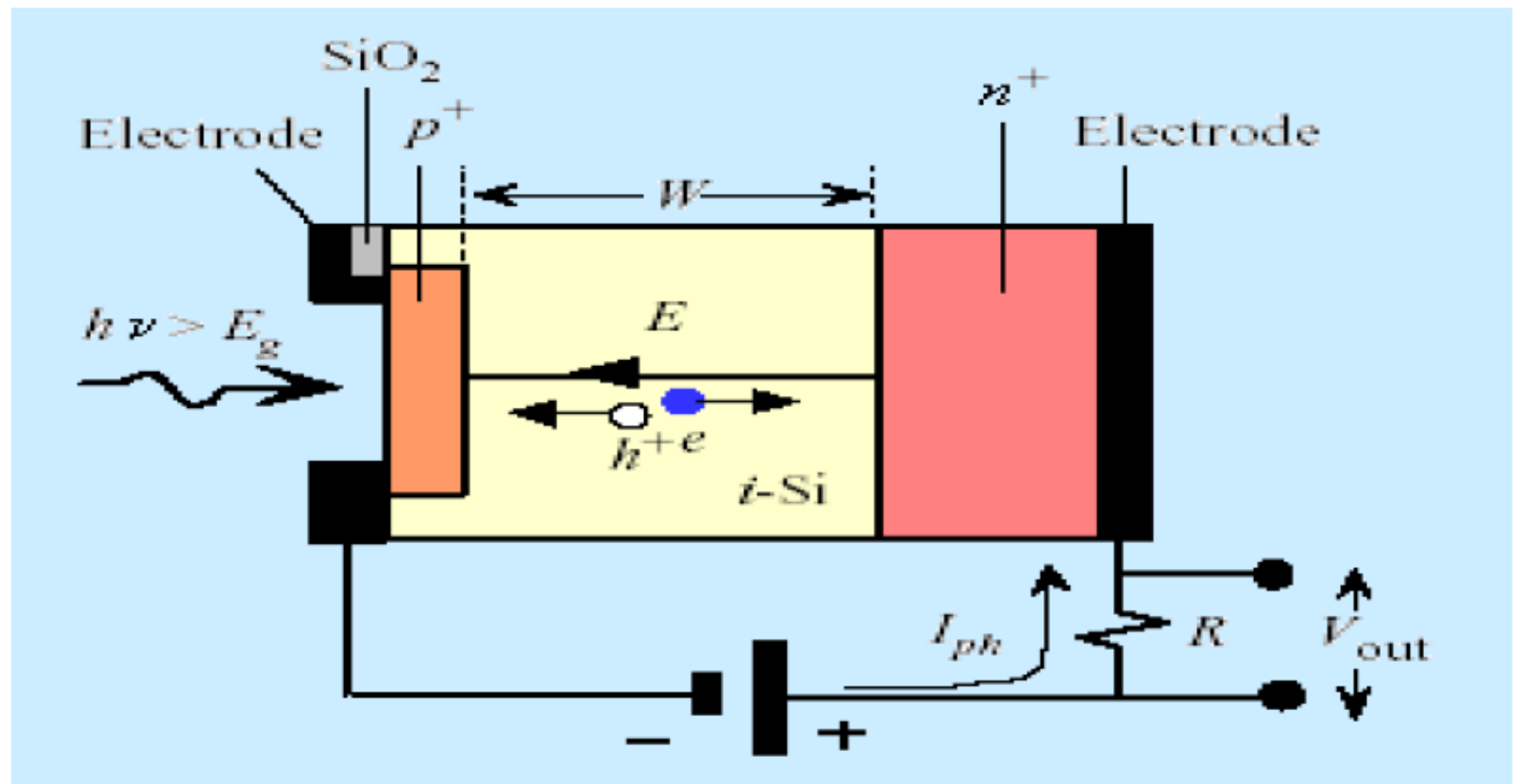


PiN Photodiodes

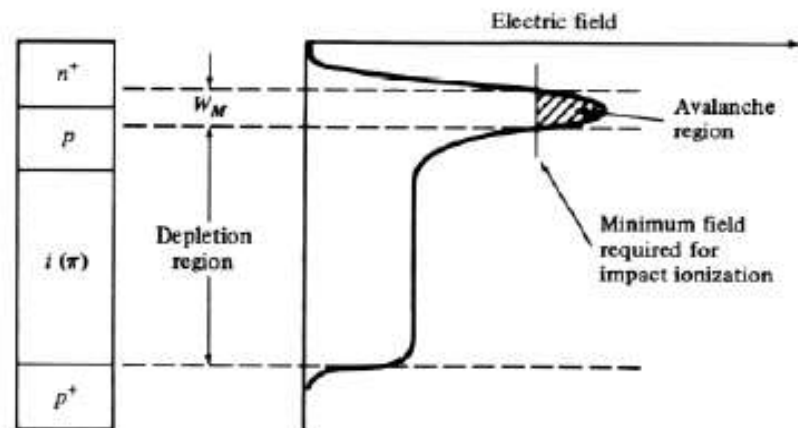
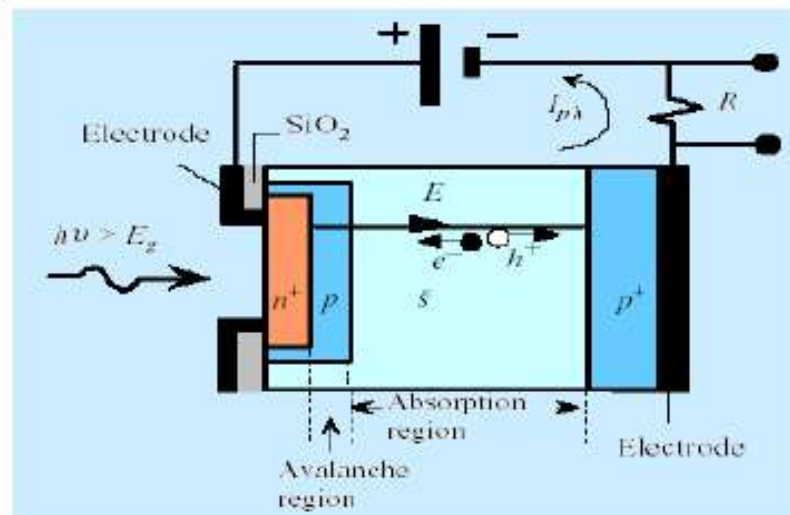


PIN diodes

consists of an intrinsic (lightly doped) region sandwiched between a p-type and an n-type.



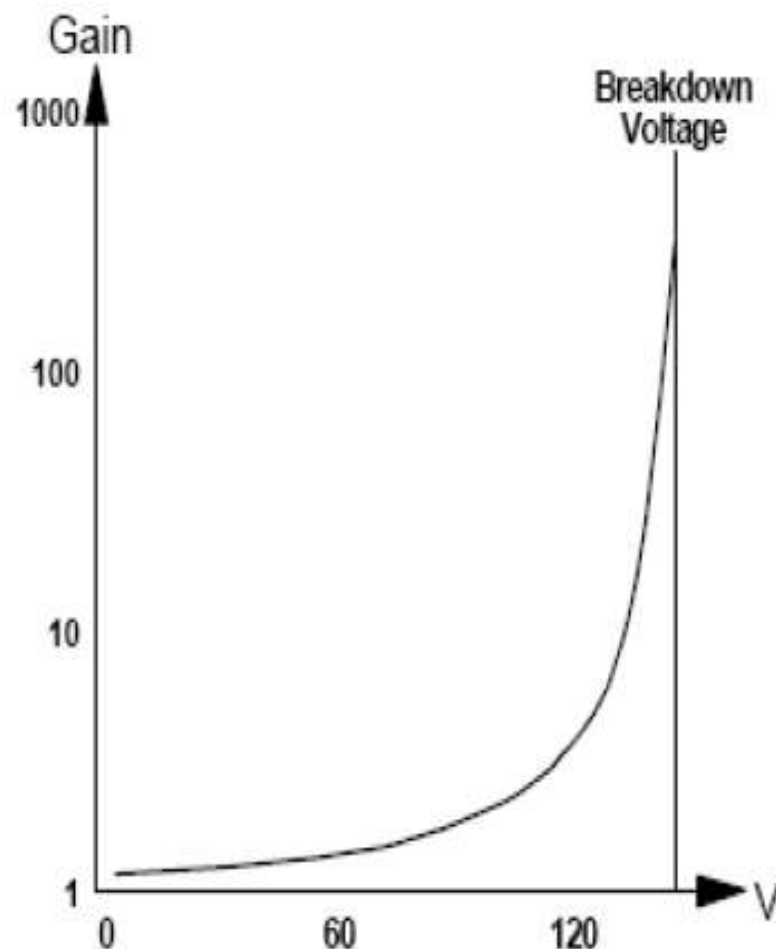
Avalanche Photodiodes (APDs)



- Provides internal gain, so that one photon can produce many hole-electron pairs. Gains as high as 10^4 possible.
- High field region is created within the device, in addition to a depletion / absorption region.
- In the high field region hole-electron pairs create new hole-electron pairs by impact ionization, leading to avalanche gain.
- Reverse bias of about 30-200 volts required. Older devices tend to need higher bias voltages for a given gain.

Gain and Reverse Voltage in an APD

- Gain is measured with respect to the number of hole-electron pairs created at low voltages, where no gain takes place.
- Beyond the breakdown voltage the avalanche becomes self-sustaining.
- Achieving a high gain means operating close to the breakdown voltage.
- Damage to the device may result if the breakdown voltage is exceeded.



Gain versus reverse bias voltage for an Avalanche Photodiode

APD Gain

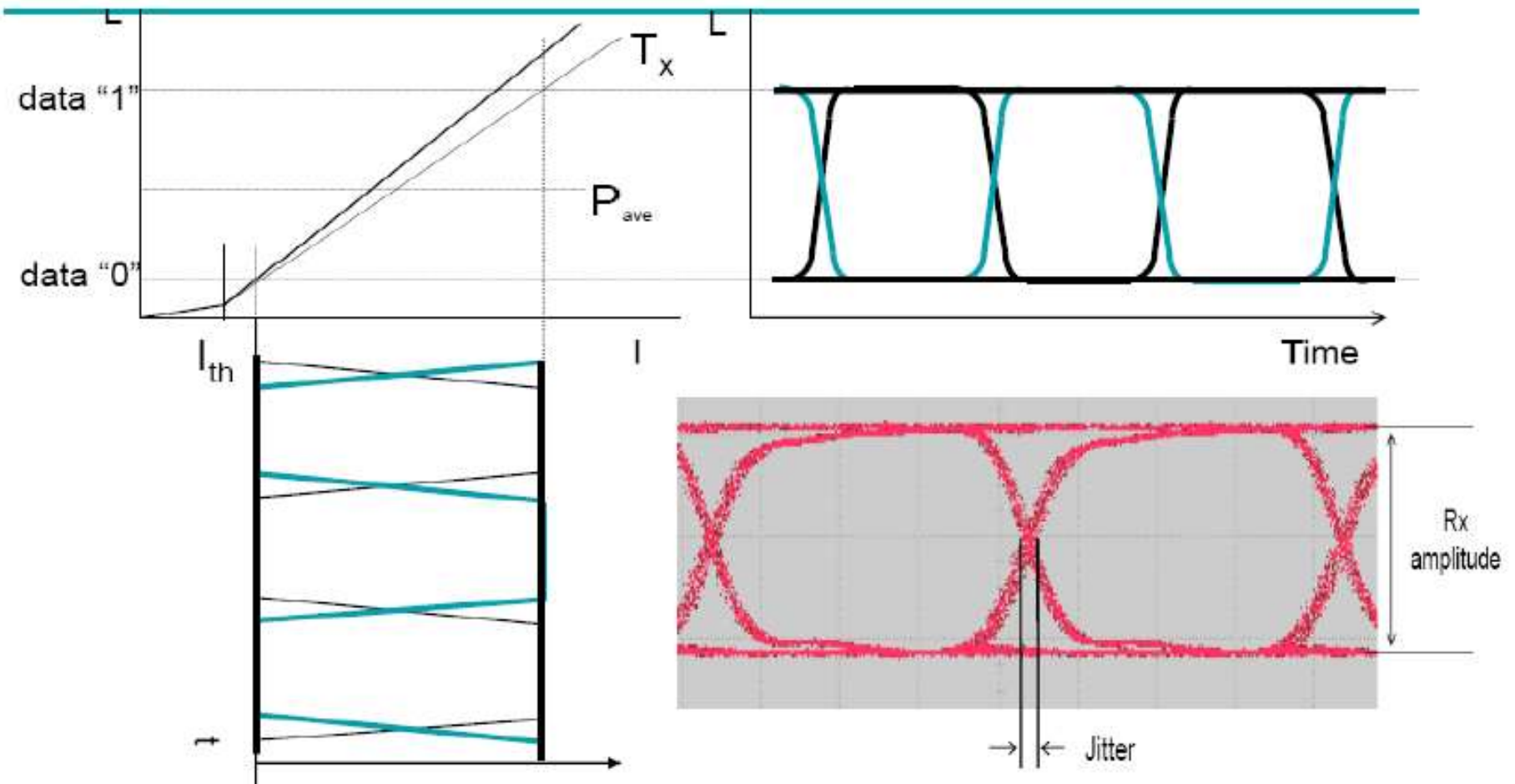
- **Gain** is the multiplication of the primary photon current.
- The gain is defined as the ratio of the output current at an operating voltage to the current at a low voltage.
- Symbol is normally M , defined by:

$$M = \frac{1}{1 - \left[\frac{V_d}{V_{br}} \right]^x}$$

- ▶ V_d is the applied voltage, V_{br} is the breakdown voltage
- ▶ x is the gain coefficient which can be measured experimentally
- ▶ Value of x for a typical InGaAs APD is 3.4

- **Gain-voltage characteristic** is temperature dependent.
- **Generally breakdown voltage decreases with temperature**, since charge carriers combine more readily at high temperatures, reducing probability of secondary carriers

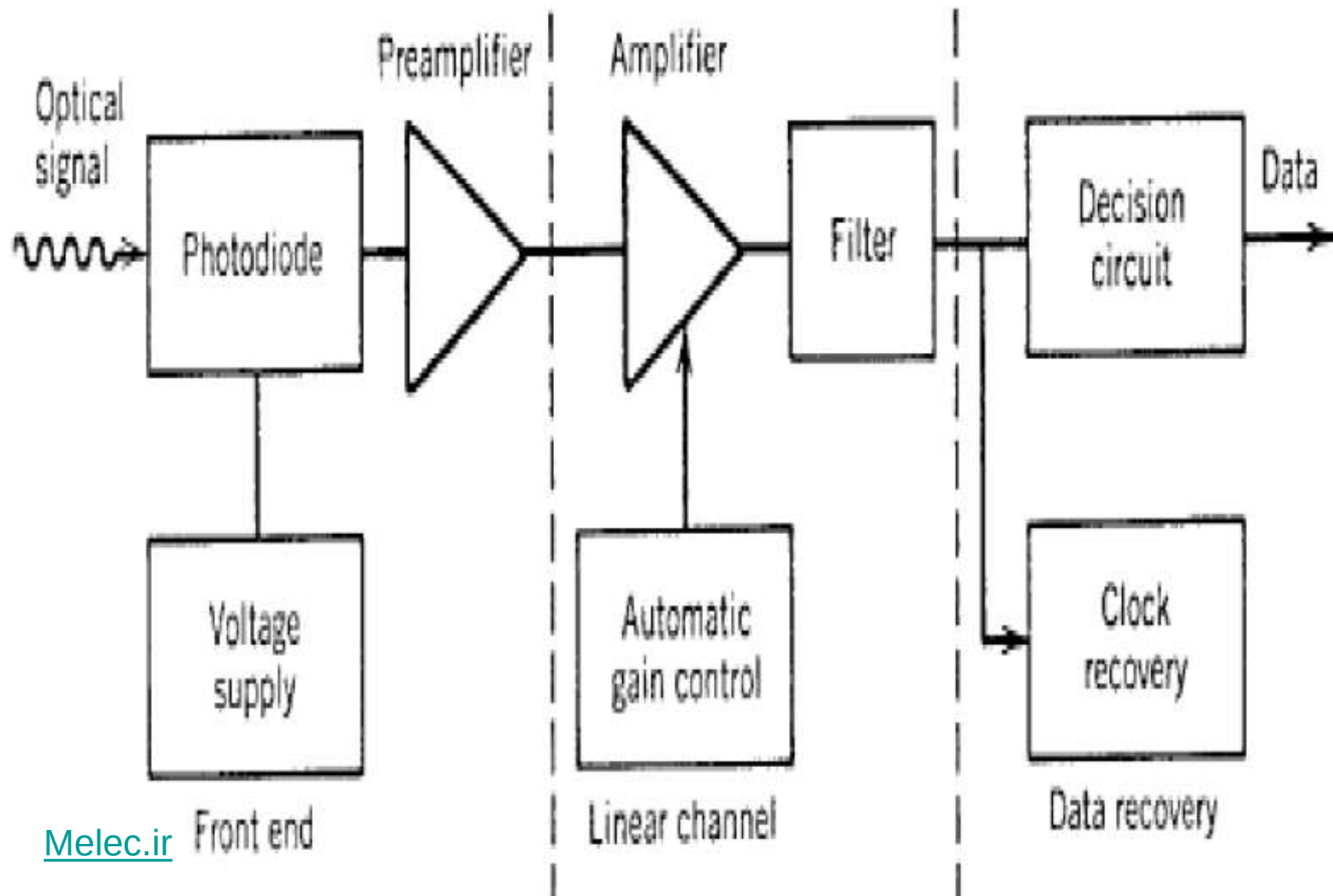
نحوه تشکیل دیاگرام چشمی (Eye Pattern)



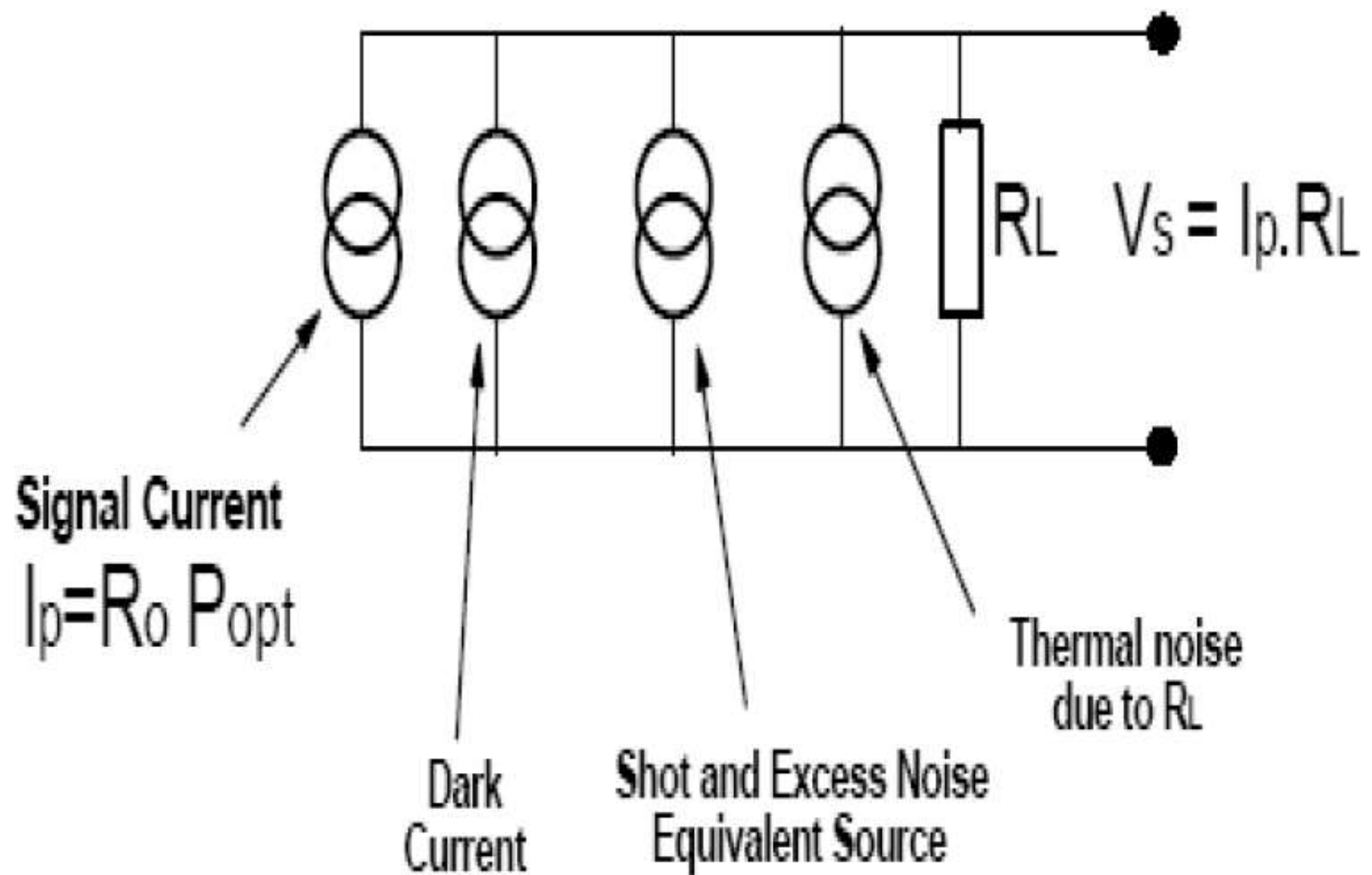
◆ Rx amplitude (mV)

◆ Rx jitter (ps)

بلوک دیاگرام گیرنده



مدار معادل یک آشکارساز نوری



تقویت کنندۀ های نوری

تقویت کننده نوری

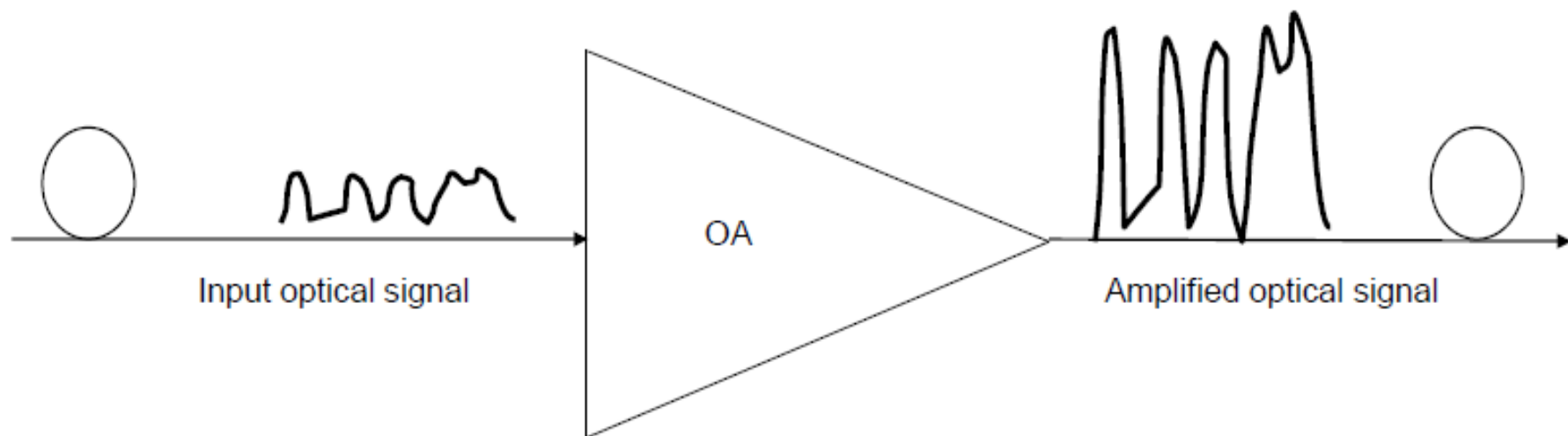
تقویت کننده نوری ، قدرت نور را افزایش می دهد.

-بطور کلی دو دسته تقویت کننده نوری وجود دارد:

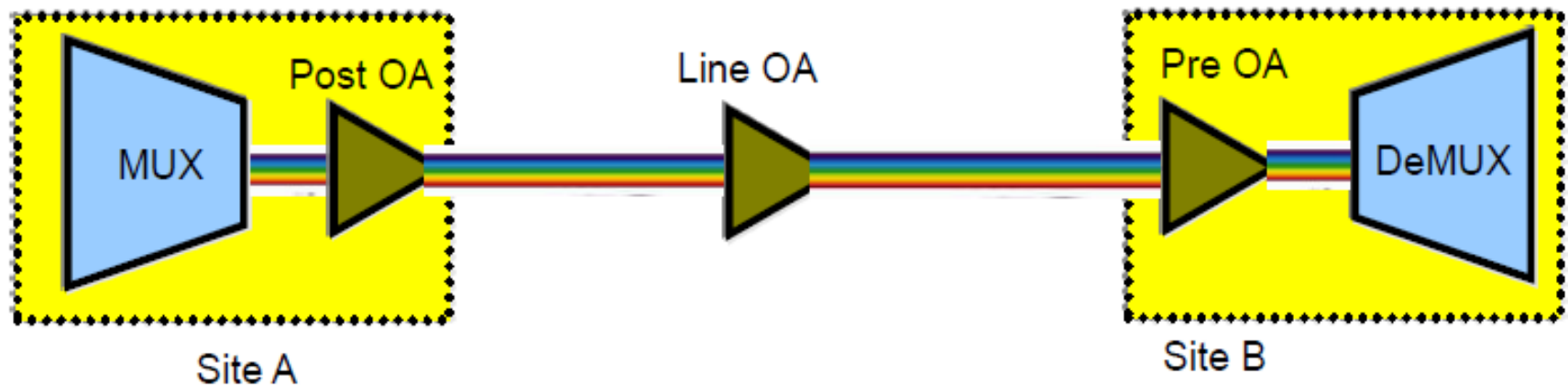
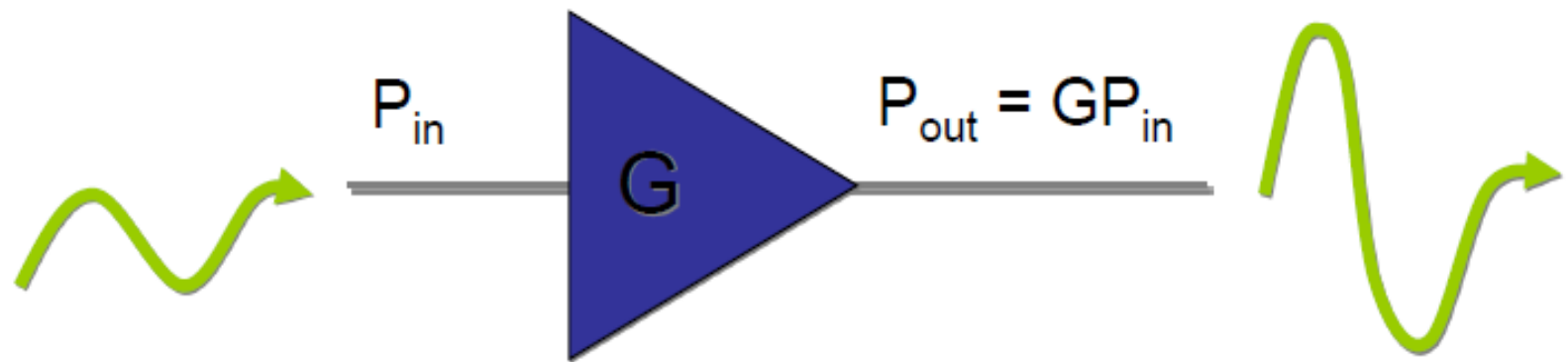
تقویت کننده نوری نیمه هادی (Semiconductor Optical Amplifier : SOA)
تقویت کننده نوری فیبری (Fibre Optical Amplifier)

- در حال حاضر تقویت کننده های نوری فیبری متداولتر هستند.

- پایه ای ترین عنصر برای سیستم های DWDM است.

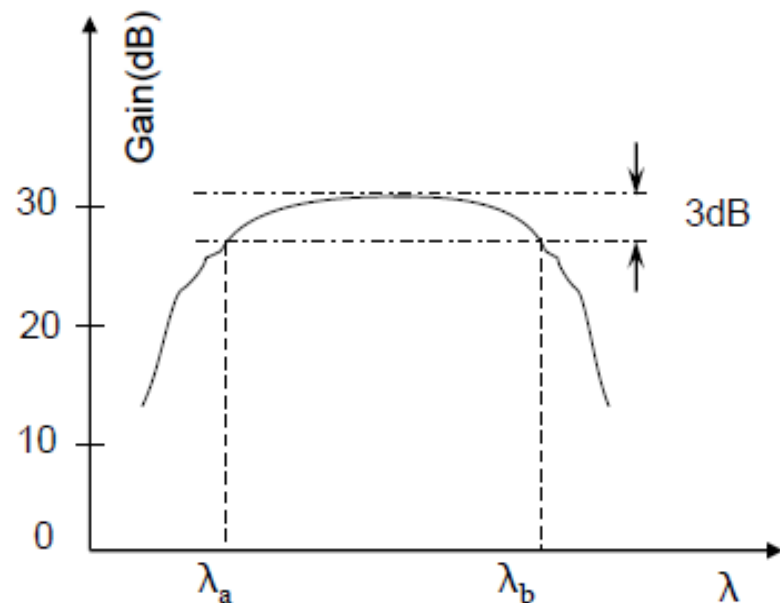
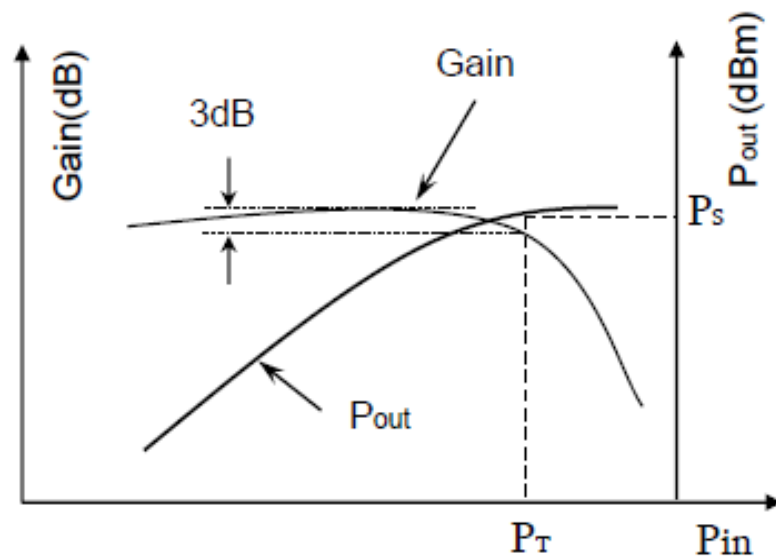


موقعیتهای یک تقویت کننده نوری



- Booster/Post/Power Amplifier: BA
- In-Line Amplifier: ILA
- Pre-Amplifier: PA

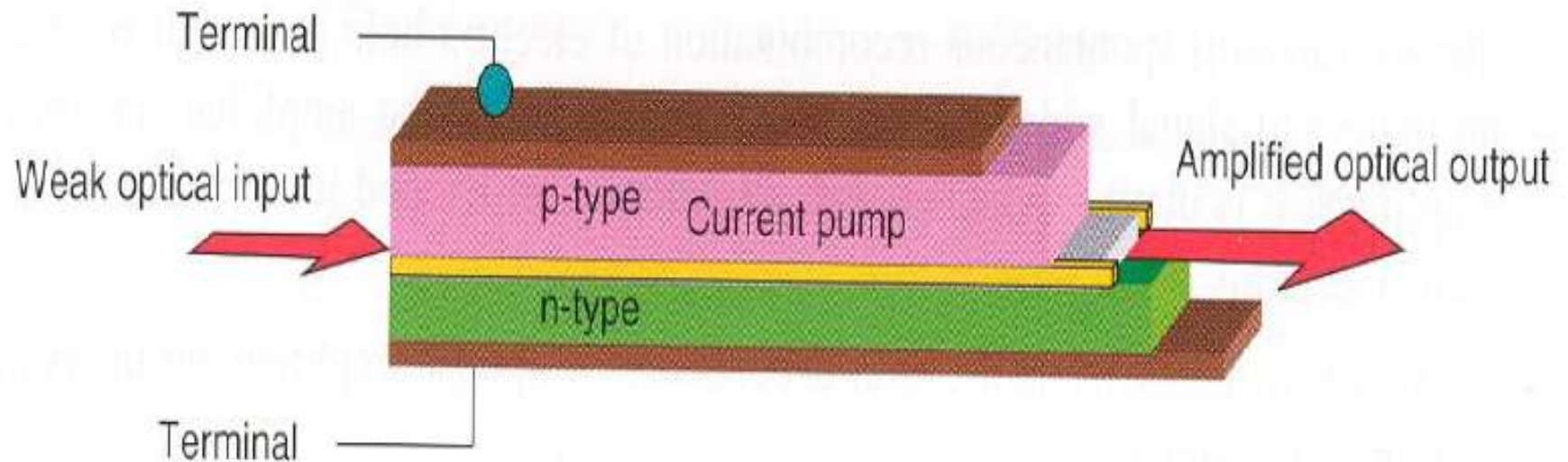
پارامترهای یک تقویت کننده های نوری



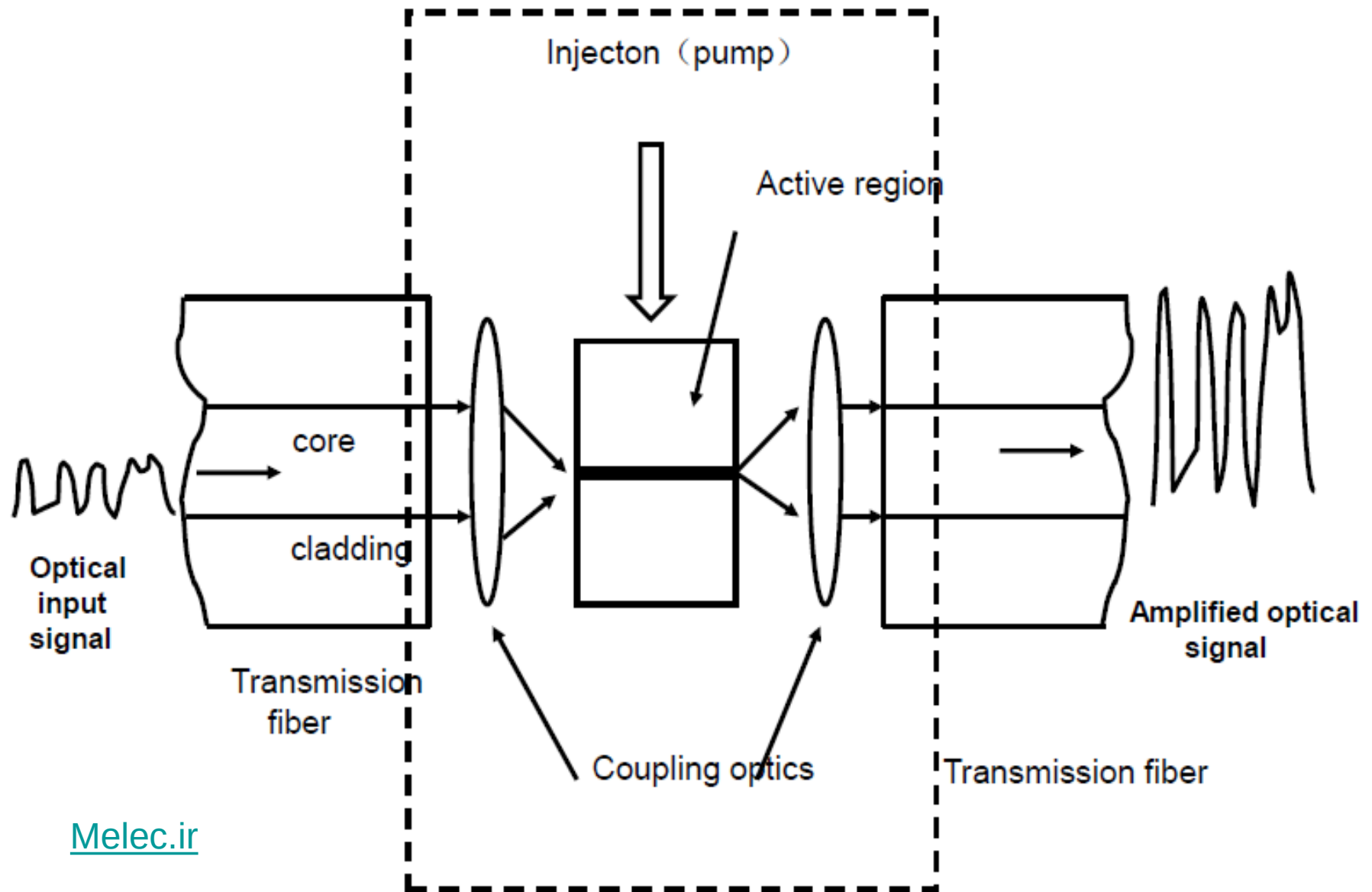
- Gain گین
- Noise Figure عدد نویز
- Gain bandwidth پهنای باند گین
- Saturated output power توان خروجی اشباعی

Semiconductor Optical Amplifiers (SOA)

ساختار کاملاً مشابه لیزر فابری پرو است اما در دو انتهای آن انعکاس نداریم لذا محدوده طول موج محدود نمی شود. در دو محدوده ۱۳۱۰ و ۱۵۵۰ نانومتر کار می کند (۱۲۸۰ تا ۱۳۴۰ و ۱۵۳۰ تا ۱۵۷۰ نانومتر)



Principle of Semiconductor Optical Amplifiers



مزایا و معایب اصلی SOA

مزایا

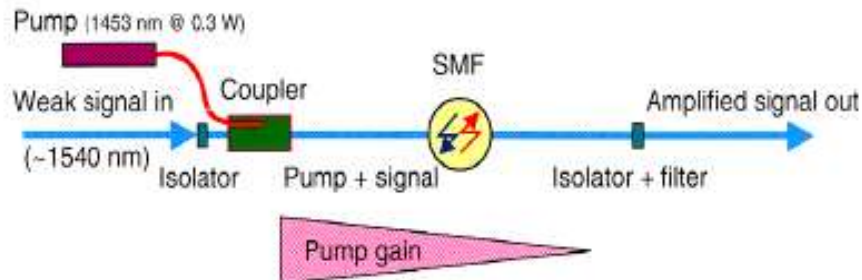
- امکان عملکرد در دو محدوده ۱۳۱۰ و ۱۵۵۰ نانومتر حتی بطور همزمان
- پهنای باند وسیع تا ۱۰۰ نانومتر
- آسانی مجتمع سازی با بقیه قطعات نیمه هادی در روی یک چیپ بصورت IC های اپتوالکترونیک

معایب

- همشنوایی نسبتا زیاد
- حساسیت به پلاریزاسیون
- حساسیت بالای حرارتی

تقویت کننده Raman

- تقویت کننده های Raman از اثر پراکنش برانگیخته رامن (*stimulated Raman scattering (SRS)*) که در فیبرهای سیلیکا اتفاق می افتد برای تقویت استفاده می کنند.
- تفاوت پدیده SRS با تابش برانگیخته بنیادی است و این است که در حالت تابش برانگیخته یک فوتون تابیده شده باعث برانگیختن یک فوتون مشابه دیگر می شود بدون اینکه انرژی خود را ازدست بدهد.
- در حالت SRS فوتون پمپ تابیده شده انرژی خود را از دست می دهد تا یک فوتون دیگر با انرژی کمتر در فرکانس پایین تر تولید کند. مابقی انرژی فوتون تابیده شده توسط محیط جذب می شود.
- معمولاً از روشی بیشتر استفاده می شود که اشعه نوری پمپ و سیگنال در جهات خلاف هم حرکت می کنند.
- فرکانسهای پمپ و سیگنال که به ترتیب برابر ω_p و ω_s هستند توسط یک کاپلر به فیبر نوری تزریق می شوند.
- در تقویت رامن از فیبر معمولی استفاده می شود ولی قدرت پمپ بالایی لازم دارد.
- تقویت کننده در طول موجهای ۱۳۱۰ و ۱۵۵۰ نانومتر کار می کند و طیف گین وسیعی دارد.

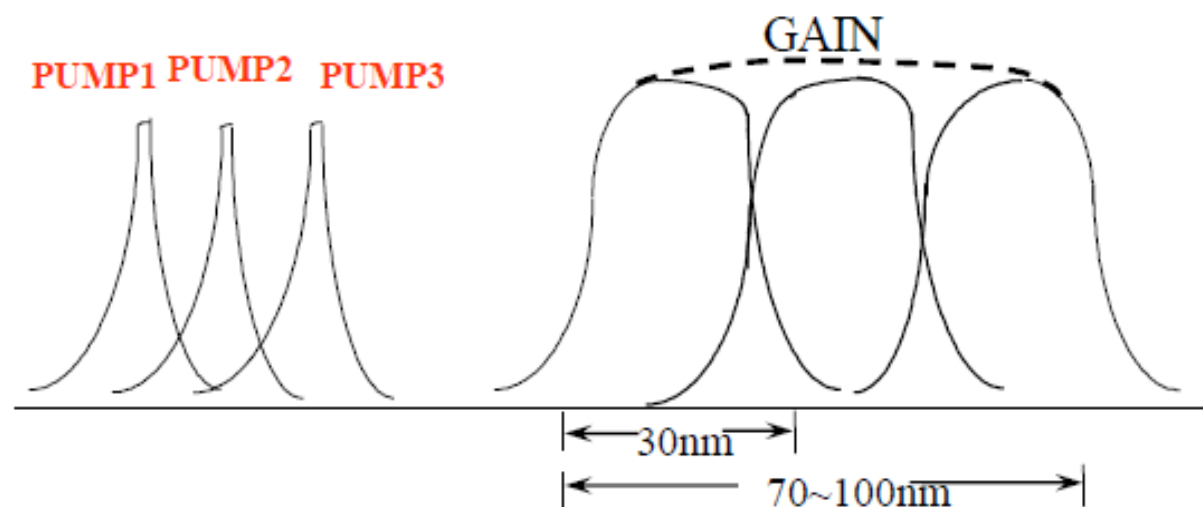


مزایا و معایب اصلی RFA

- مزیت: طول موج تقویت با طول موج نور پمپ قابل تغییر است.
- مزیت: محیط گین خود فیبر نوری استفاده شده برای انتقال است.
- مزیت: نویز کم است.

معایب

قدرت پمپ زیاد
لازم است در
واقع بازدهی
کم است پس
قیمت بالاست



مزایا و معایب اصلی EDFA

مزایا

- طول موج کار منطبق بر طول موج ناحیه کم تلفات فیبر است
- بازدهی تزویج بالای نور چون محیط فیبر است مثل رامن
- بازدهی تبدیل انرژی بالا
- گین بالا - عدد نویز پایین - قدرت خروجی بالا و همشنوایی کم
- مشخصات گین پایدار

معایب

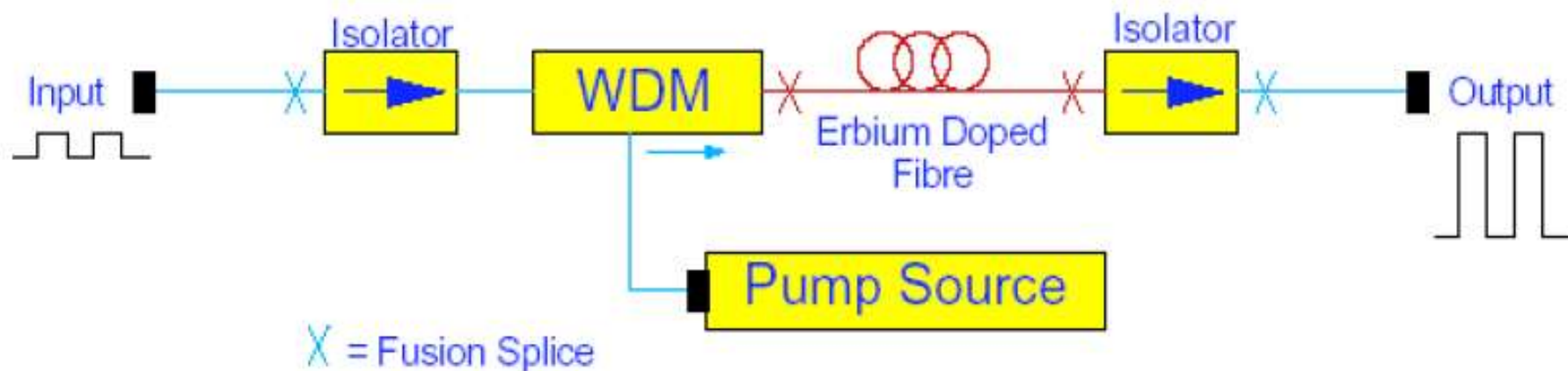
- طیف گین ثابت است
- نایکنواختی گین نسبت به طول موج

مقایسه سه نوع تقویت کننده نوری

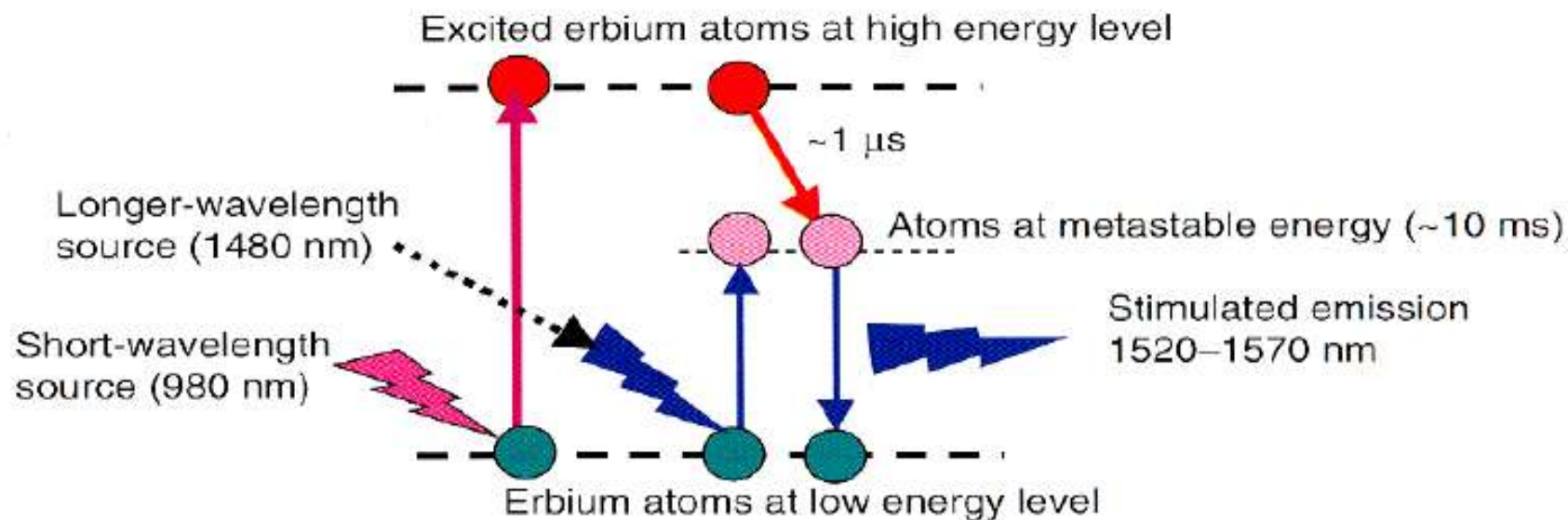
Type	EDFA	SOA	Raman
Maturity	Very mature	Not mature	mature
Gain	زیاد	متوسط	متوسط
پهنای باند	وسیعتر	وسیع	خیلی وسیع
Coupling efficiency	بالا	پائین	بالا
قیمت	متوسط	بالا	خیلی بالا

Erbium Doped Fibre Amplifier (EDFA)

- یک سیگنال نوری بعنوان پمپ به سیگنال ورودی با استفاده از **WDM Coupler** اضافه می شود.
- در داخل **Erbium Doped Fibre** قسمتی از انرژی سیگنال پمپ بر اثر پدیده تابش برانگیخته (**Stimulated Emission**) به سیگنال ورودی منتقل می شود.
- ماده افزوده شده برای کار در طول موج ۱۵۵۰ نانومتر **Erbium** است و عناصر دیگری از مجموعه خاکهای نادر می توانند برای طول موج های دیگر بکار روند.
- طول موج سیگنال پمپ می تواند ۹۸۰ یا ۱۴۸۰ نانومتر باشد.
- توان سیگنال پمپ در حد ۵۰ میلی وات است.
- گین در محدوده ۳۰ تا ۴۰ دسیبل امکان پذیر است.



خاصیت پمپ ها

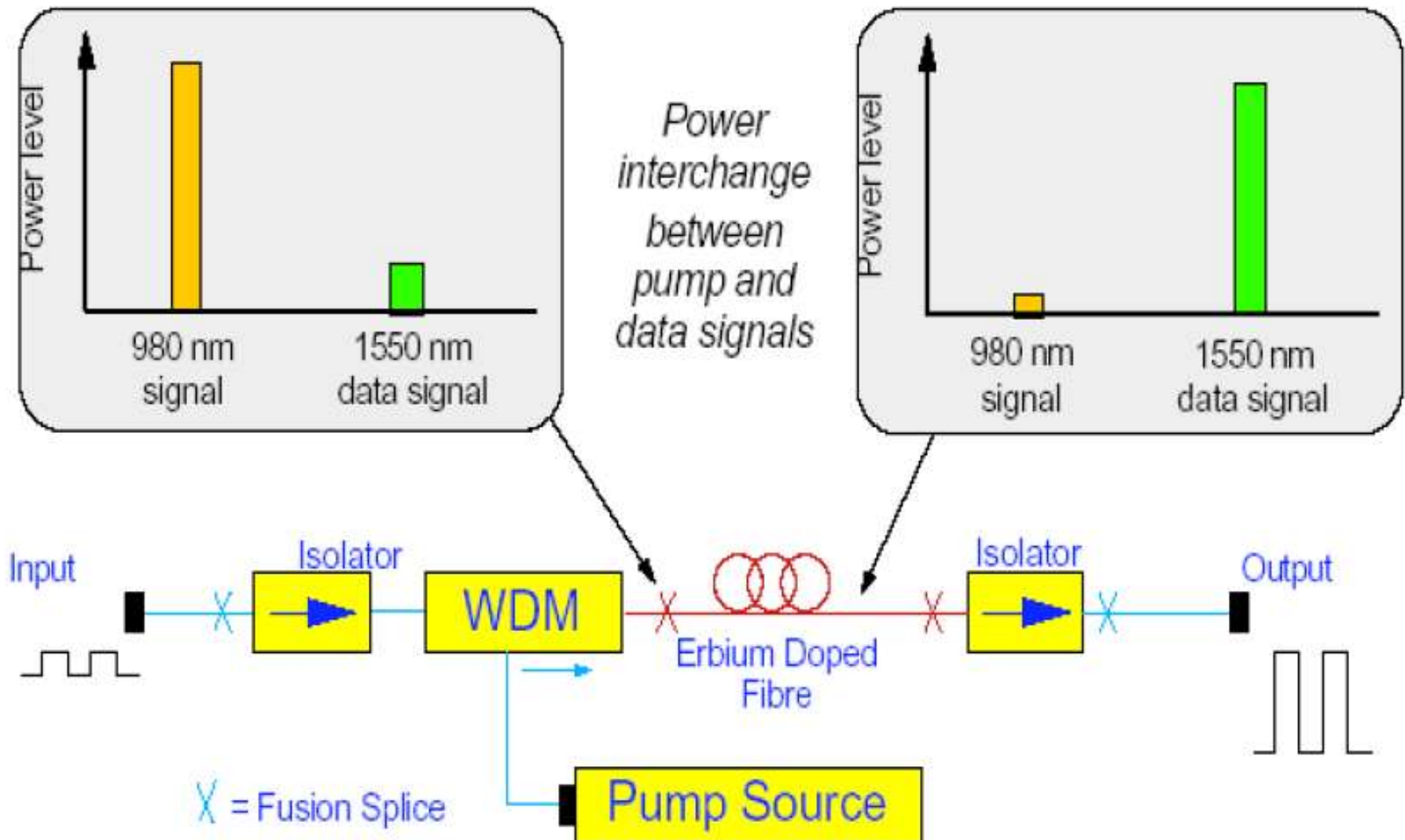


Inversion- بالاتر با پمپ ۹۸۰ نانومتر و بازدهی کوانتومی بالاتر با پمپ ۱۴۸۰ نانومتر بدست می آید.

- سطح بالاتر **Inversion** عدد نویز پایین تری بدست می دهد در حالی که سطح پایین تر **Inversion** باعث بازدهی بالاتر در تبدیل فوتونهای پمپ به سیگنال می شود.

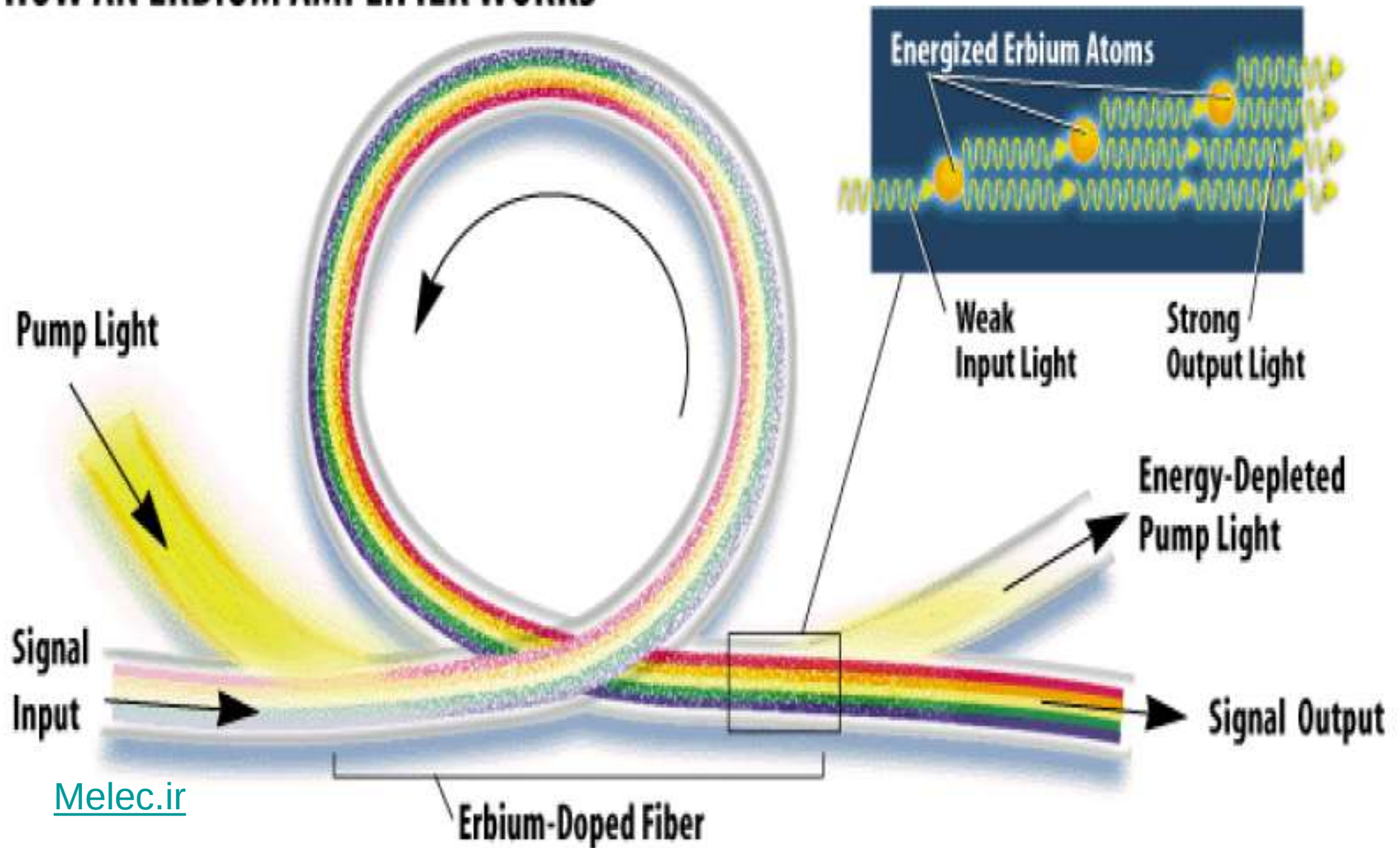
- برای بدست آوردن هر دو مزیت عدد نویز پایین و بازدهی بالا تعداد طبقات گین دو یا بیشتر مورد استفاده قرار می گیرد. در این حالت معمولا طبقه ورودی **Inversion** بالا و طبقه خروجی **Inversion** پایین دارد. یعنی طبقه ورودی پمپ ۹۸۰ و طبقه خروجی پمپ ۱۴۸۰ استفاده می شود.

طرز کار EDFA

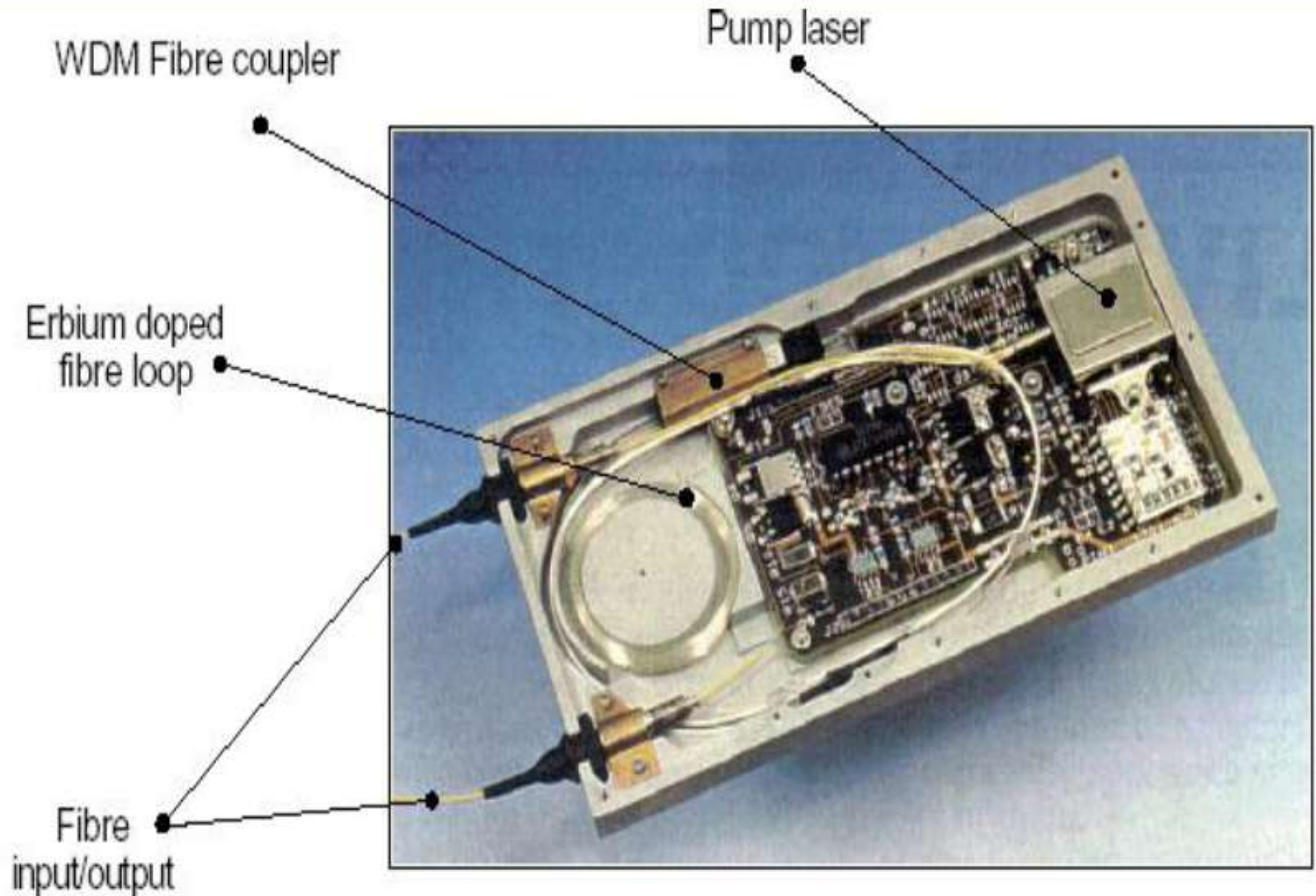


نمایش گرافیکی طرز کار EDFA

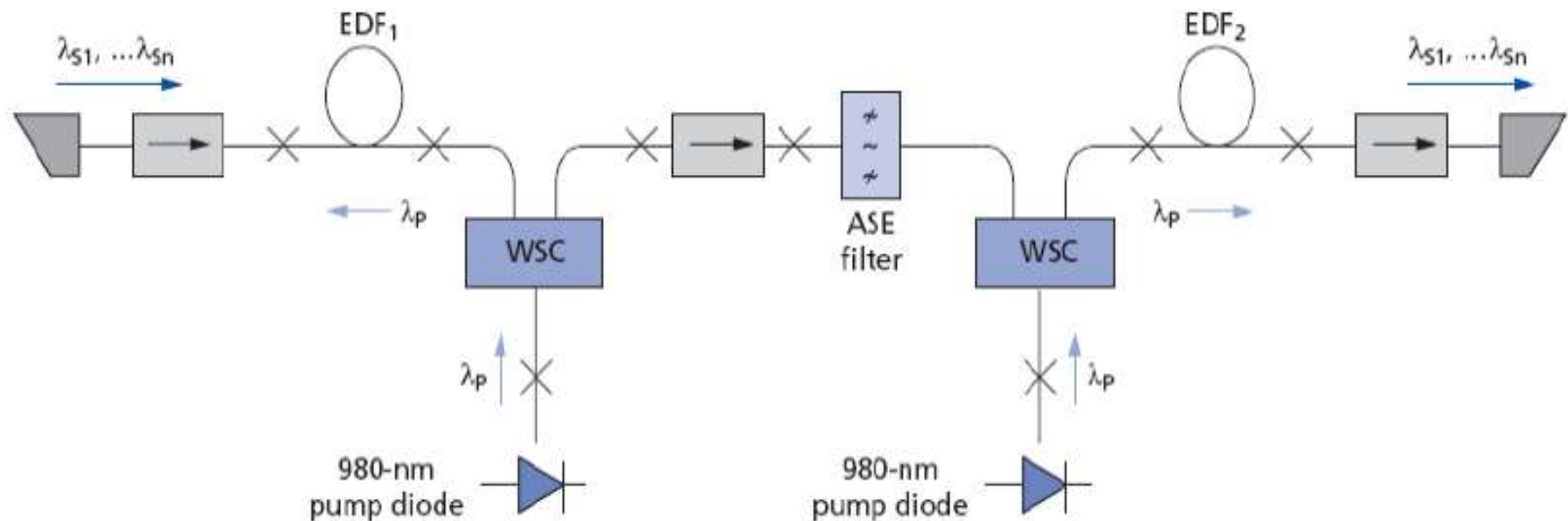
HOW AN ERBIUM AMPLIFIER WORKS



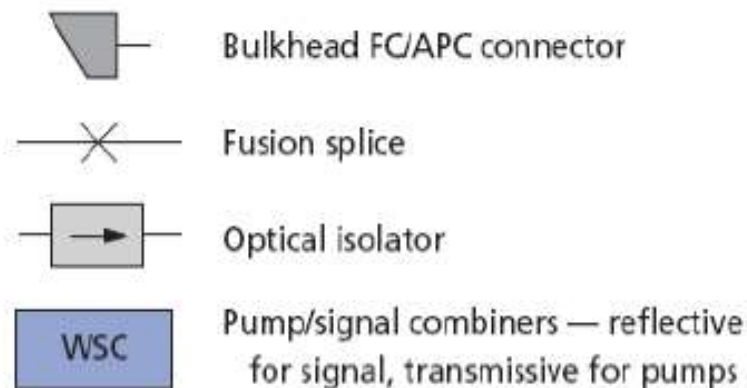
نمای داخلی یک EDFA



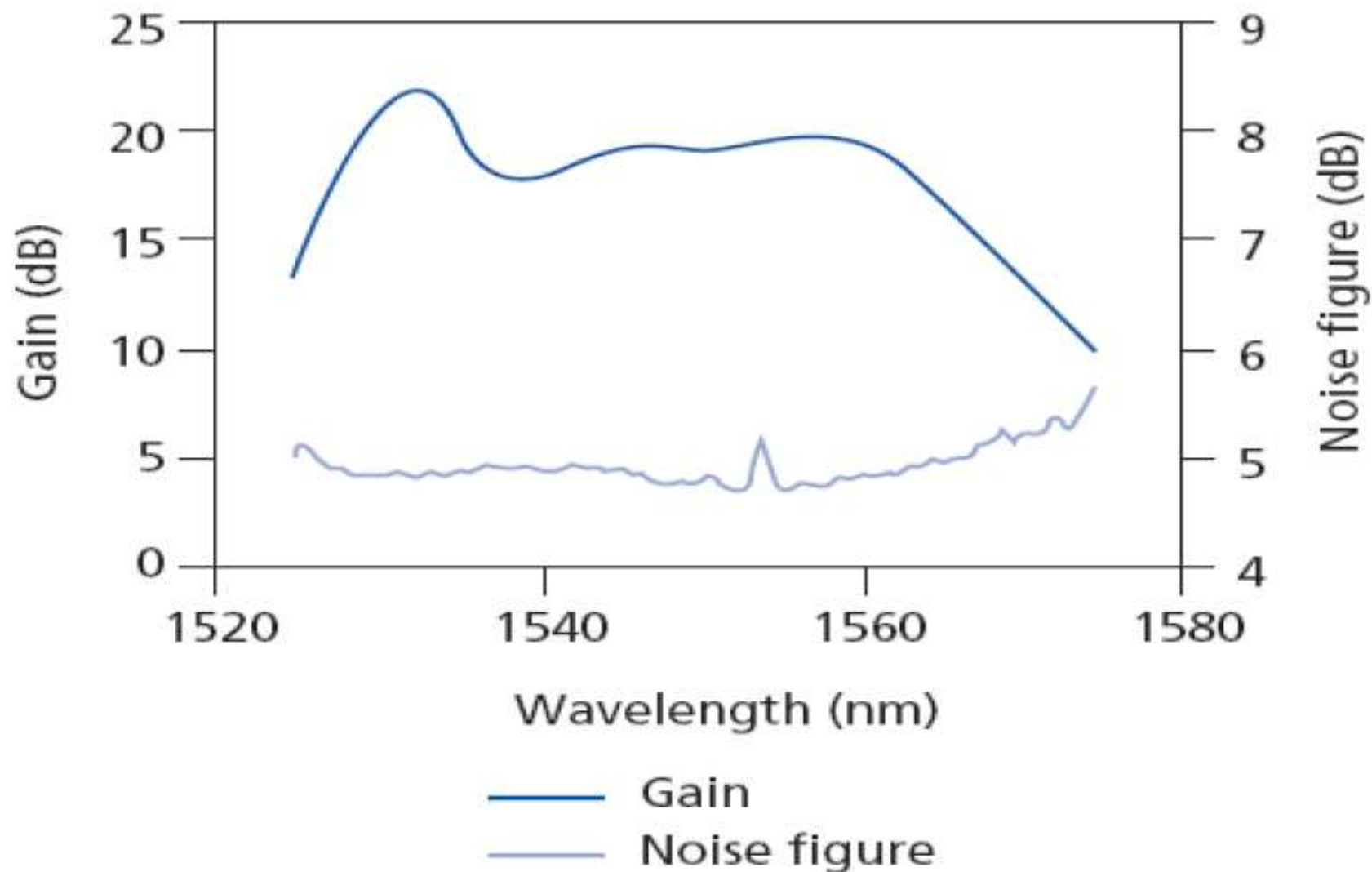
دیاگرام کلی تقویت کننده EDFA دو طبقه با نویز کم و قدرت خروجی بالا



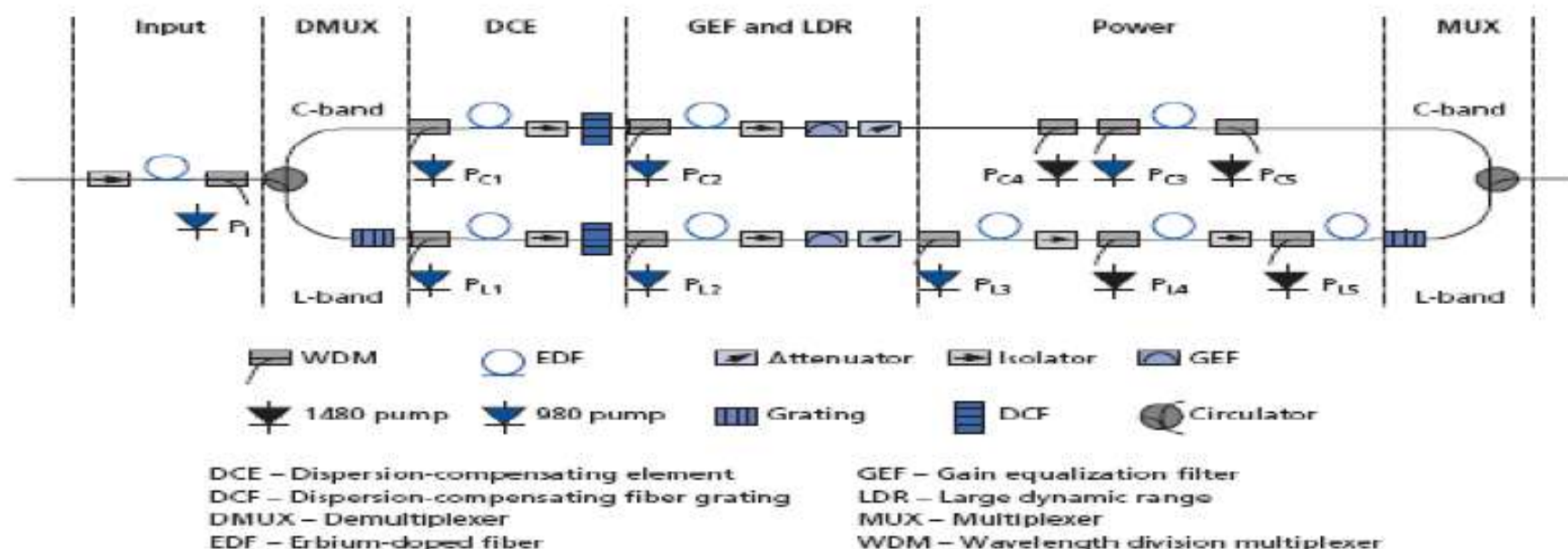
ASE – Amplified spontaneous emission
 EDF – Erbium-doped fiber
 WSC – Wavelength-selective coupler



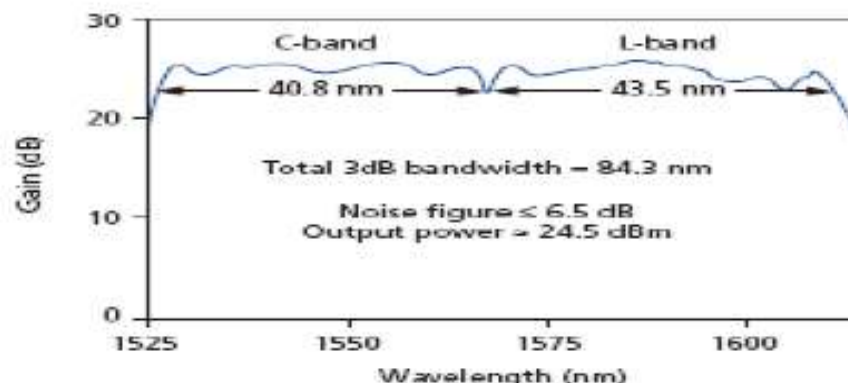
گین و عدد نویز تقویت کننده EDFA دو طبقه



تقویت کننده EDFA برای دو باند C و L



(a) Split-band amplifier schematic

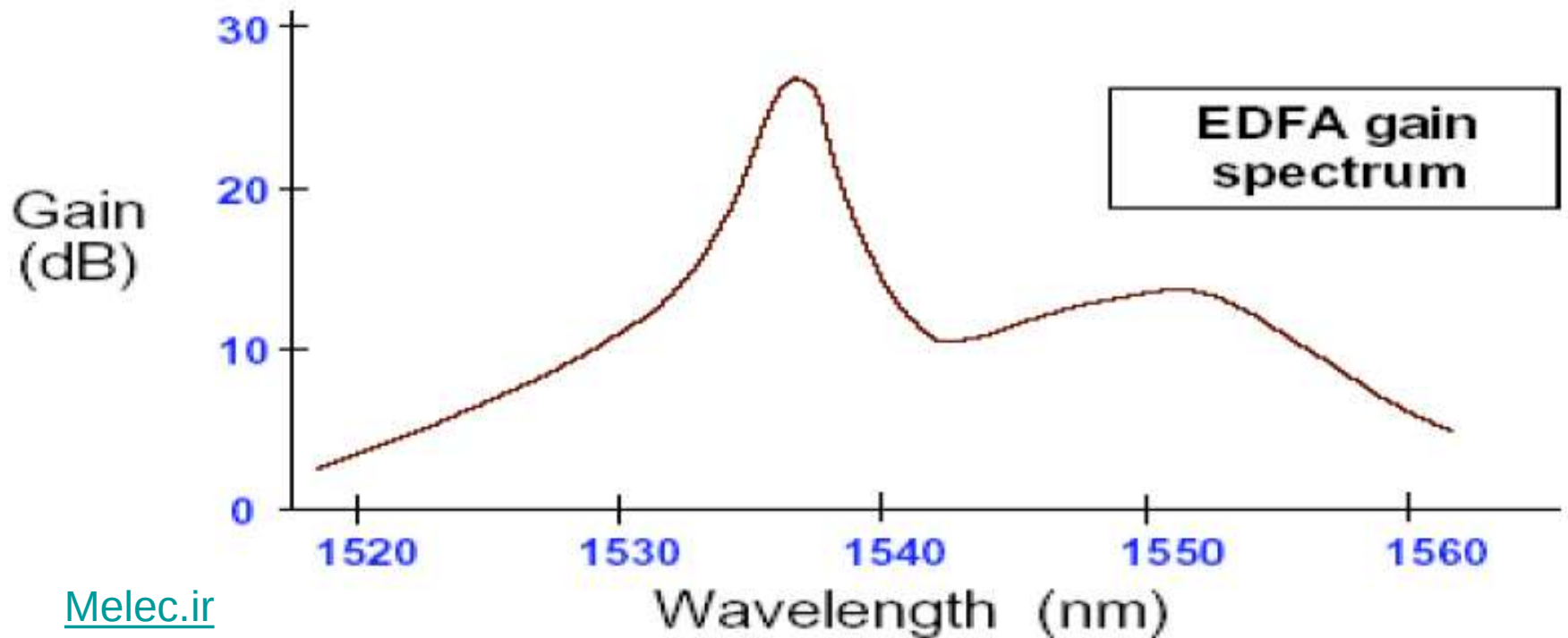


(b) Split-band amplifier gain spectrum

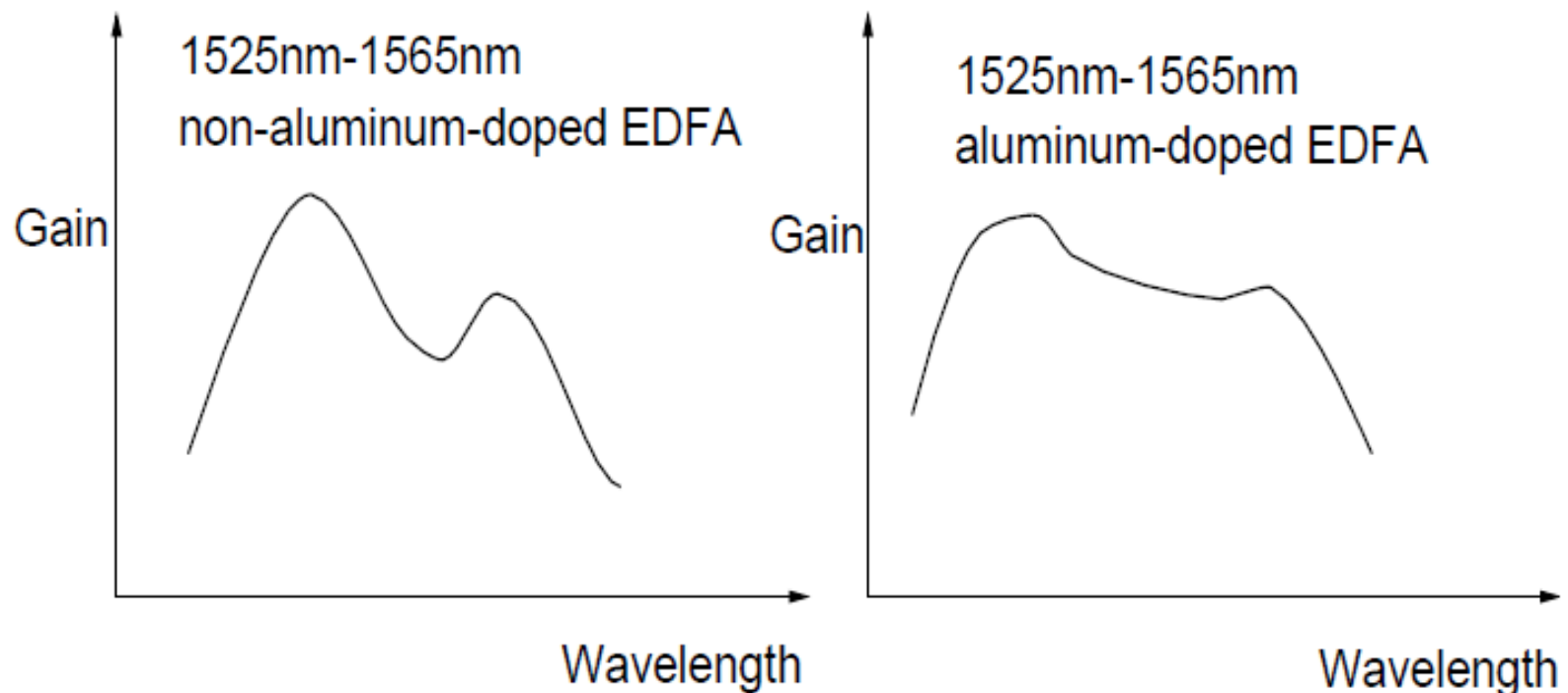
طیف گین EDFA

- شکل طیف گین به نوع شیشه ای که ماده اصلی فیبر را تشکیل می دهد، بستگی دارد.

- طیف گین یکنواخت نیست و دارای تغییرات قابل توجه ای است.



Gain Flattening of EDFA



فیلترهای یکنواخت سازی گین (Equalizers)

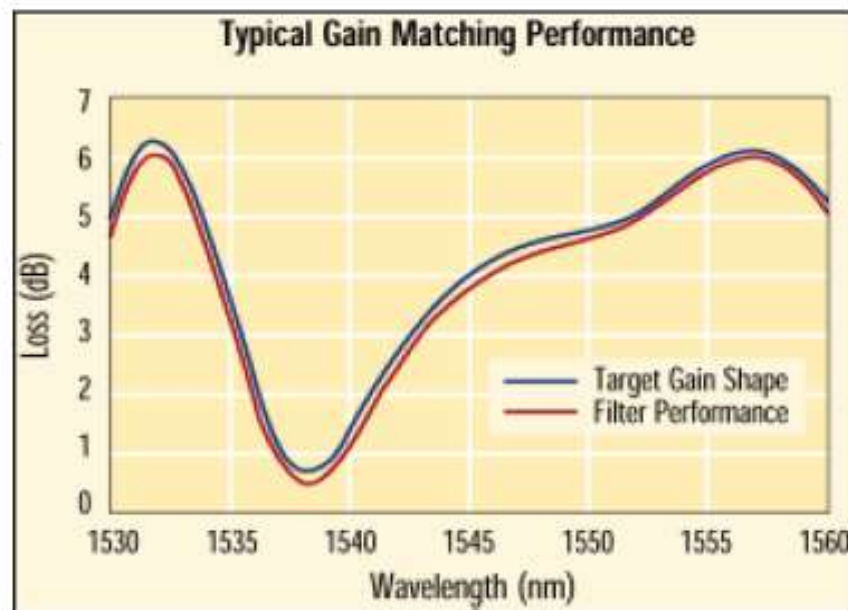
- این فیلترها برای کاهش تغییرات گین تقویت کننده نسبت به طول موج در سیستم های DWDM بکار می رود.

- این فیلترها طوری طرح می شوند که پاسخ طیفی آنها تقریباً معکوس طیف گین EDFA باشد.

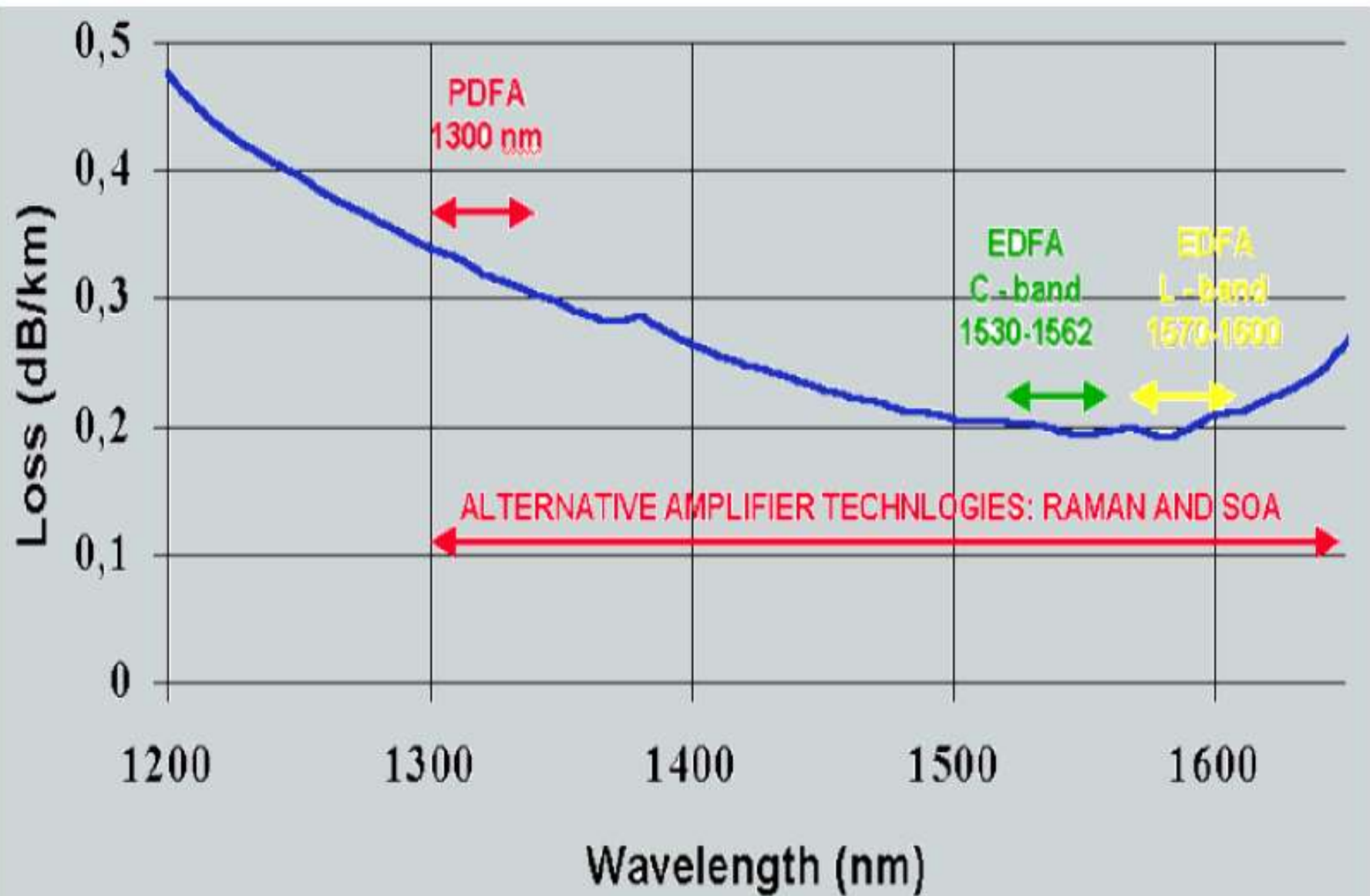
Inline Dicon gain flattening filter spectral response



Inline Dicon gain flattening filter



Ranges of Amplification



PDFA

In Praseodymium-doped fluoride fiber amplifiers (PDFFA or PDFA) when Pr^{3+} ions excited, have an energy transition in the $1.3\ \mu\text{m}$ spectral range making them suitable as optical amplifiers in the region 1280 to 1340 nm.

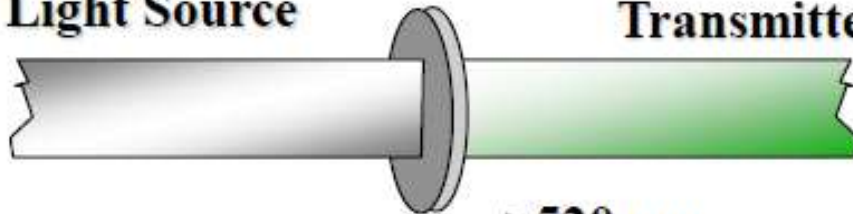
PDFA characteristics

- Working around 1310 nm window (1280-1330 nm)
- Pumping at 1020 nm

فیلترها ، مالتی پلکسر و دی مالتی پلکسرهای نوری

فیلترهای نوری

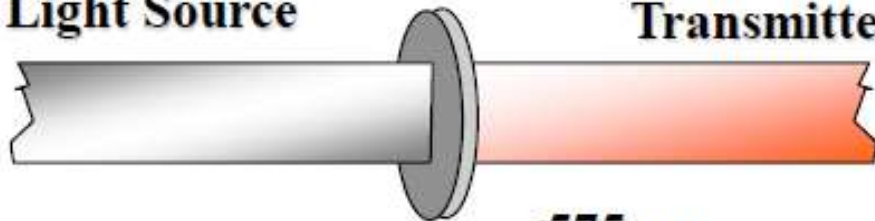
Light Source



>520 nm
Light

Long pass filters transmit wavelengths **above** a wavelength

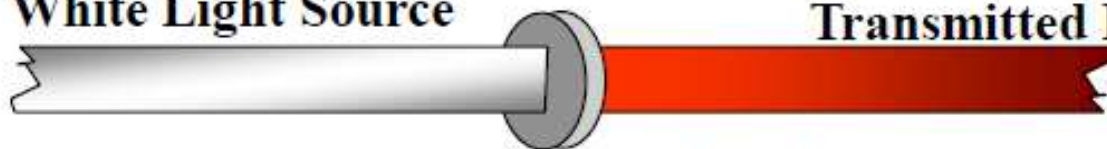
Light Source



<575 nm
Light

Short pass filters transmit wavelengths **below** a wavelength

White Light Source



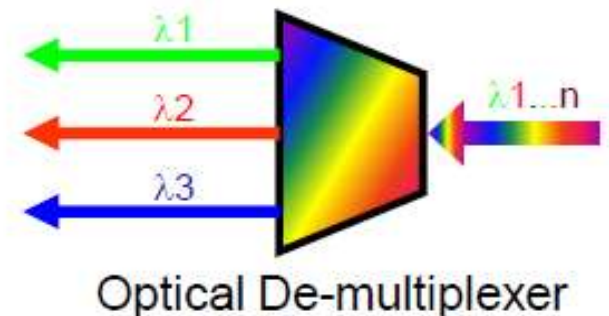
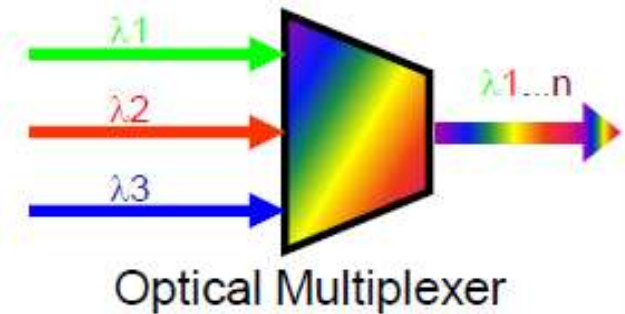
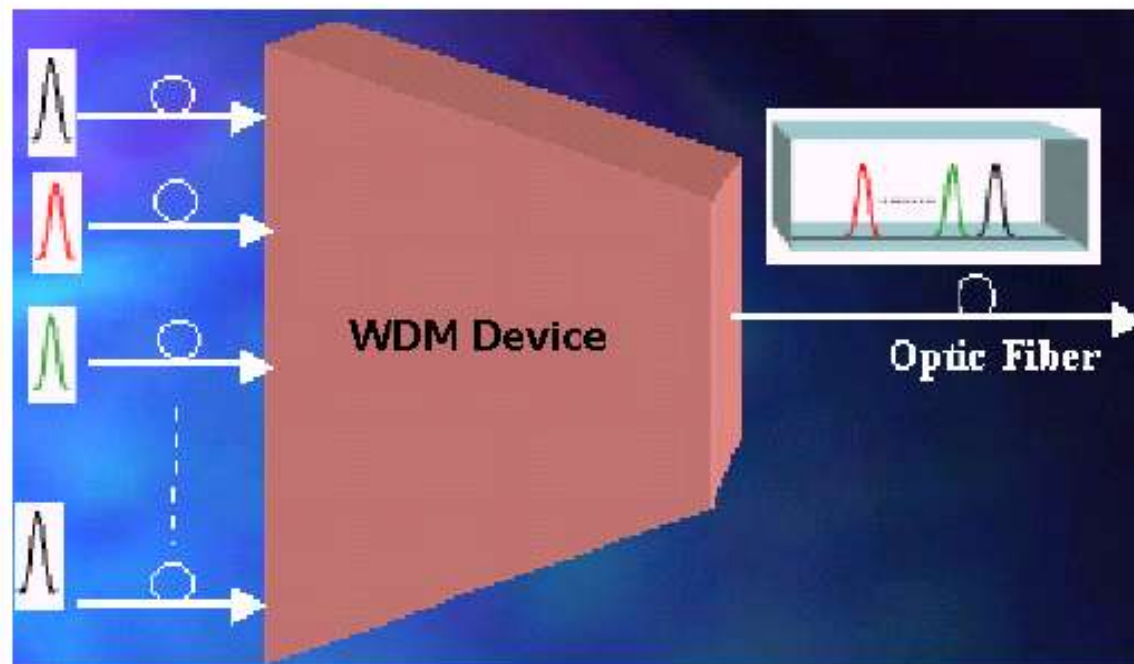
620 -640 nm
Light

Band pass filters transmit wavelengths in a narrow **range** around a specified wavelength

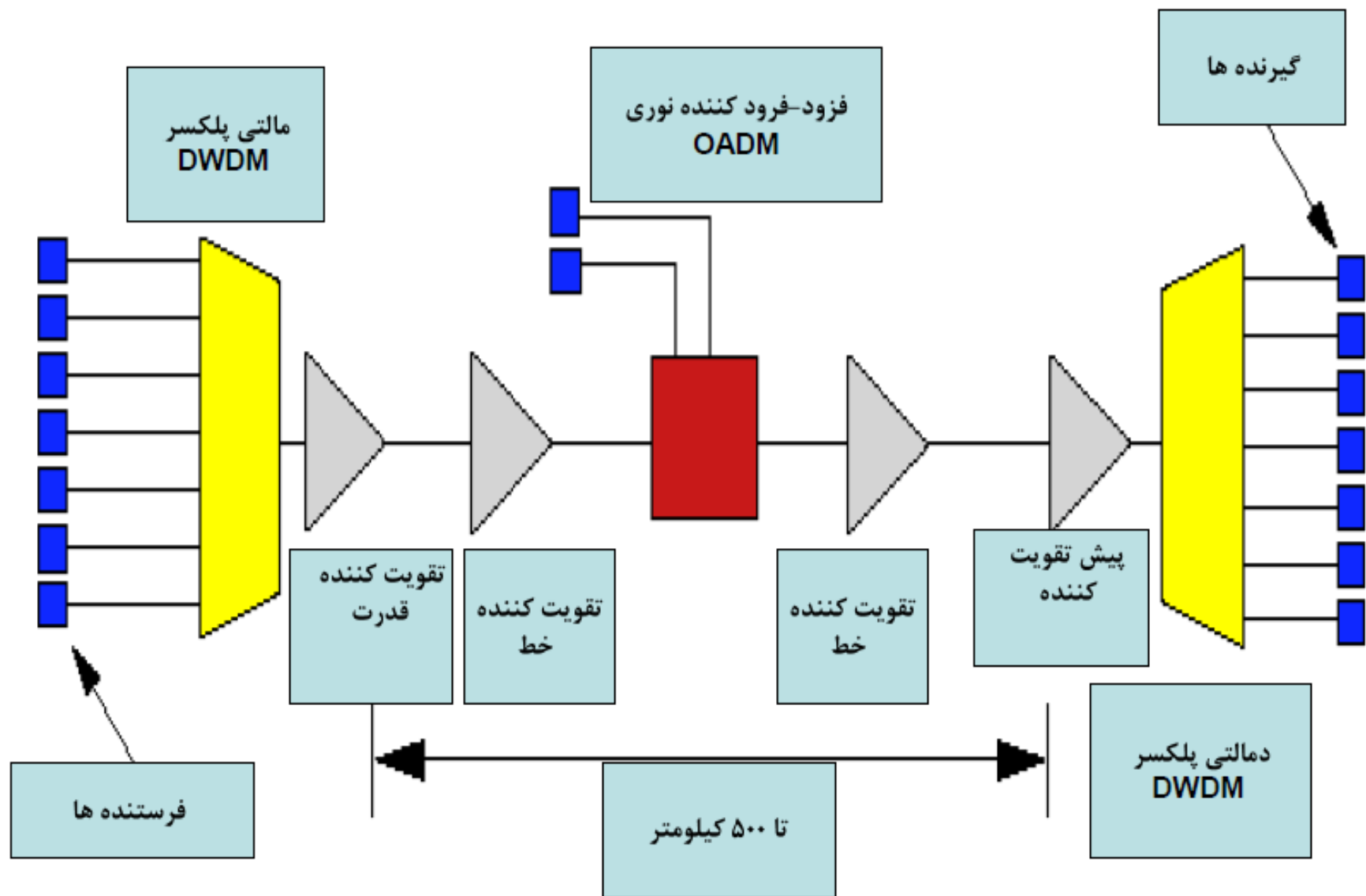
Optical MUX-DEMUX

مالتی پلکسر نوری: چندین طول موج مجزا از هم از نظر مکانی را دریافت و یک شعاع واحد تشکیل می دهد که شامل همه آن طول موجهاست.

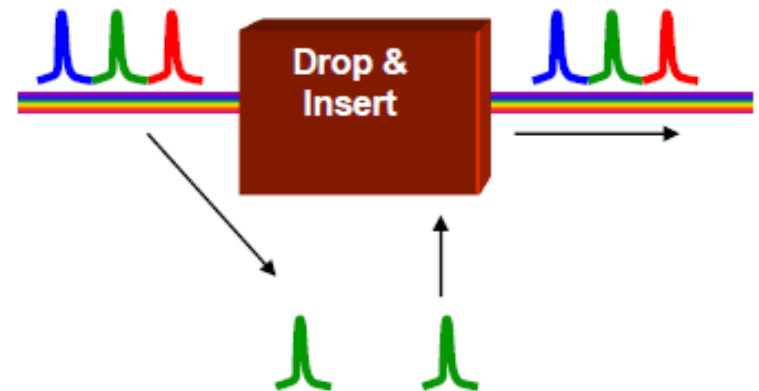
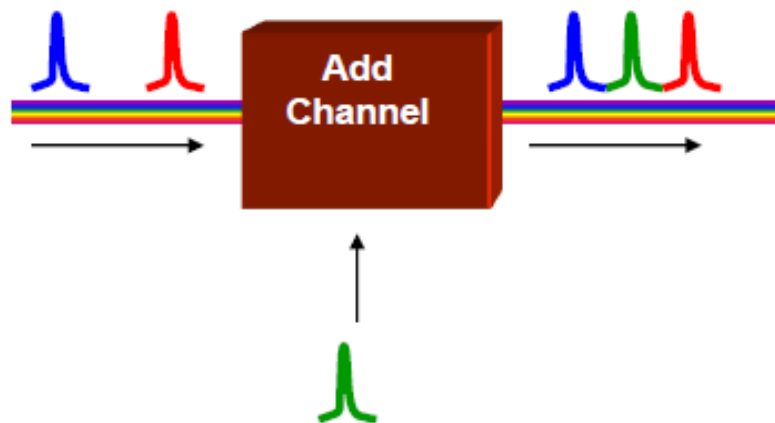
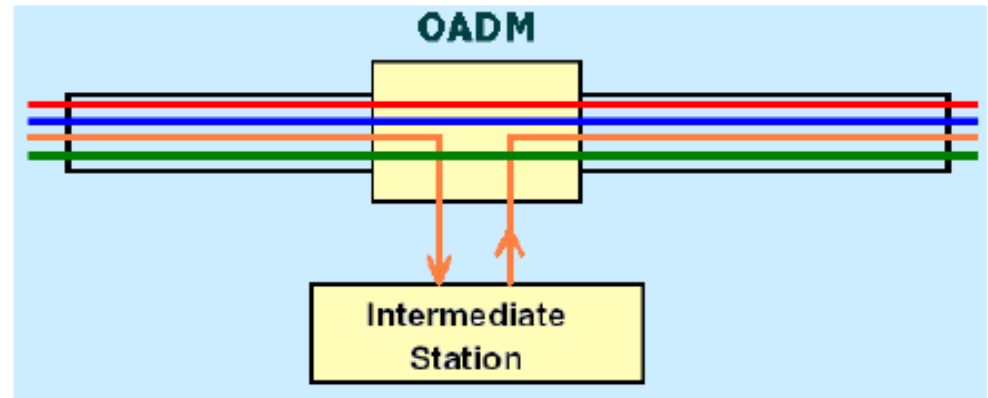
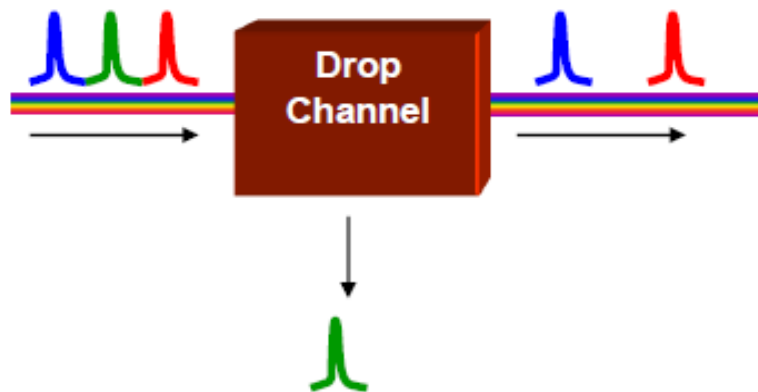
دی مالتی پلکسر نوری: عمل عکس مالتی پلکسر را انجام می دهد. یک شعاع نوری چند طول موجی را دریافت می کند و طول موجهای آن را از نظر مکانی جدا می کند. یعنی هر طول موج در یک خروجی ظاهر می شود.



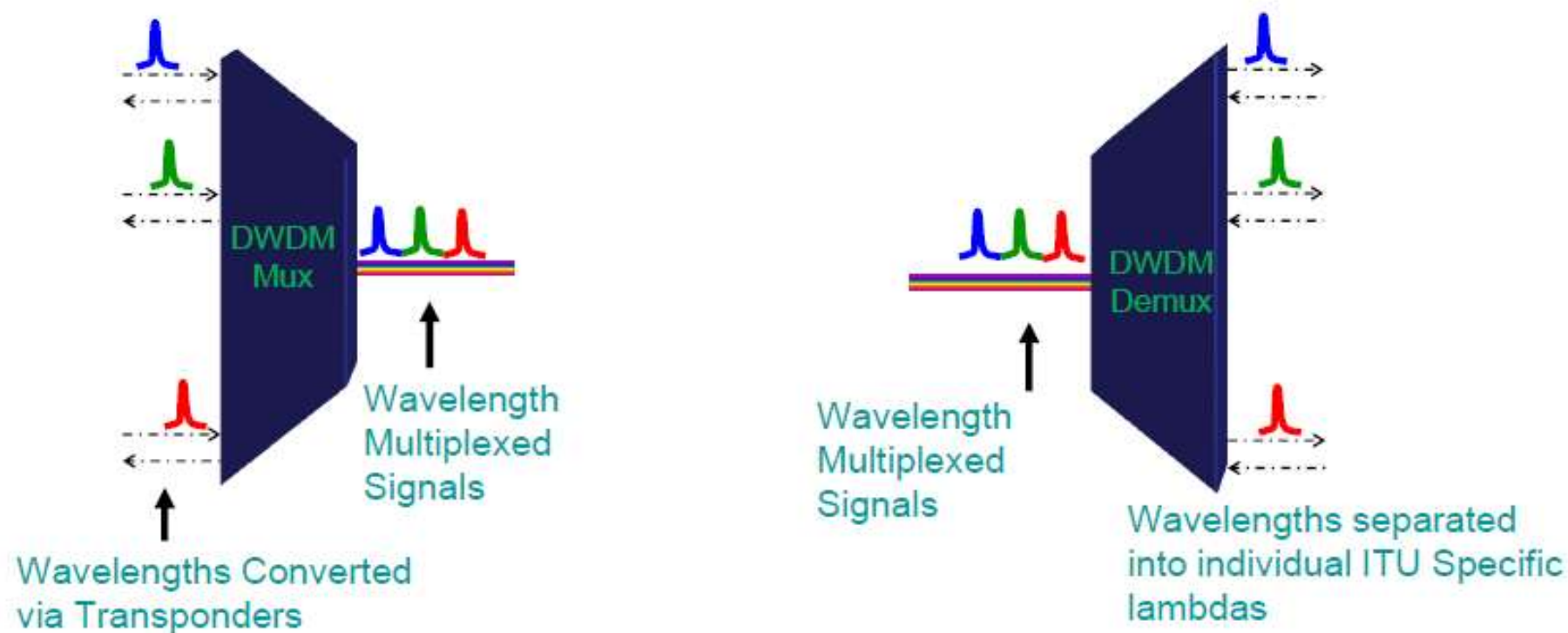
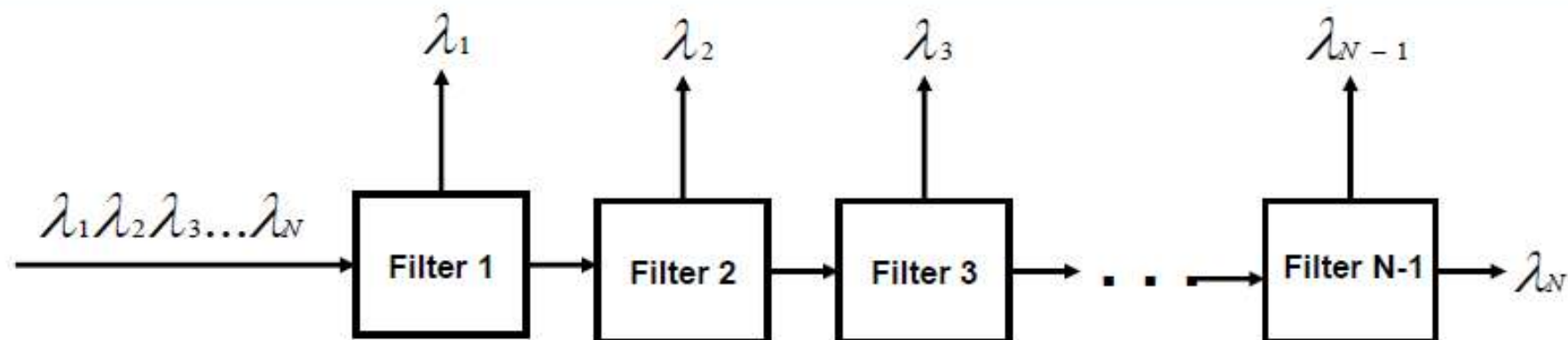
DWDM سیستم



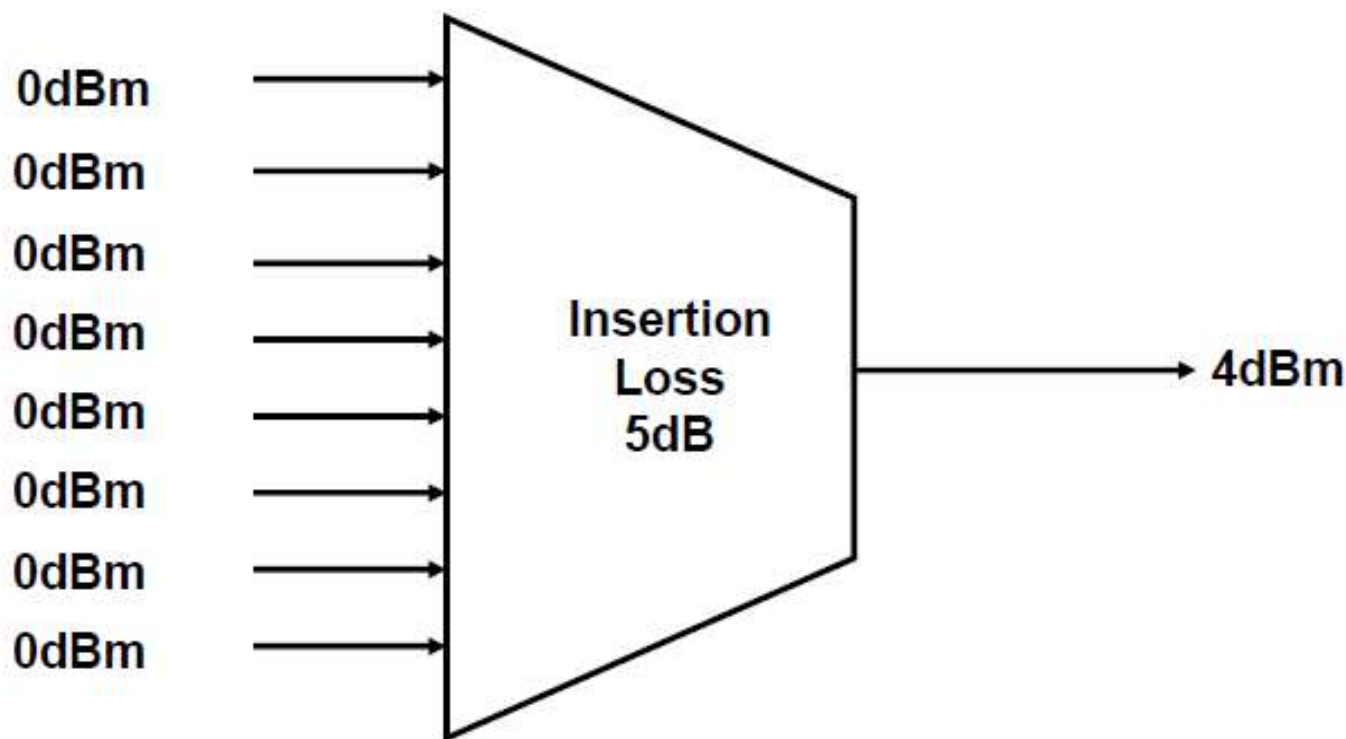
Optical Add/Drop Filters (OADMs)



مالتی/ادمالتی پلکسر با استفاده از فیلترهای نوری



قدرت مرکب (Composite Power)

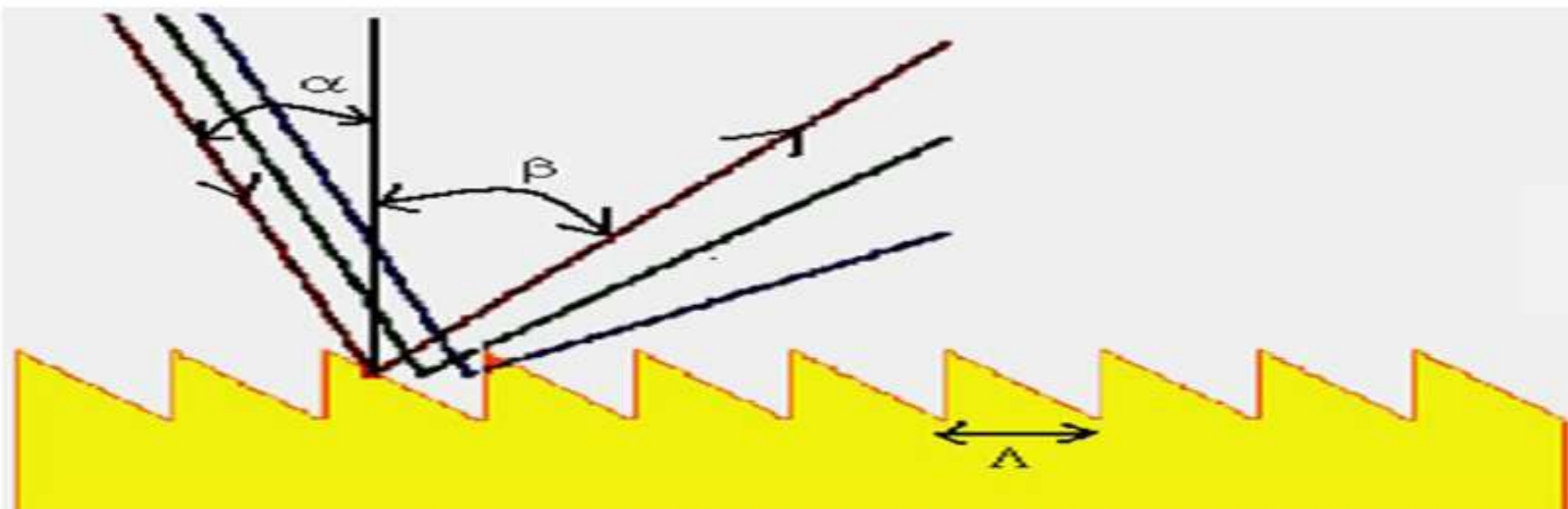


$$P_{\text{composite}} = P_{\text{channel}} + 10\log N - \text{Insertion loss (where } N \text{ is the number of channels)}$$
$$= 0 + 10\log 8 - 5 \text{ dB} = 0 + 9 - 5 \text{ dB} = 4\text{dBm}$$

تکنولوژی های مختلف ساخت فیلتر و ماکس/ادی ماکس

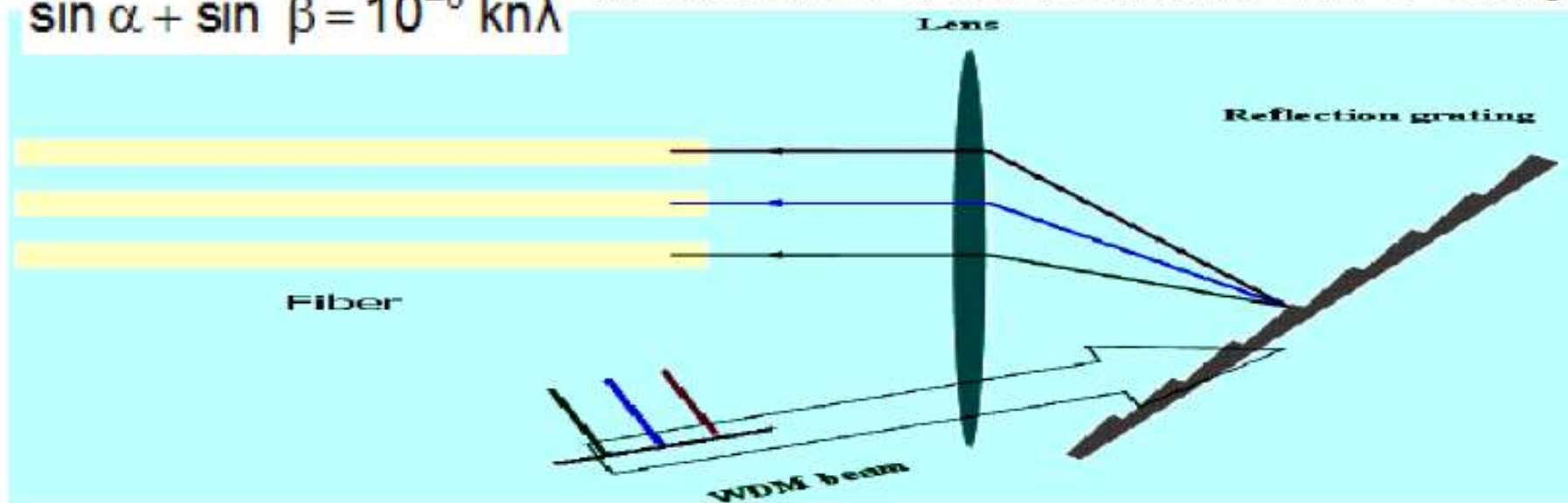
- **Diffraction Grating: DG**
- **Fiber Bragg Grating: FBG**
- **Arrayed Waveguide Grating: AWG**
- **Thin Film Filters: TFF**

Diffraction Grating

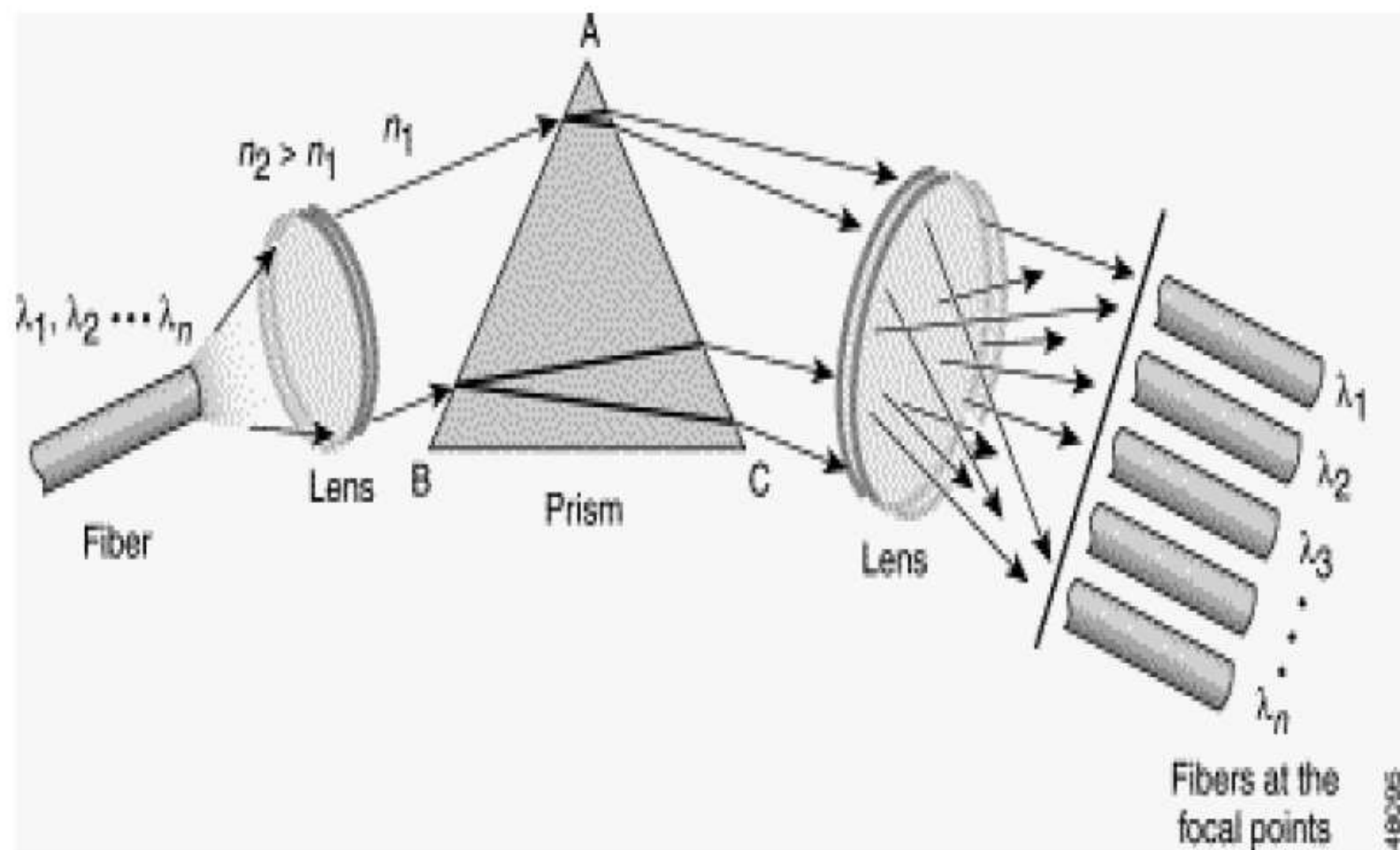


$$\sin \alpha + \sin \beta = 10^{-6} k n \lambda$$

n is the number of Grooves in mm k order of Grating

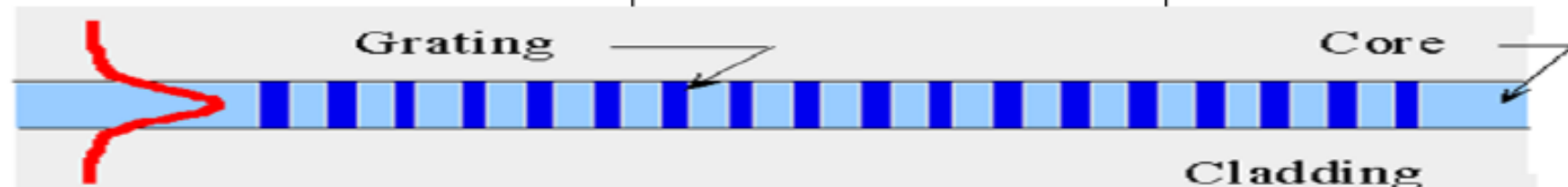
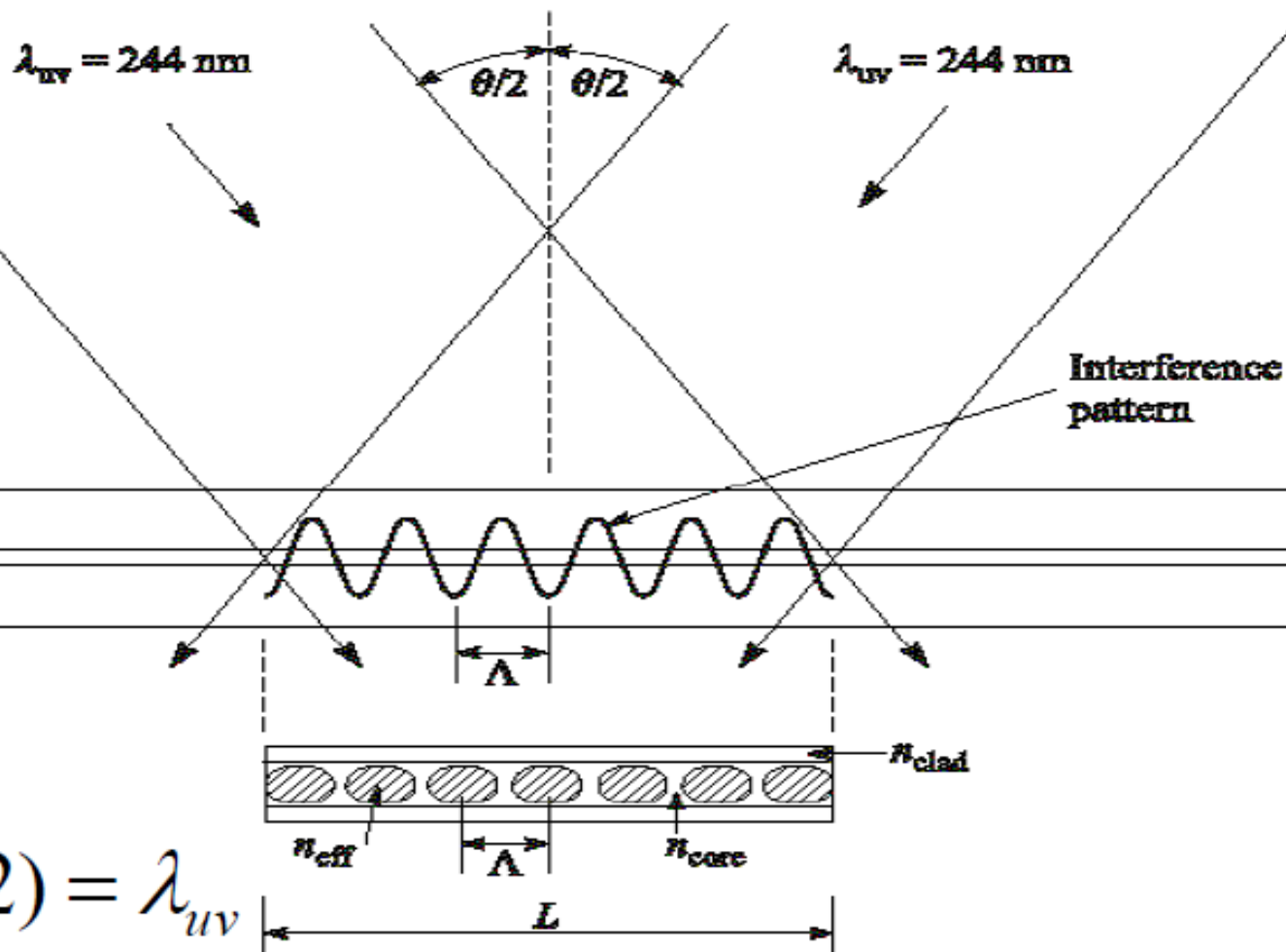


Diffraction Gratings

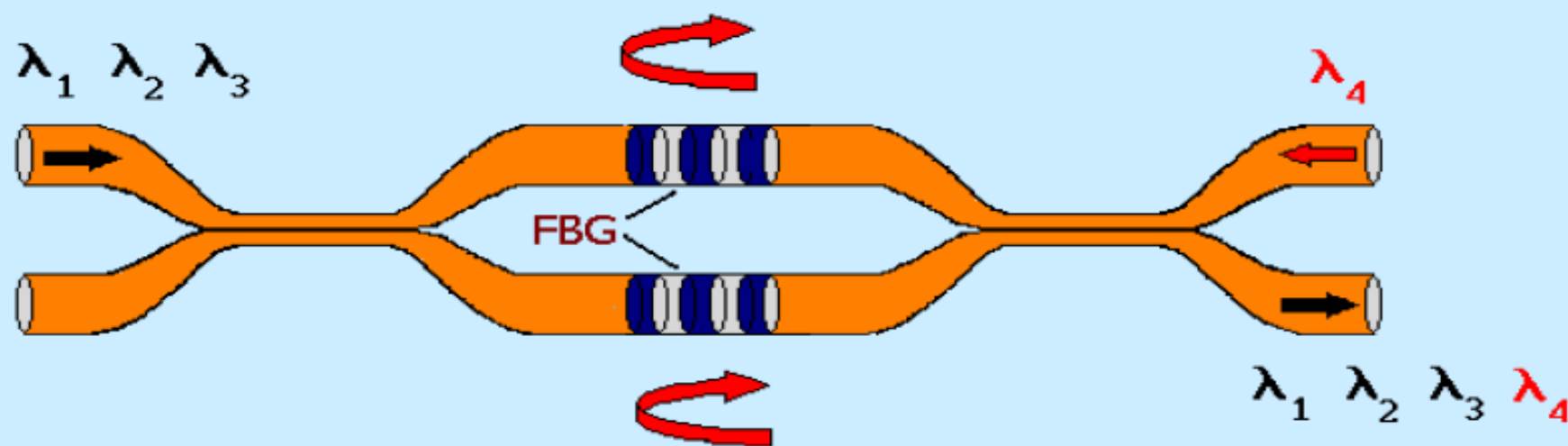


Fiber Bragg Grating(FBG)

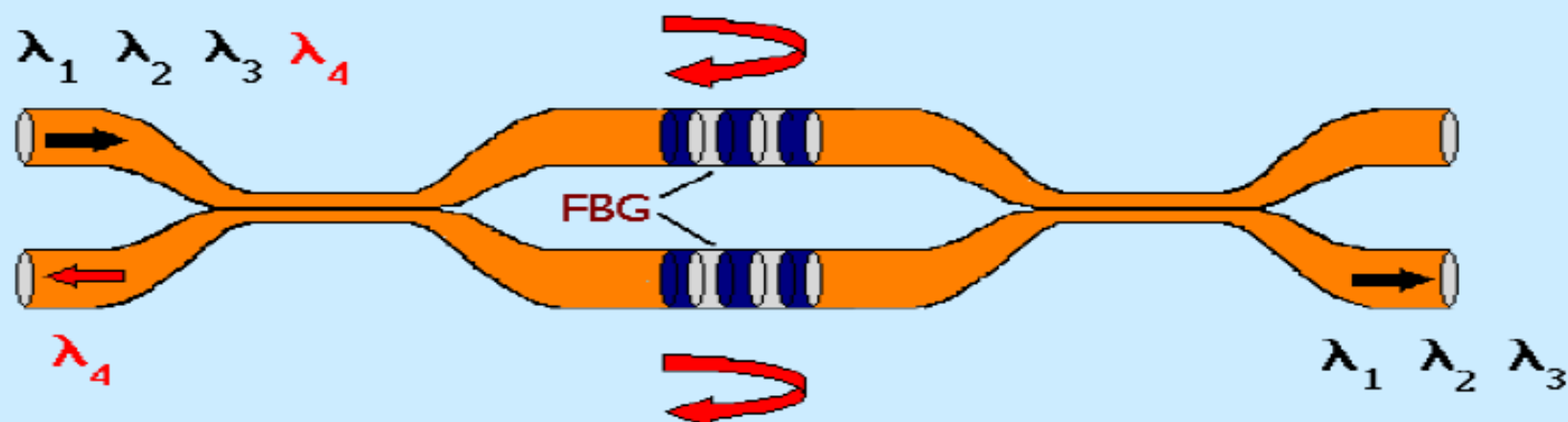
موج ماوراء
بنفش با
قدرت زیاد
که به فیبر
نوری بتابد
بصورت
پریودیک
ضریب
شکست را
تغییر می
دهد



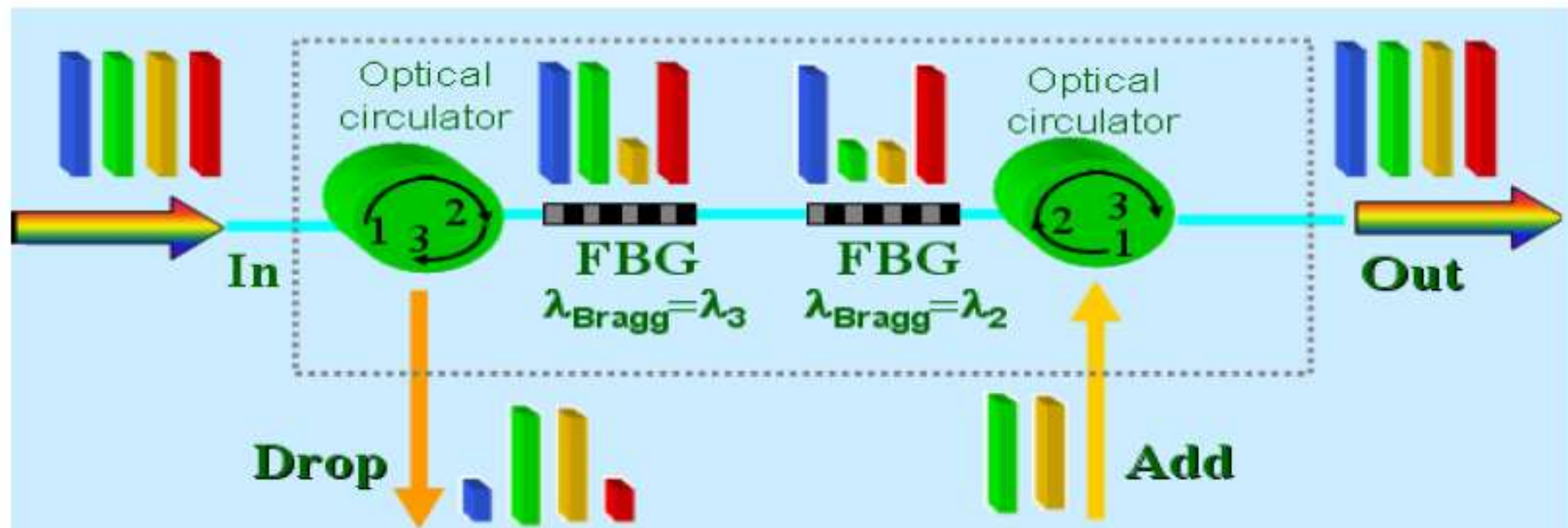
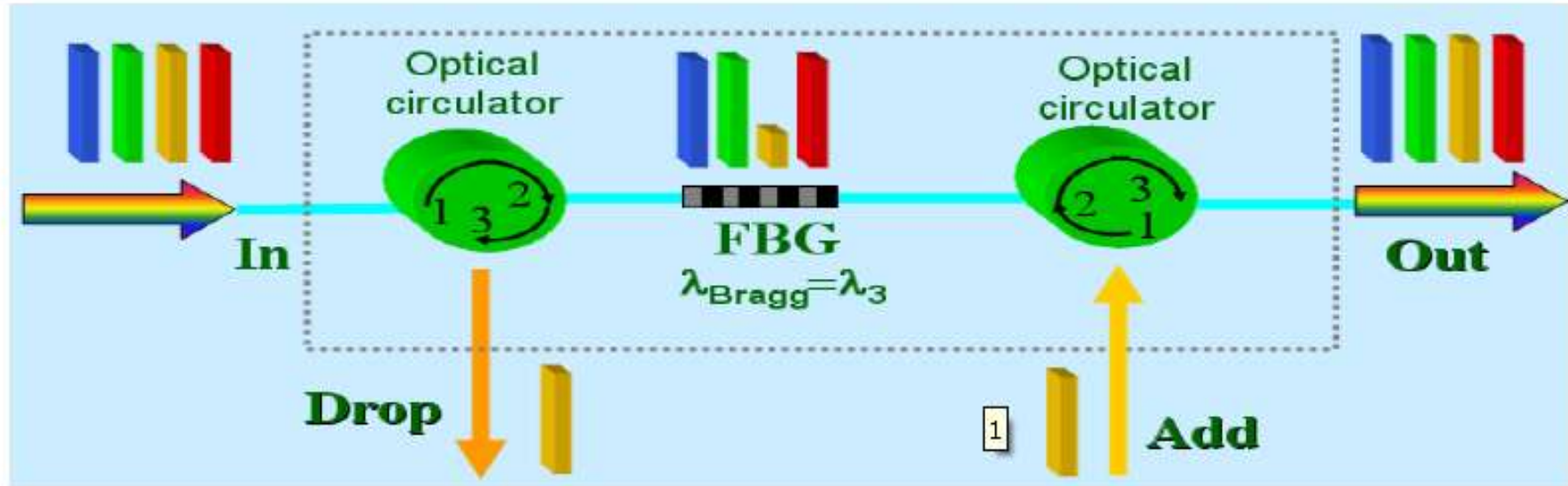
MZI with FBG OADM



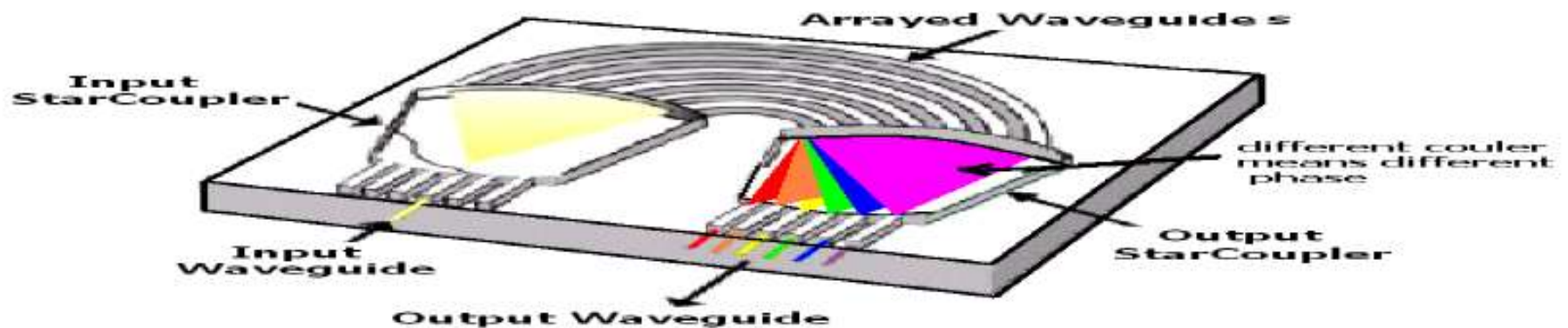
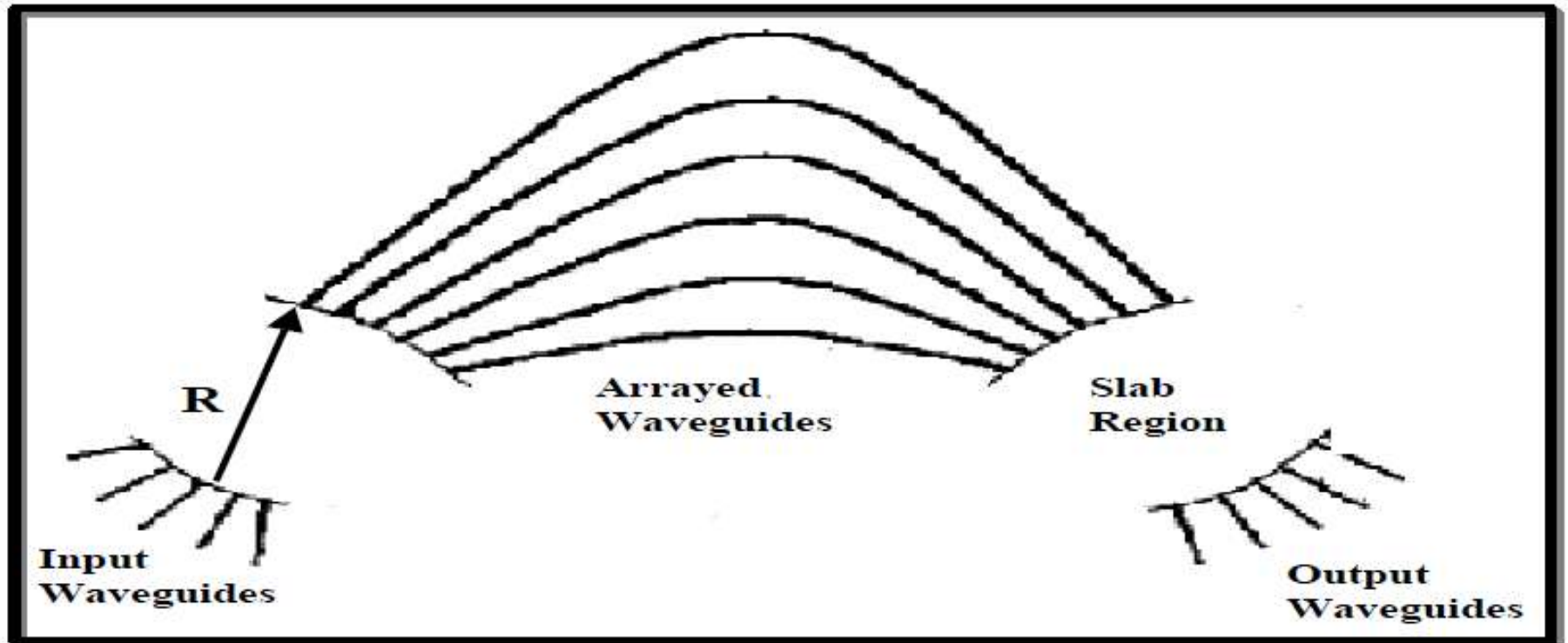
FBG یک طول موج خاص را منعکس می کند به این ترتیب حذف و اضافه کردن طول موج انجام می شود



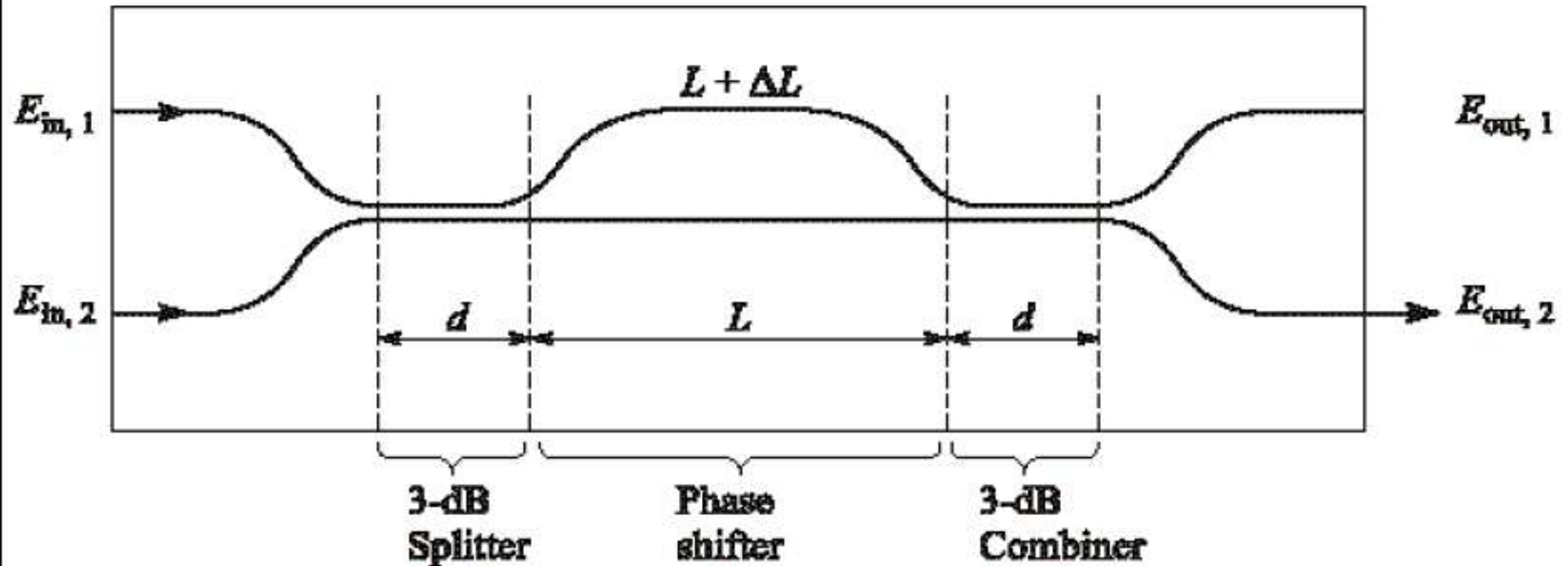
OADM with FBG and Circulator



Arrayed-Waveguide Grating (AWG)



Basic Mach-Zehnder Interferometer

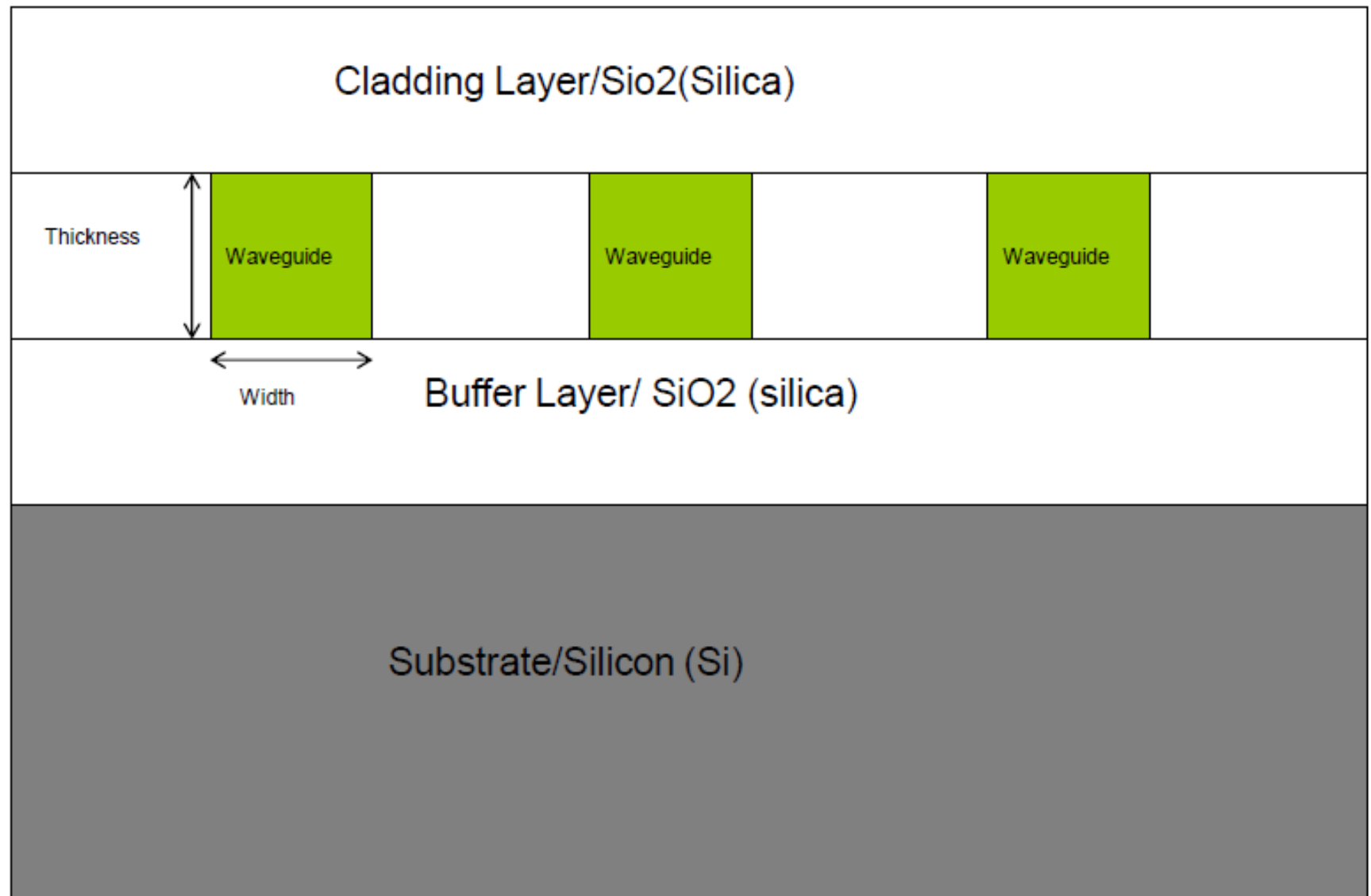


با افزایش ΔL

اختلاف فاز موج منتشر شونده افزایش می یابد و تداخل سازنده یا مخرب را بوجود می آورد.

$$\Delta\phi = \frac{2\pi n_{eff}}{\lambda} \Delta L$$

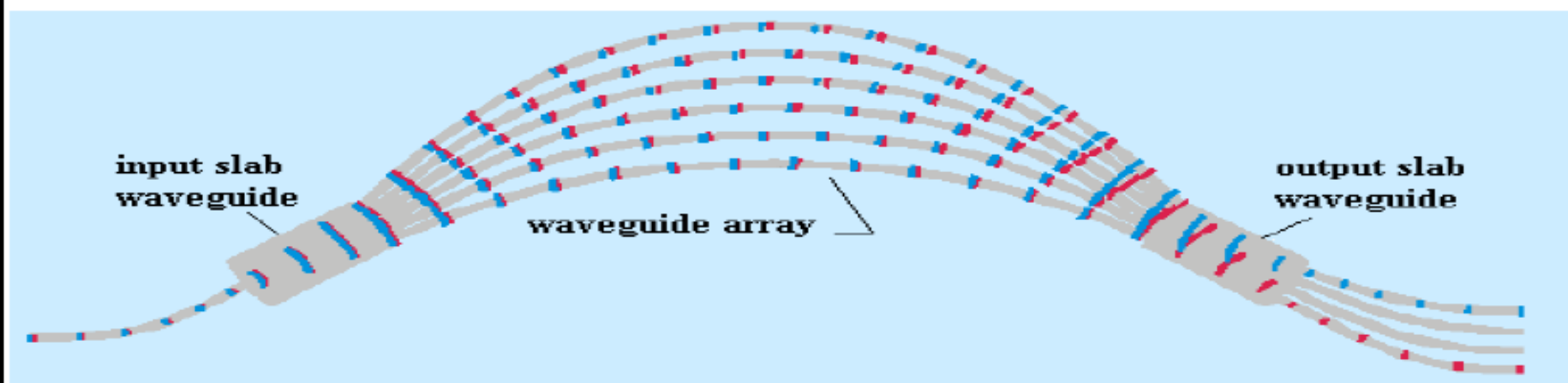
Waveguides



Time and Frequency Response of AWG

$$y(t) = \sum_{k=1}^n a_k x(t - kT)$$

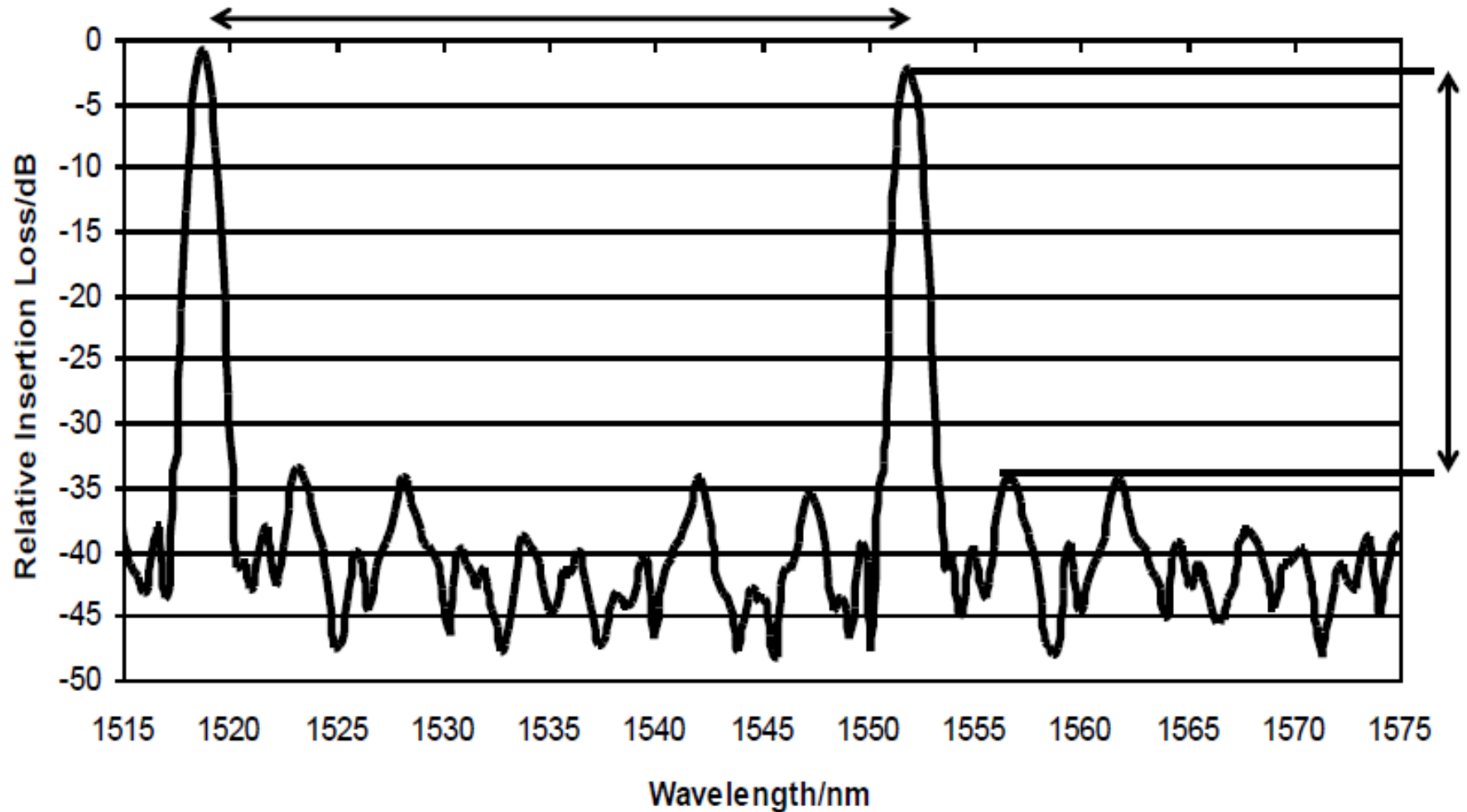
$$Y(\omega) = \sum_{k=1}^n a_k X(\omega) e^{-j\omega kT} \Rightarrow H(\omega) = \frac{Y(\omega)}{X(\omega)} = \sum_{k=1}^n a_k e^{-j\omega kT}$$



تابع انتقال بر حسب طول موج

FSR: Free Spectral Range

FSR=32.8nm=4100GHz

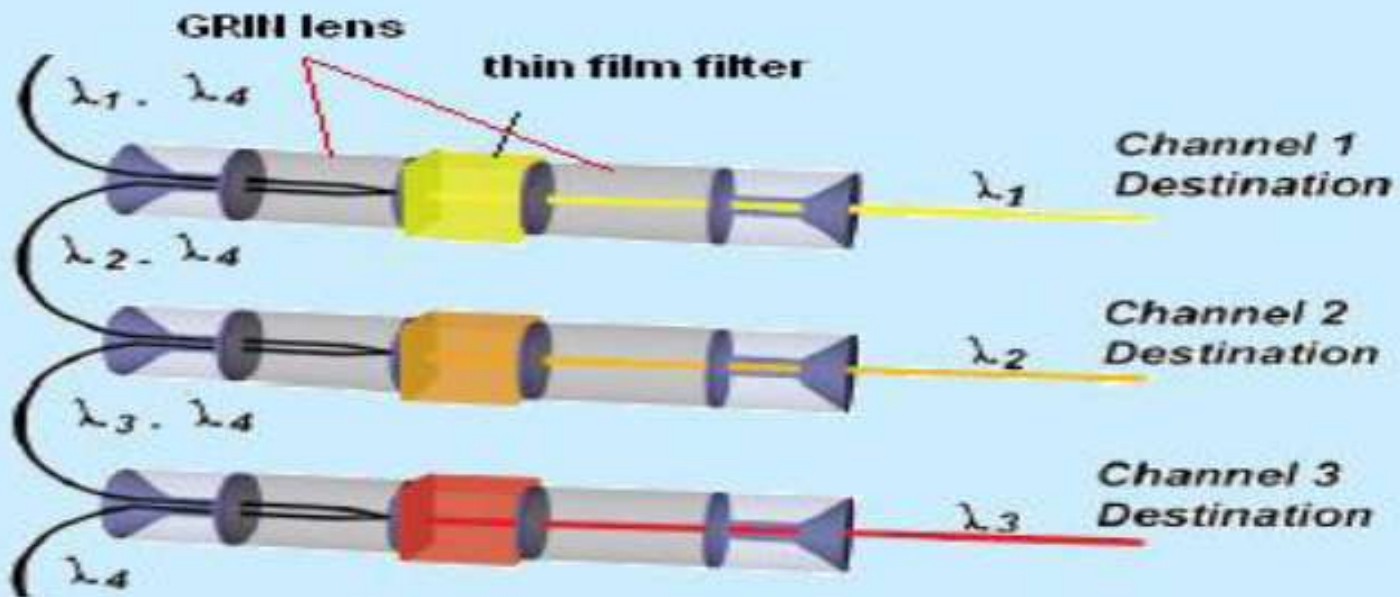


تداخل در فیلم های نازک (Thin Film)

- مقدار کمی از نور تابیده شده در مرز بین دو ماده با ضریب شکستهای مختلف منعکس می شود.
- ضخامت ماده، الگوی تداخل سازنده یا مخرب را تغییر می دهد و این به طول موج ربط دارد.
- با توجه به وابستگی به طول موج فیلتر نوری بوجود می آید.

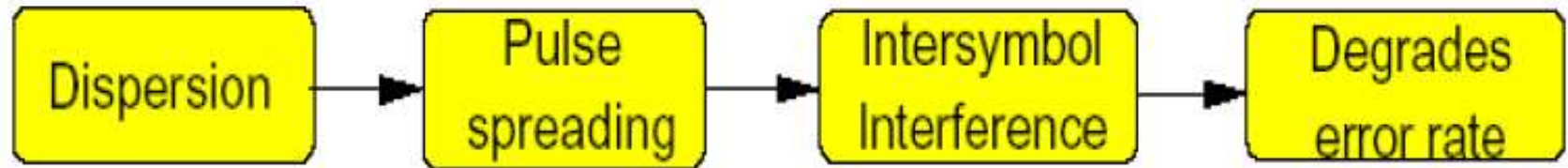
Thin Film Filter (De)Multiplexer

Single Cavity Bandpass Filter

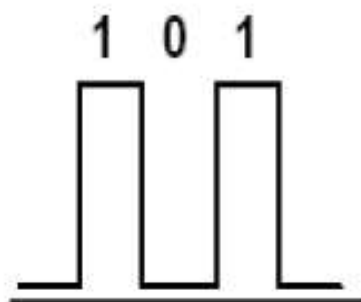


مقدمه بر فیر نوری : پاشندگی - انواع فیر نوری و بودجه قدرت

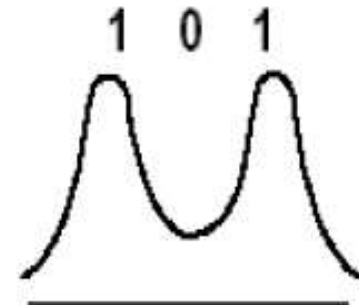
Dispersion



Example



Data at fibre input

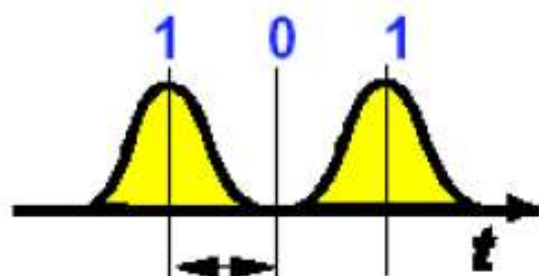


Data at fibre output

Pulse spreading makes it more difficult to distinguish "0"

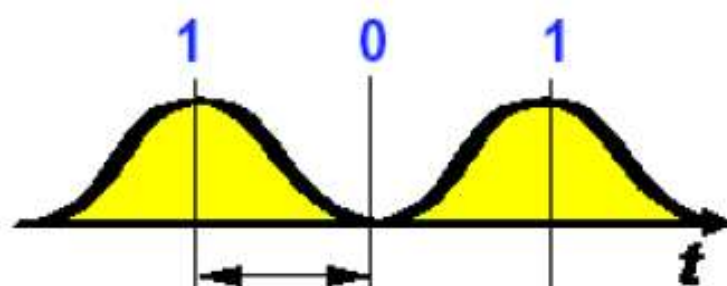
Dispersion و نرخ ارسال داده ها

Fibre output with no Dispersion



Bit interval "T"

Fibre output with Dispersion



Longer bit interval

- هرچه **Dispersion** بیشتر باشد فاصله زمانی یک **bit** باید بیشتر باشد.
 - فاصله زمانی بیشتر برای یک **bit** به این معنی است که تعداد **bit** های کمتری در واحد زمان می شود ارسال کرد.
 - فاصله زمانی بیشتر برای یک **bit** به معنی نرخ ارسال داده های کمتر است.
- نتیجه:** هرچه **Dispersion** بیشتر باشد نرخ ارسال داده ها کمتر باید باشد.

Dispersion انواع

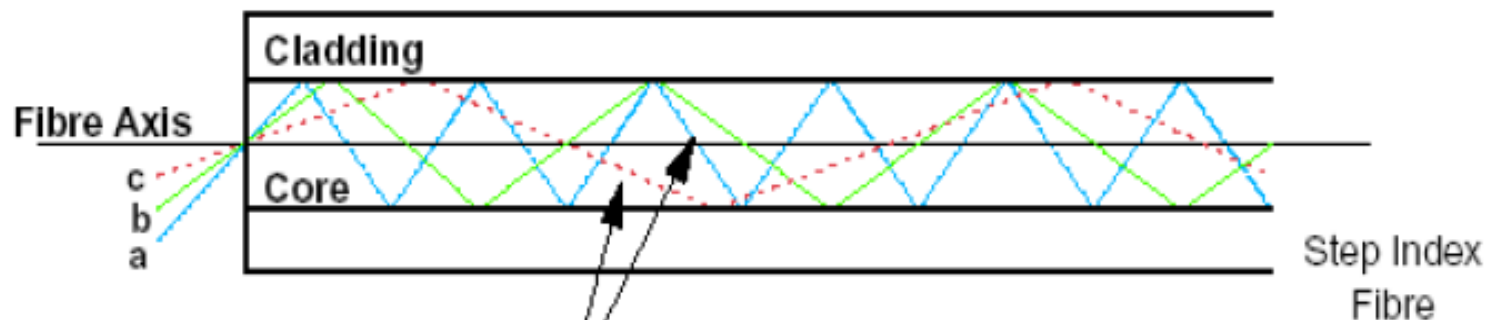
Modal Dispersion (MM)

Chromatic Dispersion (MM-SM)

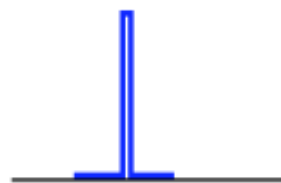
Polarization Mode Dispersion (PMD) (SM)

Modal Dispersion

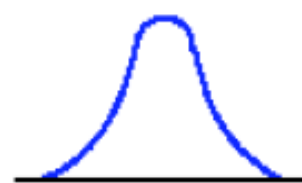
- هر چه تعداد مدها بیشتر باشد مقدار Modal Dispersion هم بیشتر می شود.



شعاع نوری (a) مسیر طولانی تری را نسبت
به شعاع نوری (c) در داخل فیبر طی می کند.



پالس باریک در ورودی فیبر



پالس پهن شده در خروجی فیبر

Modal Dispersion کاهش

Reduce the difference between the propagation velocities of different modes



Graded index fibre design

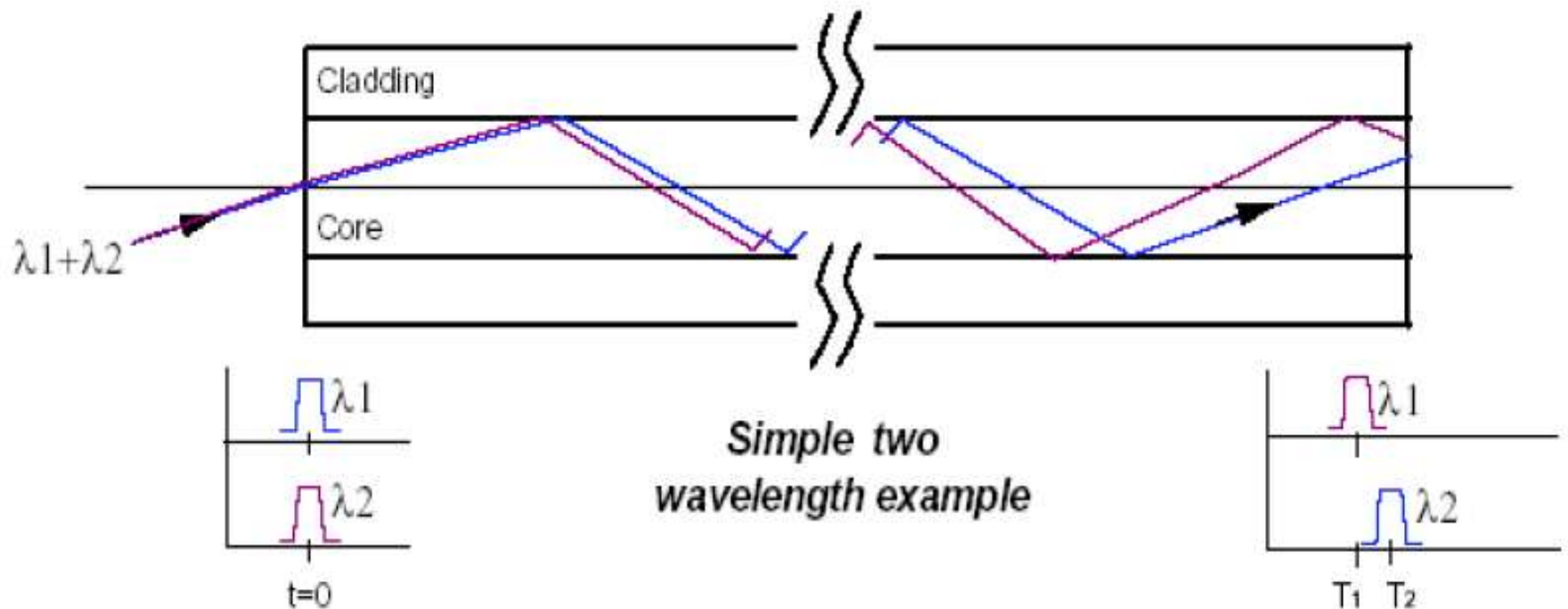
Reduce the number of modes to one



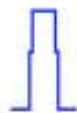
Singlemode fibre design

Material Dispersion توضيح

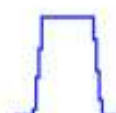
In an optical fibre the propagation velocity varies with wavelength. Thus a pulse made up of many wavelengths will be spread out in time as it propagates



Net Pulse Width at fibre input



Net Pulse Width is approx $T_2 - T_1$



Finding the Total Chromatic Dispersion

$$\text{Total Chromatic Dispersion} = D_c \times \sigma_\lambda \times L$$

where:

D_c is the dispersion coefficient for the fibre (ps/nm.km)

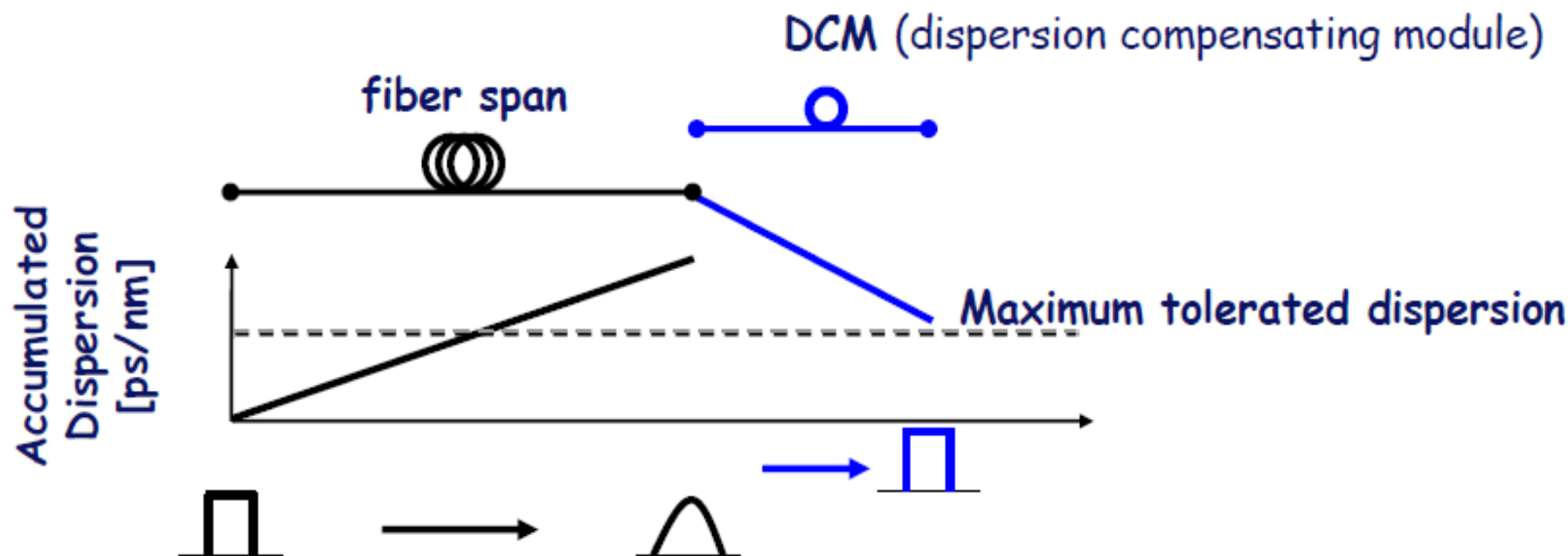
σ_λ is transmitter source spectral width (nm)

L is the total fibre span (km)

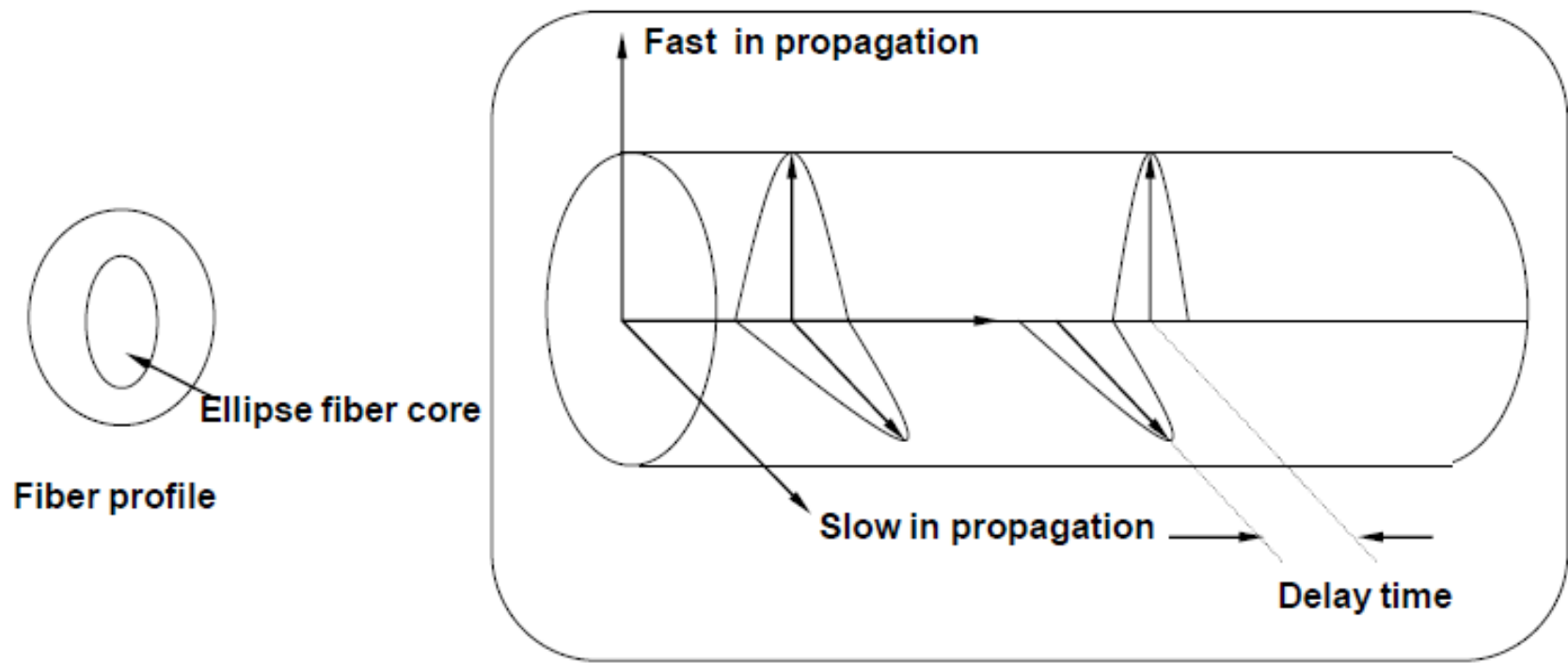
Dispersion compensation

- Optical receivers can tolerate a certain amount of accumulated chromatic dispersion (for example: 12800 ps/nm at 2.5 Gb/s)
- If such amount is exceeded, chromatic dispersion compensation must be performed

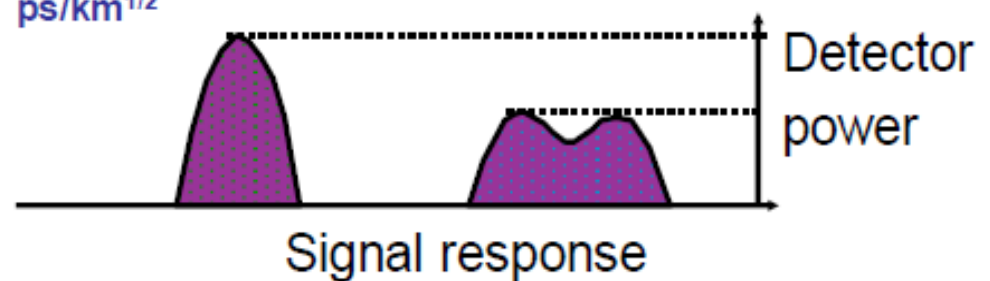
البته ذکر این نکته ضروری است که در سیستمهای جدید در گیرنده ها از مدارهای DSP برای جبران استفاده می کنند که تحمل ۴۰ هزار تا ۶۰ هزار دست یافتنی است.



Polarization Mode Dispersion—PMD



- Polarization mode dispersion (PMD)
- Polarization mode dispersion coefficient: $\text{ps/km}^{1/2}$



حدود قابل قبول PMD بر اساس استاندارد ITU-T (G.691)

- PMD با جذر فاصله رابطه مستقیم دارد.
- واحد اندازه گیری آن ps بر جذر کیلومتر است.

	Bit rate	Maximum PMD 10% Tbit	PMD coefficient for 400 km link ($\text{ps}/\text{km}^{1/2}$)
STM-16	2.5 Gbits/s	40 ps	≤ 2
STM-64	10 Gbits/s	10 ps	≤ 0.5
STM-256	40 Gbits/s	2.5 ps	≤ 0.125

فیبر تک مود معمولی بر اساس توصیه ITU-T G.652

• در محدوده طول موج ۱۳۱۰ نانومتر:

تلفات کمتر از: 0.36 dB/km

Dispersion کمتر از: 3.5 ps/(nm.km)

• در محدوده طول موج ۱۵۵۰ نانومتر:

تلفات کمتر از: 0.25 dB/km

Dispersion : 18 ps/(nm.km)

فیبر تک مود DS بر اساس توصیه ITU-T G.653

• در محدوده طول موج ۱۵۵۰ نانومتر:

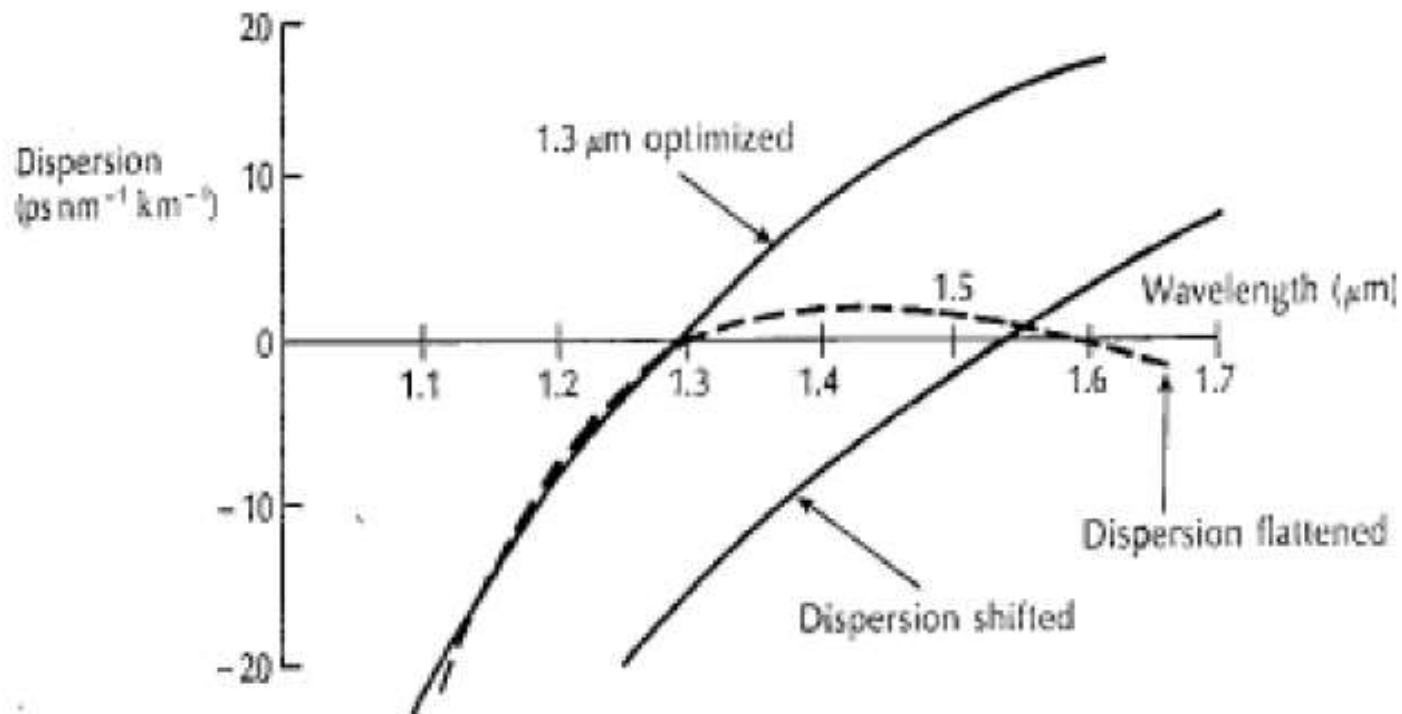
0.25 dB/km

تلفات کمتر از:

3.5 ps/(nm.km)

Dispersion :

• با تغییر مواد طول موج صفر Dispersion به ناحیه کمترین تلفات شیفته می شود.



فیبر تک مود NZ-DS بر اساس توصیه ITU-T G.655

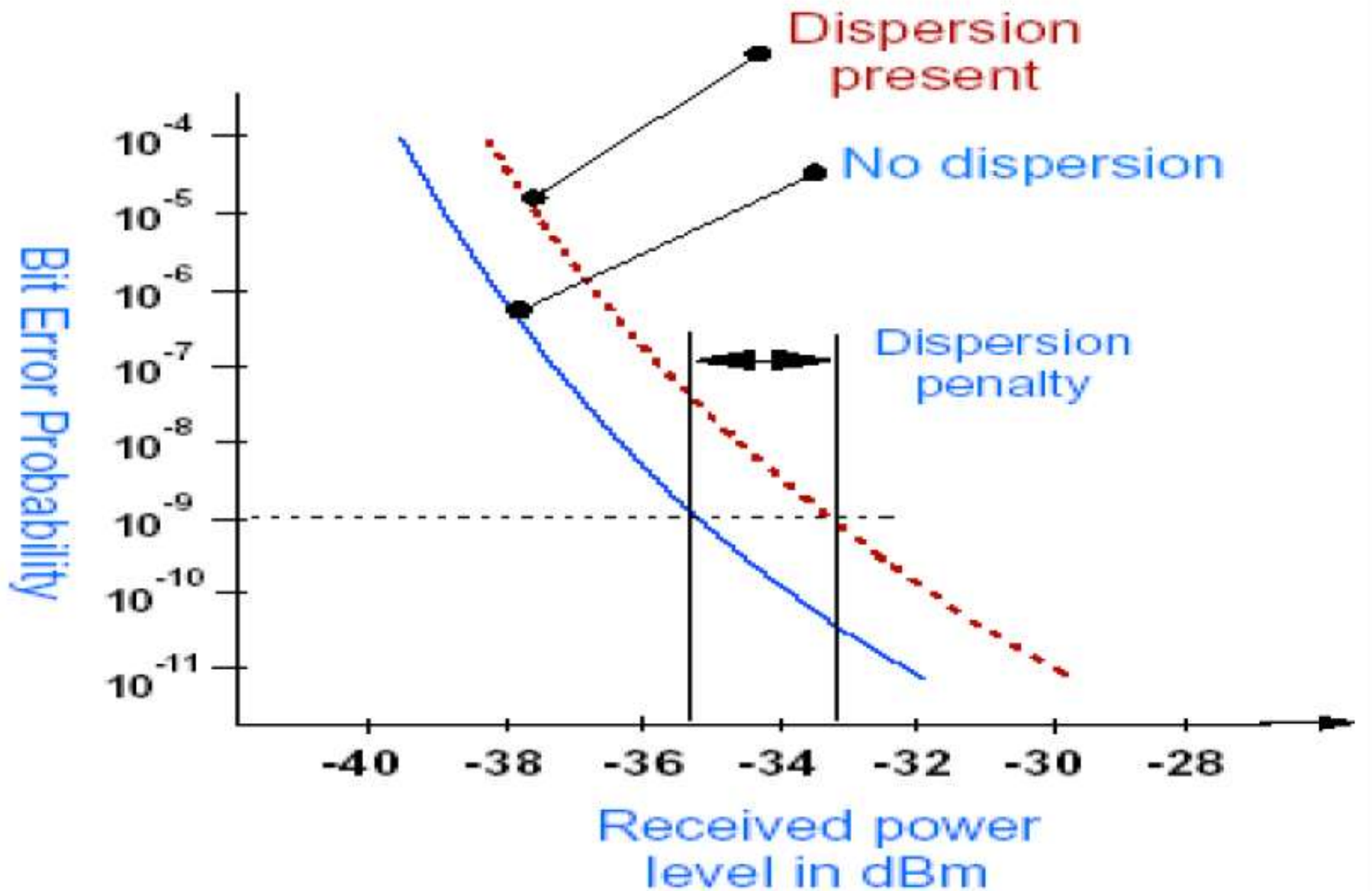
• در محدوده طول موج بین ۱۵۳۰ تا ۱۵۶۵ نانومتر:

تلفات کمتر از: 0.25 dB/km

Dispersion بیش از: 0.1 ps/(nm.km)

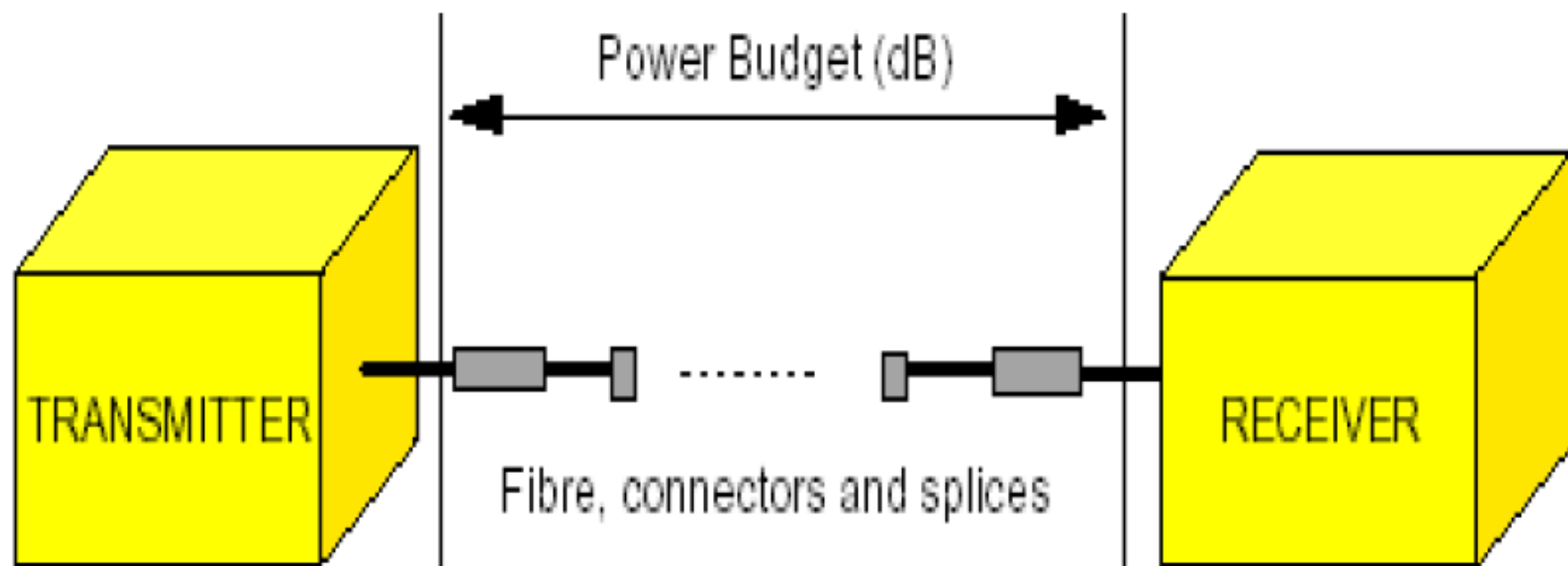
Dispersion کمتر از: 6 ps/(nm.km)

Dispersion Penalty



تعریف بودجه قدرت

- اختلاف بین حداقل قدرت فرستنده و حساسیت گیرنده
- بدترین حالتها را باید در نظر گرفت



Power Margin

- Power margins are included for a number of reasons:
 - To allow for ageing of sources and other components.
 - To cater for extra splices, when cable repair is carried out.
 - To allow for extra fibre, if rerouting is needed in the future.
 - To allow for upgrades in the bit rate or advances in multiplexing.
- Remember that the typical operating lifetime of a communications transmission system may be as high as 20 to 30 years.
- No fixed rules exist, but a minimum for the power margin would be 2 dB, while values rarely exceed 8-10 dB. (depends on system)

نمونه ای از محاسبه بودجه قدرت

Power budget calculation including power penalty used to calculate power margin

System: 70 km span, 0.8 km between splices

Transmitter o/p power (dBm)	0	
Number of Connectors	2	In most systems only two connectors are used, one at the transmitter and one the receiver terminal.
Connector loss per connector (dB)	0.5	
Total connector loss (dB)	1	
Fibre span (km)	70	
Fibre loss (dB/Km)	0.25	
Total fibre loss (dB)	17.5	
Splice interval (Km)	0.8	Fibre is normally only available in fixed lengths up to 2 km long, so fusion splices are required, to join lengths.
Number of splices	87	
Splice loss per splice (dB)	0.04	
Total splice loss (dB)	3.46	
Dispersion penalty estimate (dB)	1.5	In buildings fibre lengths will be much shorter
Receiver sensitivity (dBm)	-30	
Power margin (dB)	6.54	Answer

تکنیک های افزایش پهنای باند در سیستم های انتقال فیبر نوری

حد اکثر ظرفیت فیبر نوری چقدر است؟

ظرفیت یک فیبر نوری تنها:

۱- فرض کنید که طیف قابل دسترسی یک فیبر از ۱۲۵۰ تا ۱۶۲۰ نانومتر است.

۲- فرض کنید یک سیستم **DWDM** با فاصله کانالهای ۰.۴ نانومتر داریم پس تعداد کانالها حدود ۹۰۰ است.

۳- فرض کنید نرخ ارسال داده های هر کانال **40Gb/s** می باشد.

بنابر این ظرفیت یک فیبر تنها برابر **900x40Gb/s=36 Tb/s** است

چگونه می توان به حد اکثر ظرفیت فیبر دست یافت؟

- **DWDM** بسیار فشرده با تعداد کانال نزدیک به ۱۰۰۰
- نرخ ارسال داده های بیشتر در هر کانال در حد **40Gb/s** یا بیشتر
- علاوه بر اینها بایستی امکان ارسال راه دور و ضریب اطمینان بالا هم فراهم باشد.
- تقویت کننده های باند بسیار پهن
- فیبرهای با تلفات کم در باند وسیع ۱۲۴۰ تا ۱۶۱۰ نانومتر
- مدارهای الکترونیکی بسیار پر سرعت

تکنیکهای Multiplexing

- کارایی نهایی یک شبکه مخابراتی را بر اساس **قیمت انتقال یک بیت در یک کیلومتر می سنجند**

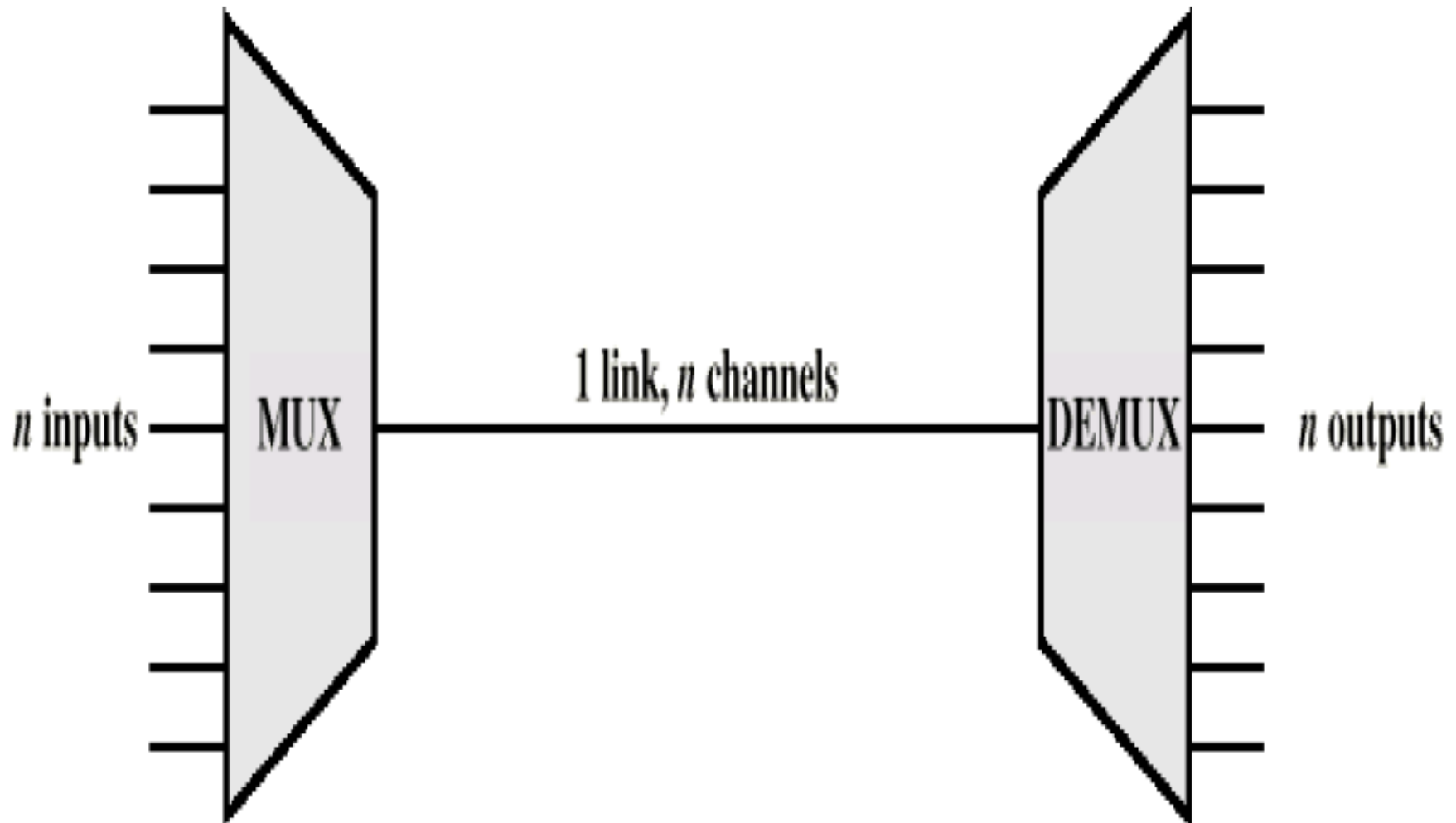
cost per bit per kilometre

- بازدهی طیفی یک سیستم چنین تعریف می شود: “نسبت نرخ ارسال اطلاعات به پهنای باند قابل دسترسی بر حسب **b/s/Hz**”

- همانند سیستمهای مخابراتی الکترونیکی، در مخابرات نوری هم مالتی پلکسینگ در سه حوزه **زمان، طول موج** (فرکانس) و **کد** یا ترکیبی از آنها قابل انجام است

Multiplexing

مالتی پلکسینگ یعنی روشی برای ارسال چندین سیگنال بر روی یک کانال مشترک به شرطی که سیگنالها لاقط یک ویژگی متفاوت داشته باشند که بر اساس آن ویژگی بتوان آنها را در مقصد از هم تفکیک کرد.

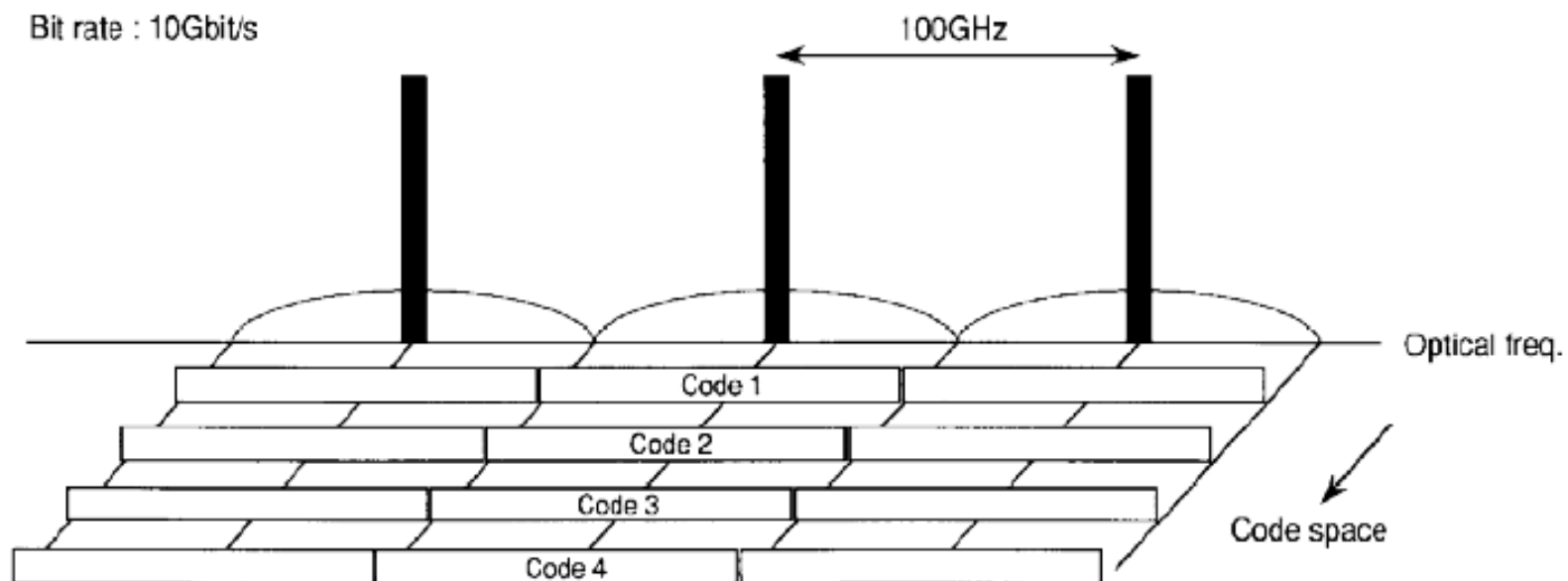


Optical Code Division Multiplexing (OCDM)

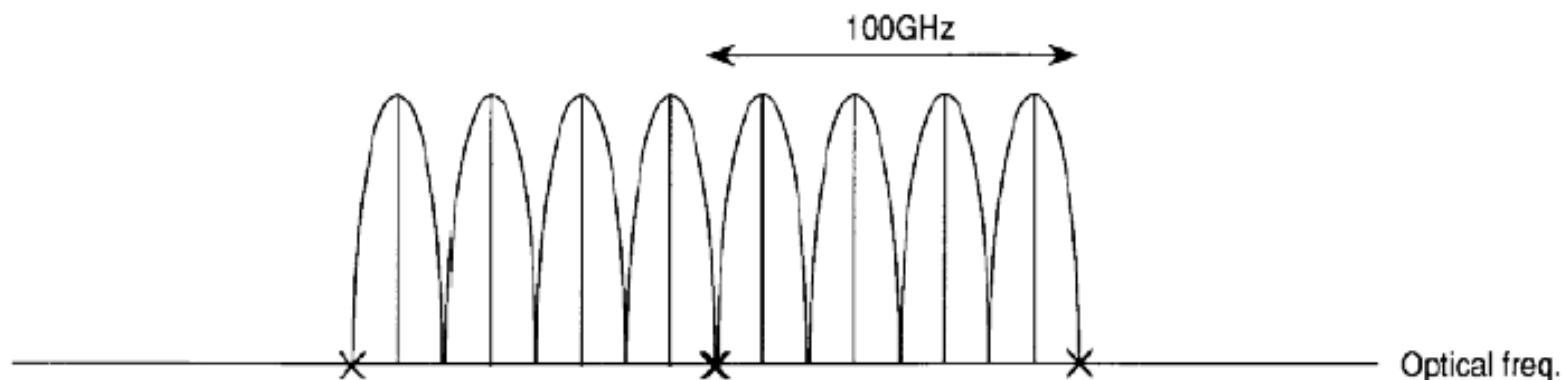
- یک طول موج یکسان و شکاف زمانی واحد توسط چند کانال بصورت مشترک استفاده می شود.
- ویژگی متمایز کننده چند سیگنال فوق کدی است که مورد استفاده قرار می گیرد و این کد برای هر کاربر یکتاست. این کدها بایستی متقابلاً متعامد باشند.
- در سمت گیرنده خروجی دیکودکننده نوری برای **Correlation** بین سیگنال دریافتی و یک فیلتر منطبق (**matched filter**) است
- اساساً سیستمهای **OCDM** پیچیده تر از سیستمهای **WDM** و **TDM** هستند.
- با تکنولوژی حال حاضر نرخ ارسال داده های بالایی را پشتیبانی نمی کنند و لذا برای شبکه های محلی یا شبکه های دسترسی با تعداد کاربر زیاد و نرخ بیت کم برای هر کاربر شاید مناسبتر باشند.

OCDM

Bit rate : 10Gbit/s

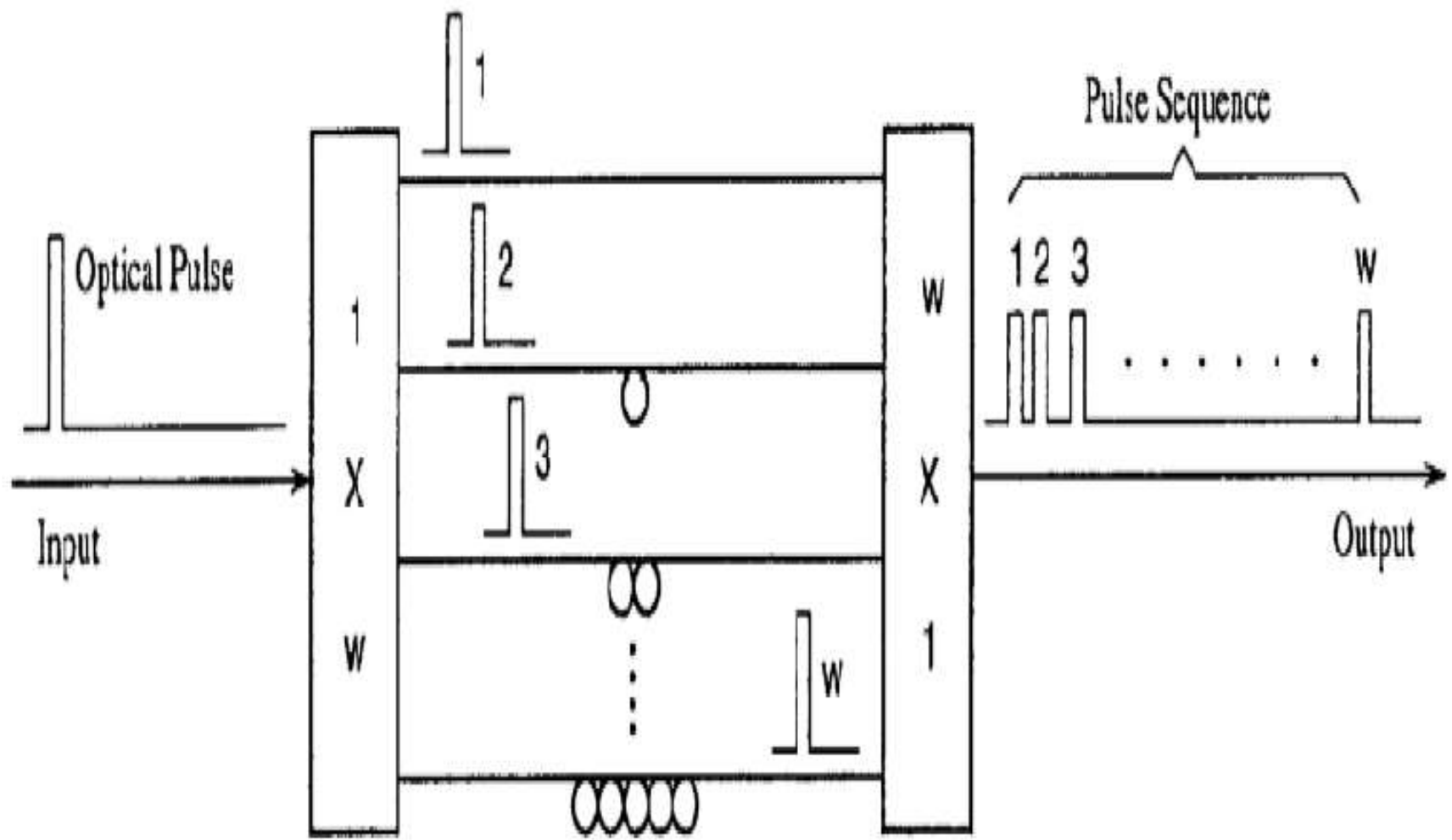


(a)

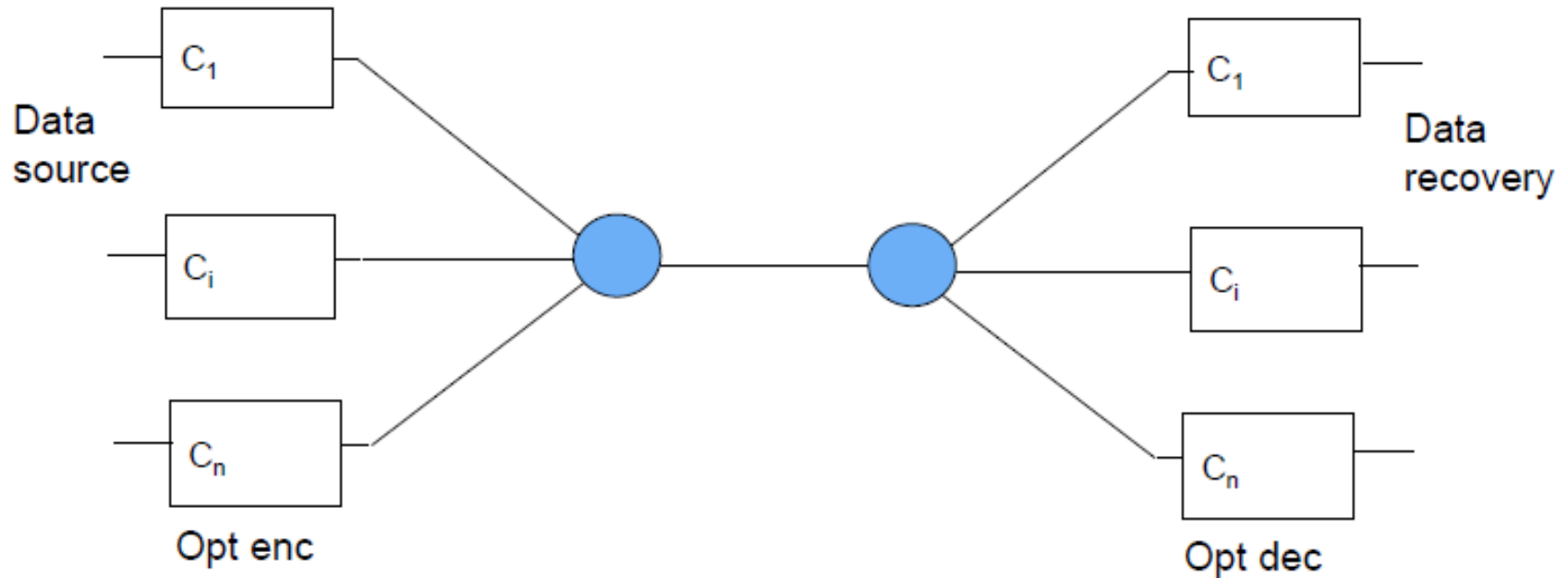


(b)

OCDM Code Generation



Orthogonal Coding



-OOC(Optical Orthogonal Coding)

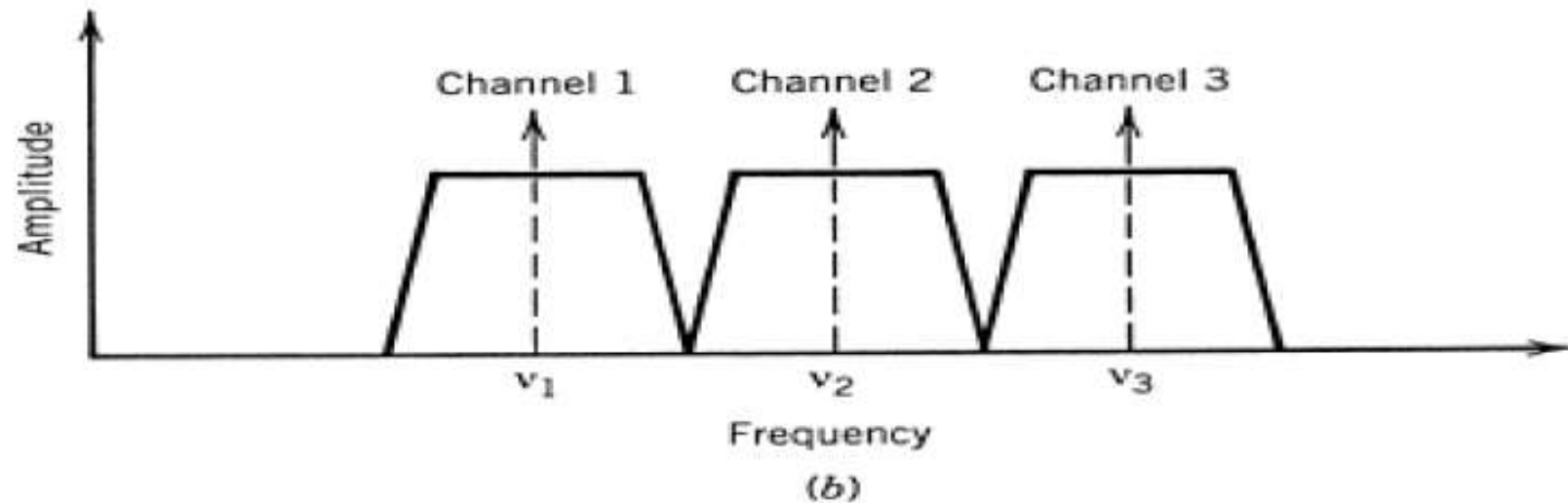
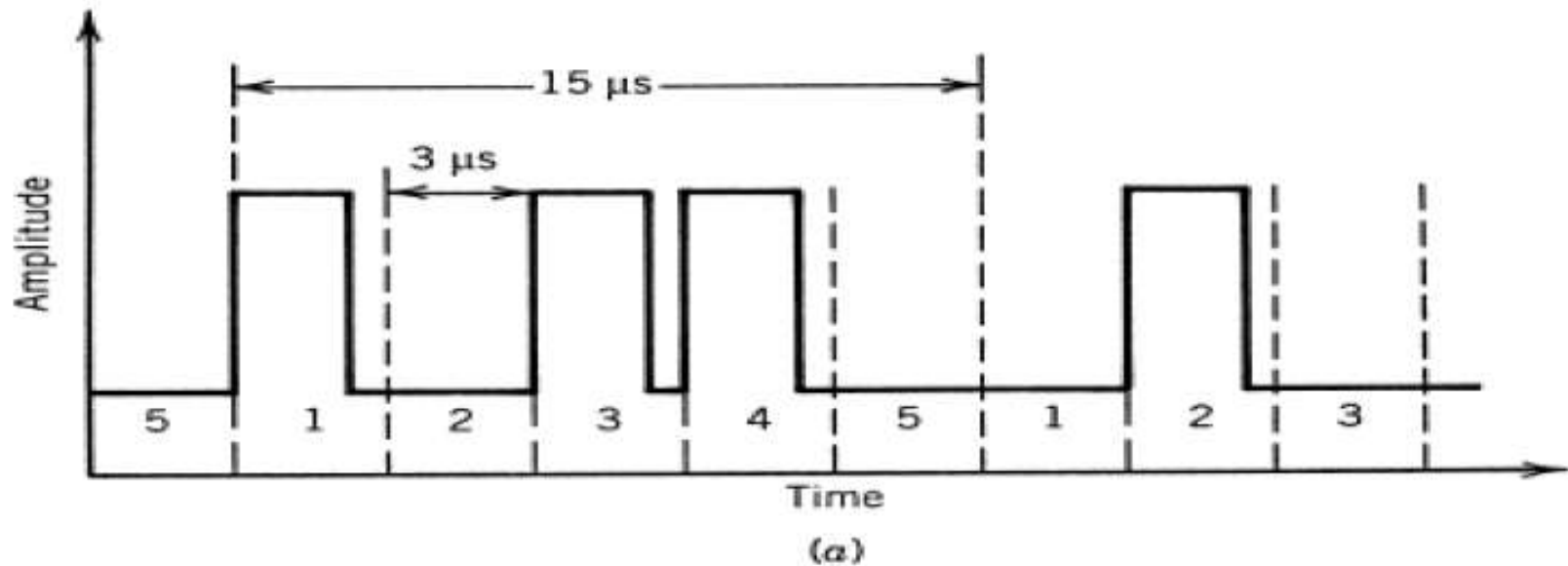
$$\int C_i C_i = N$$

$$\int C_i C_j \leq \varepsilon$$

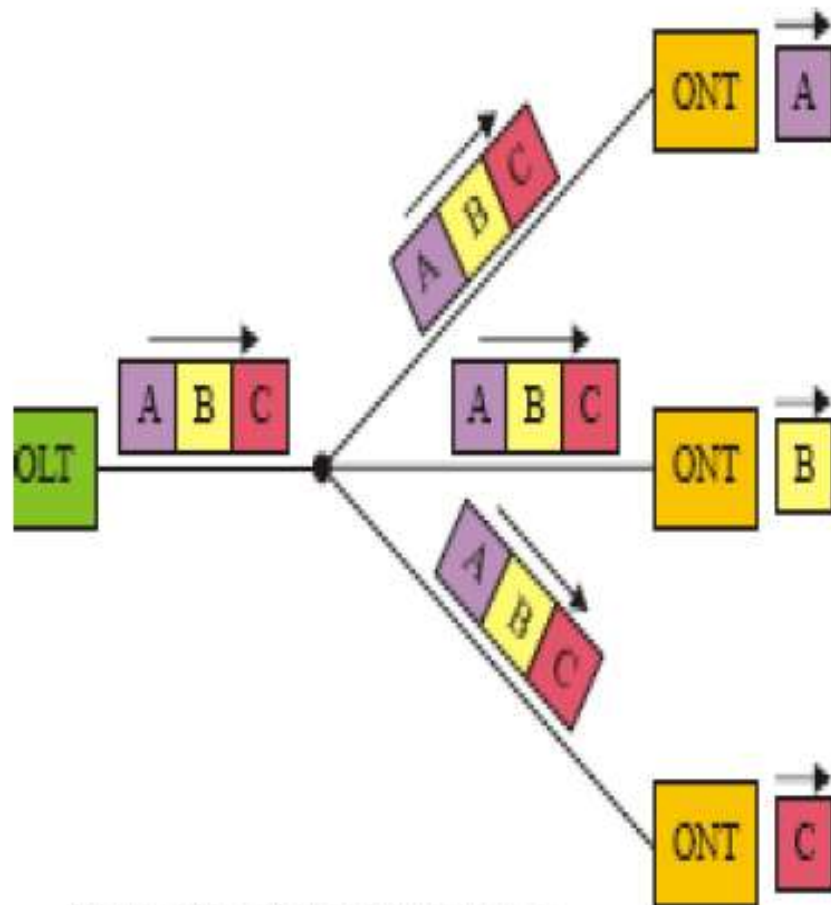
Time Division Multiplexing (TDM)

- در **TDM** هر کانال دارای شکاف زمانی خاص خود برای حمل اطلاعات است. شکافهای زمانی مختلف بین هم قرار می گیرند (**Interleave**).
- **TDM** باعث می شود نرخ ارسال داده به ازای یک طول موج افزایش یابد. در نتیجه برای حجم معینی از اطلاعات تعداد طول موجهای کمتری لازم می شود.
- سیستم با تعداد طول موج کمتر از نظر مدیریتی راحتتر است. در مقایسه با تعداد بیشتر طول موجها با نرخ داده کم.
- اشکال این است که برای سیستم **TDM** با نرخ داده **160Gb/s** پالسهایی با عرض **۲.۵** پیکوثانیه لازم است اگر نرخ داده به **640Gb/s** یا در حد ترابیت بر ثانیه برسد عرض پالسهای مورد نیاز به محدوده **۳۰۰ تا ۶۰۰** فمتوثانیه خواهد رسید که تولید چنین پالسهایی مشکل است.

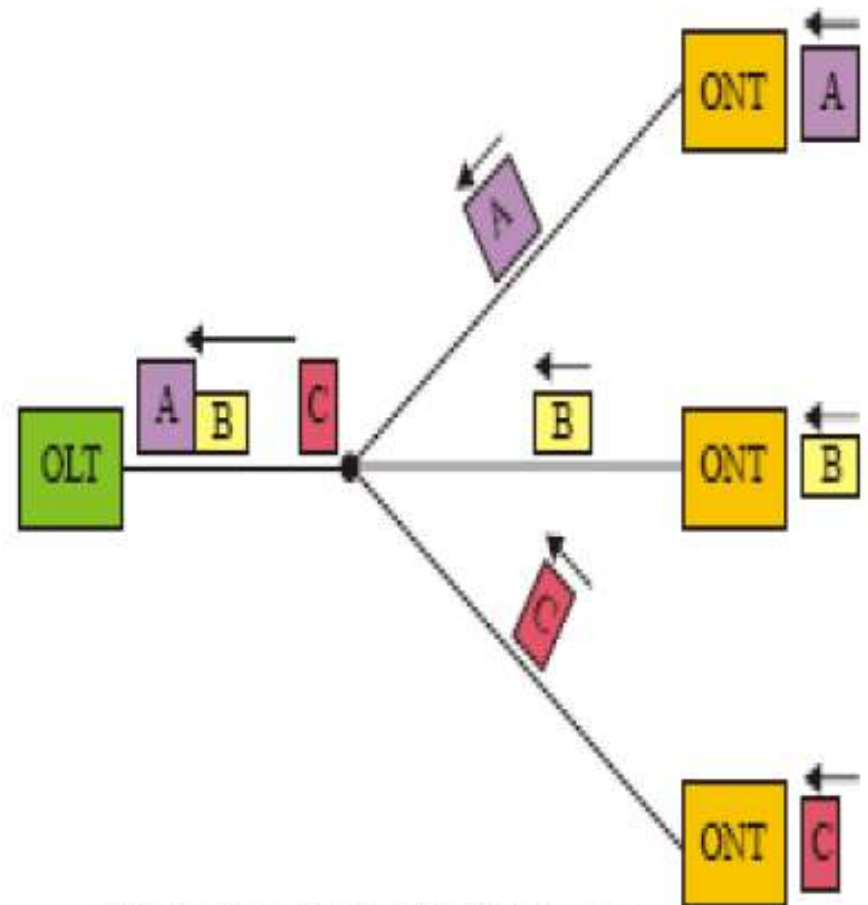
TDM Time Slots



TDM



TDM: Time Division Multiplexing



TDMA: Time Division Multiple Access

HB-OF(09)_F9-2

SDH

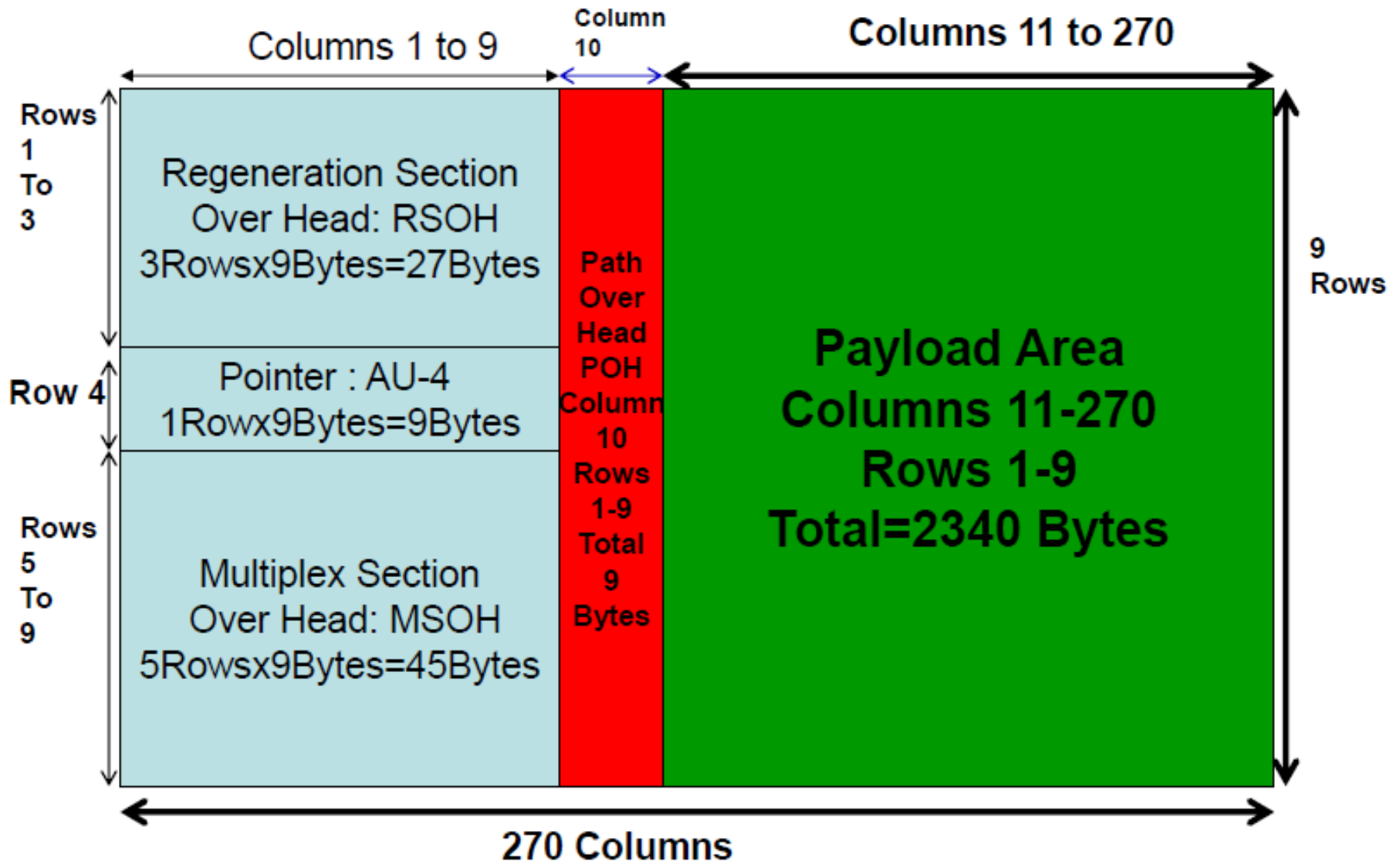
• نرخ بیت های SDH و SONET استاندارد شده است.

• STM-x اسم گذاری بین المللی برای SDH است.

• OC-x اسم گذاری آمریکایی برای SONET است.

ظرفیت معادل کانال تلفنی	نرخ بیت	علامت اختصاری
2016	155.52 Mb/s	STM-1/ OC-3
8064	622.28 Mb/s	STM-4/ OC-12
32256	2.488 Gb/s	STM-16/ OC-48
129024	9.953 Gb/s	STM-64/ OC-192
516096	39.908 Gb/s	STM-256/ OC-768

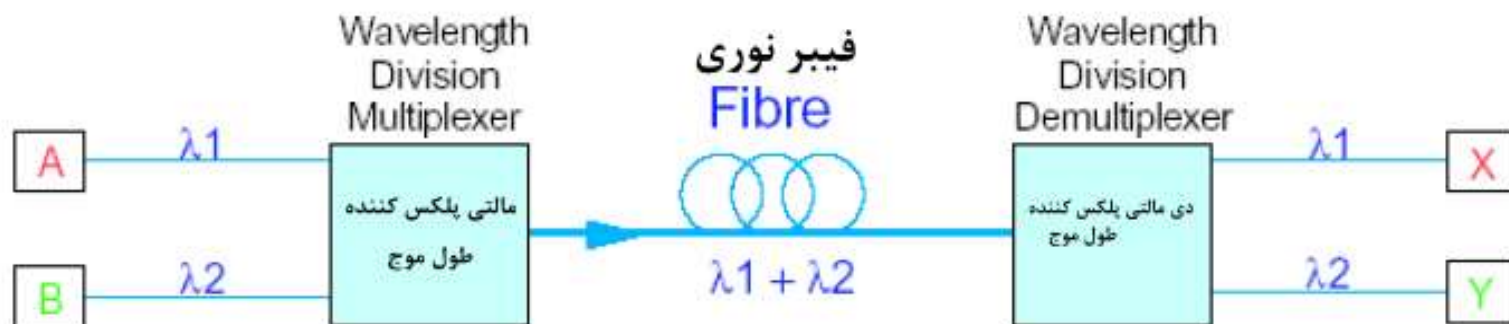
ساختار فریم STM-1



مشخصات فریم STM-1

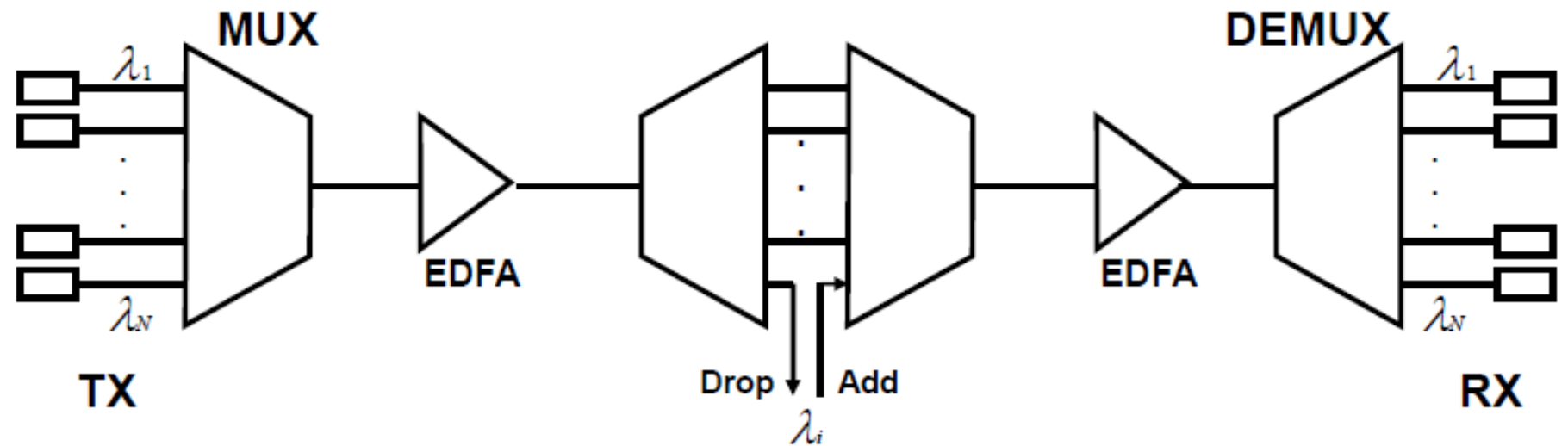
- کل زمان یک فریم STM-1 برابر ۱۲۵ میکروثانیه است. تا بتوان ۸۰۰۰ فریم در ثانیه ارسال کرد برای رعایت حداقل تعداد نمونه های نایکوئیست
- در عمل ابتدا سطر اول بعد سطر دوم و ... نهایتا سطر ۹ام ارسال می شود.
- هر عنصر ماتریس فریم یک بایت معادل ۸ بیت است.
- در نتیجه هر بایت معادل ۶۴ کیلو بیت بر ثانیه است: $۸۰۰۰ * ۸ = ۶۴۰۰۰$
- نرخ بیت کل در نتیجه ۱۵۵.۵۲ مگابیت بر ثانیه است: $۹ * ۲۷۰ * ۸ * ۸۰۰۰ = ۱۵۵۵۲۰۰۰۰$
- نرخ بیت Payload برابر ۱۴۹.۷۶ مگابیت بر ثانیه است.
- نسبت سرباره به کل ترافیک ۳.۷٪ است (۱۰ به ۲۷۰)، در ATM این عدد ۹.۴٪ است (۵ به ۵۳)

Wavelength Division Multiplexing(WDM)

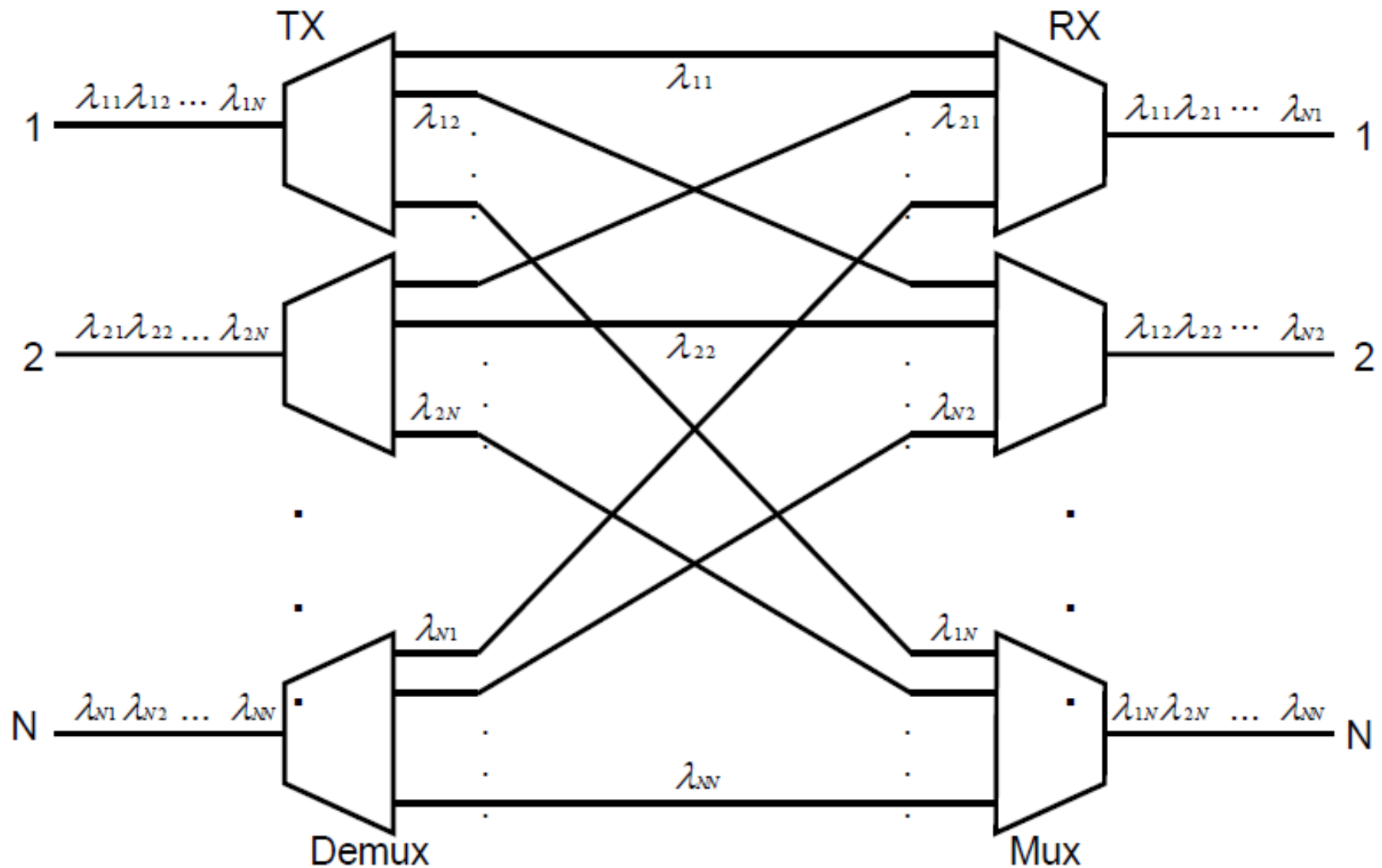


- چندین کانال اطلاعات روی یک فیبر نوری منتقل می شوند.
- هر کانال دارای طول موج خاص خود است.
- در شکل فوق A با X و B با Y ارتباط برقرار می کند مثل حالتی که فیبر جداگانه ای بین آنها اختصاص داده شده باشد.
- اوایل یک کانال طول موج ۱۳۲۰ نانومتر و دیگری طول موج ۱۵۵۰ نانومتر را مورد استفاده قرار می داد.
- فاصله بین کانالها زیاد و تا چند صد نانومتر بود.
- به این نوع WDM با فاصله کانالهای زیاد Coarse WDM یا CWDM می گویند تا از WDM فشرده یا DWDM (Dense WDM) قابل تشخیص باشد.

Optical Add Drop



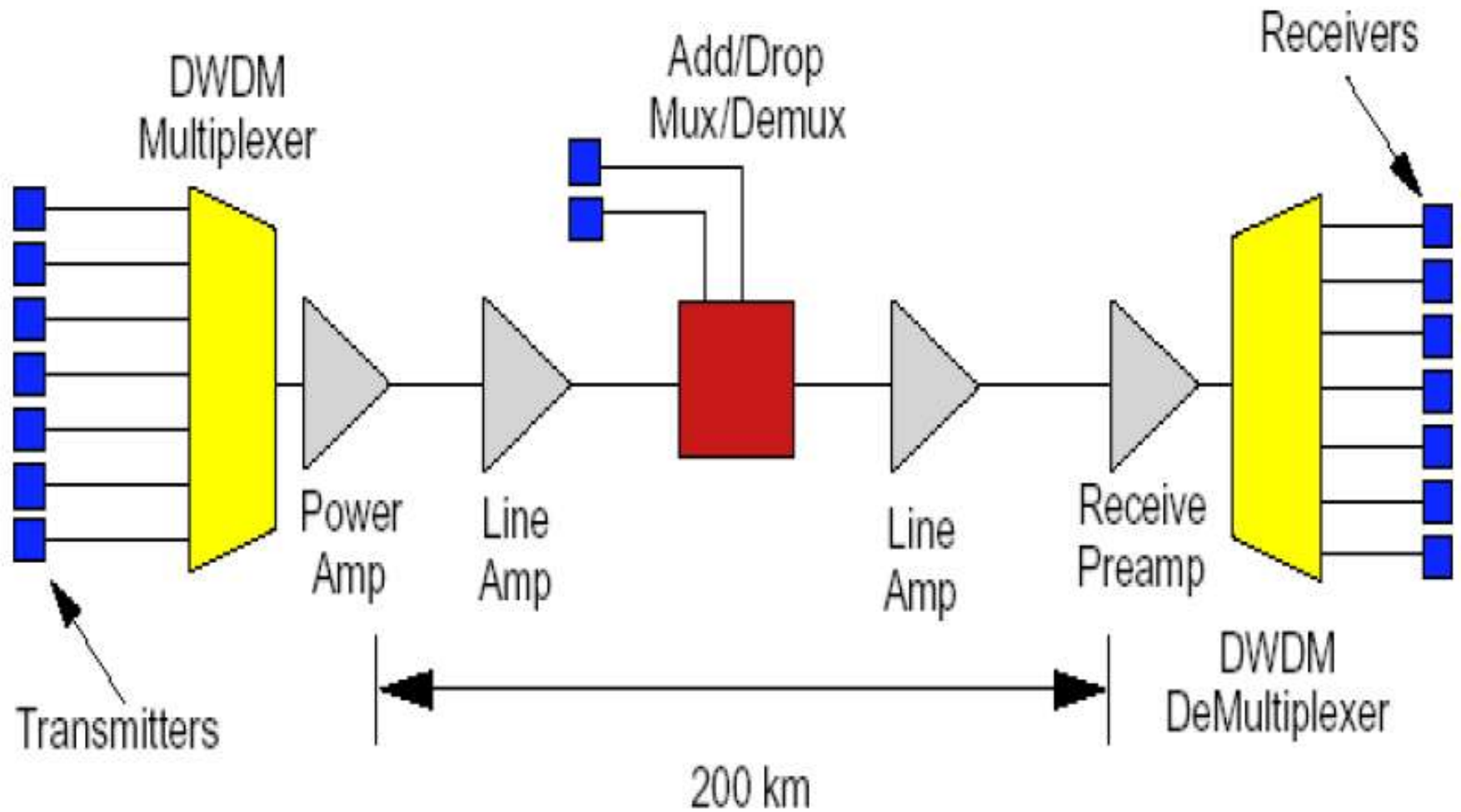
Wavelength as a Tool for Routing and Switching



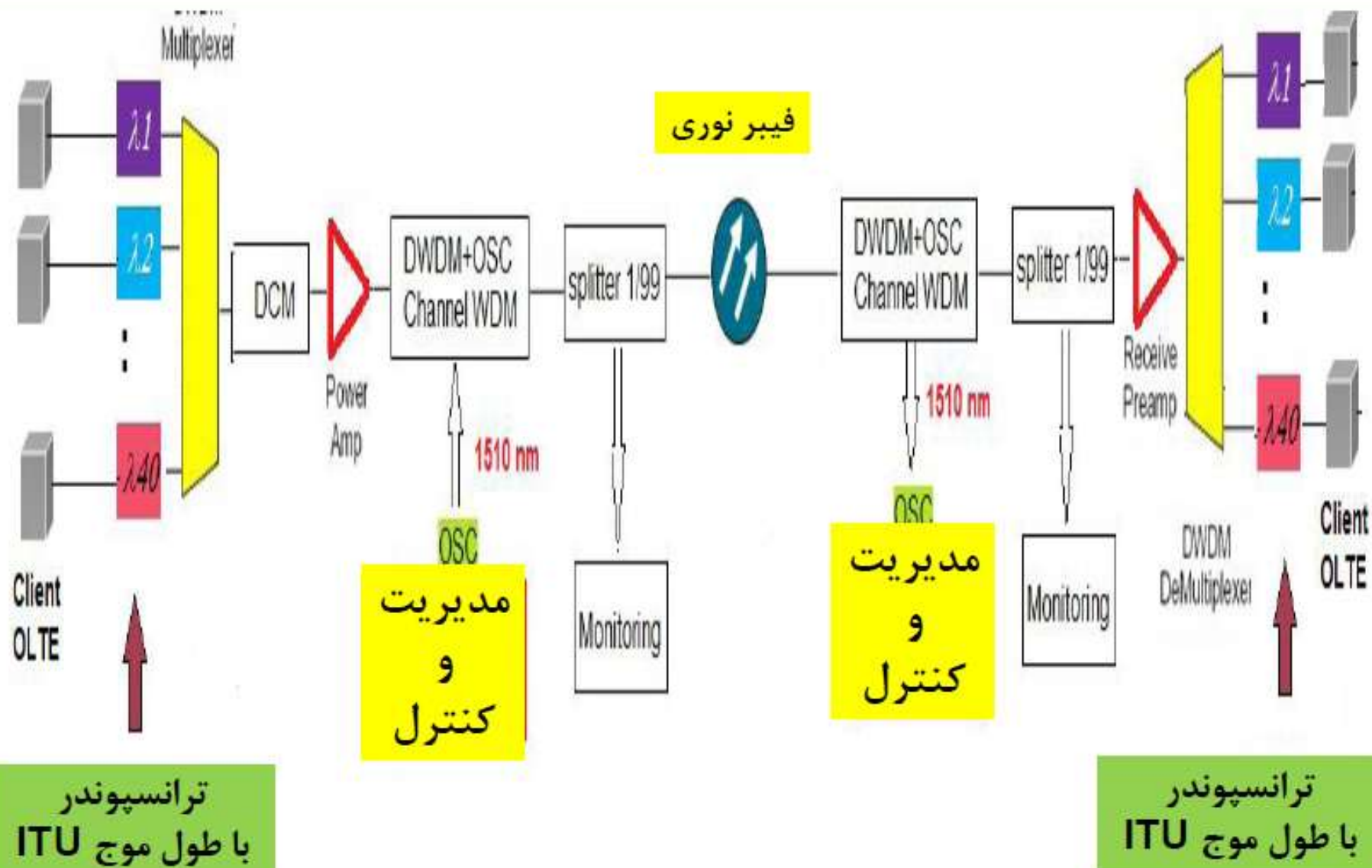
مالتی پلکس طول موج

WDM

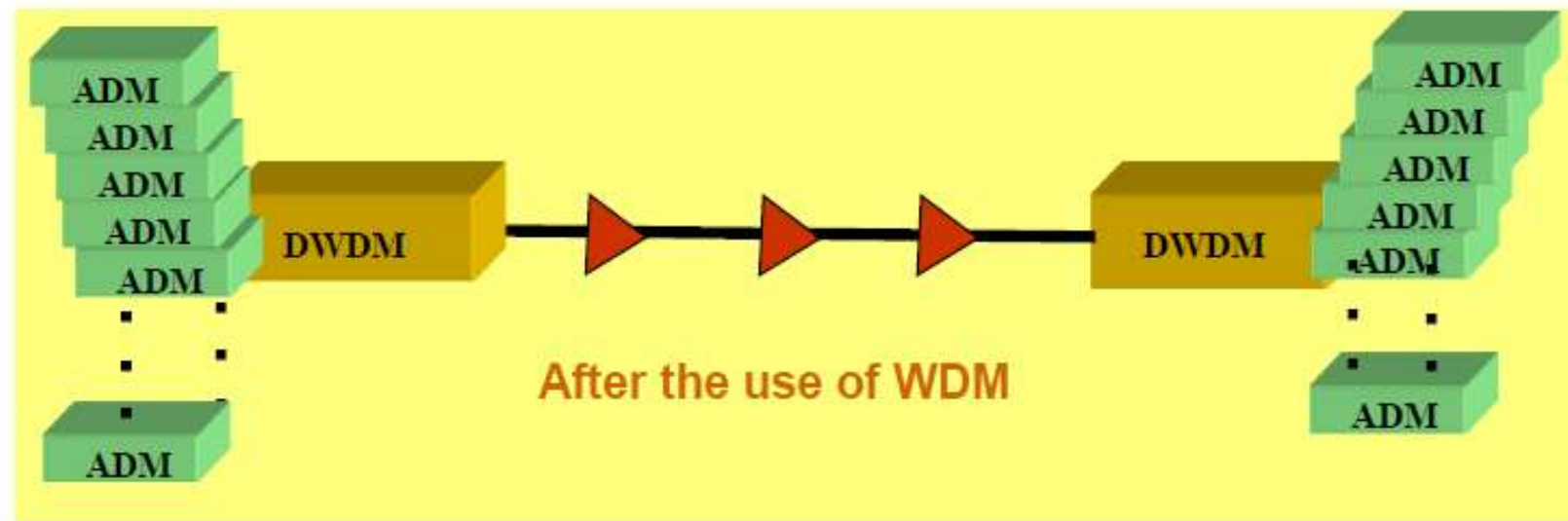
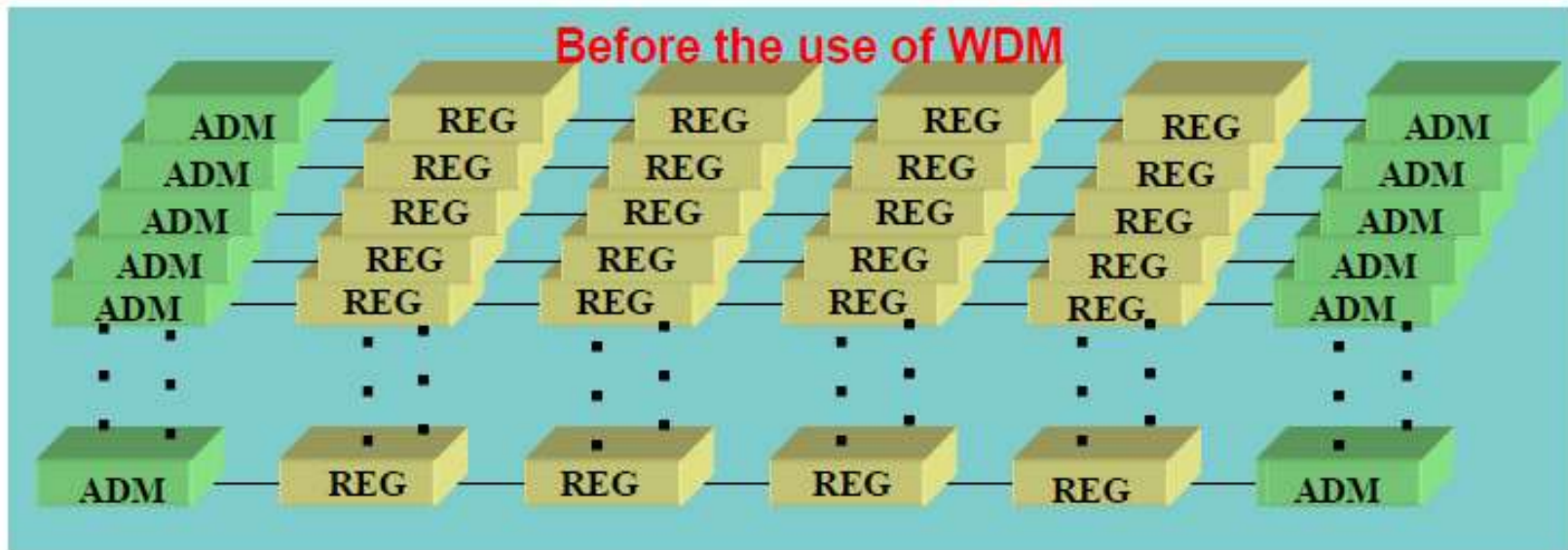
DWDM سیستم



سیستم DWDM با واحدهای کنترل



DWDM Reduces the Cost of Networking

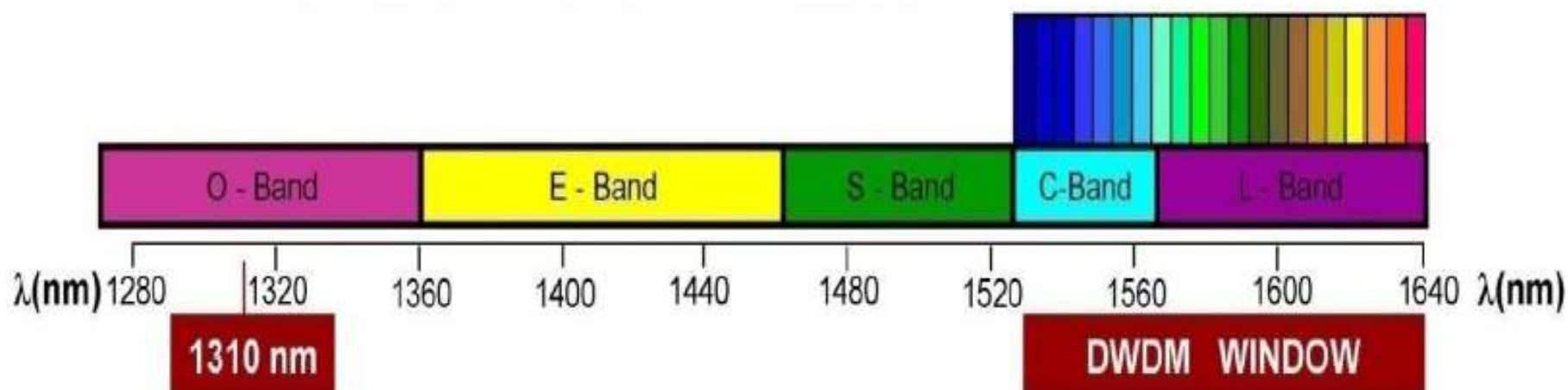


تعريف

- **Channel** consists of a band centred on one of the optical frequencies known as the *channel centre wavelength* which is a wavelength that is selected from ITU Grid.
- **ITU "grid"** : 100GHz spacing from a reference frequency of 193.1THz equivalent to 1552.52nm
- **Channel spacing**: the optical frequency difference between adjacent wavelengths
- **The maximum number of WDM channels**: dividing the available bandwidth by the channel spacing
- By improving laser sources and reducing nonlinear effects in optical fibres it is possible to reduce the channel spacing

باند‌های طیف نوری بر اساس G. Sup39

Band	Descriptor	Range [nm]
O-band	Original	1260 to 1360
E-band	Extended	1360 to 1460
S-band	Short wavelength	1460 to 1530
C-band	Conventional	1530 to 1565
L-band	Long wavelength	1565 to 1625
U-band	Ultra-long wavelength	1625 to 1675



طول موج های استاندارد ITU در باند C

-کانالها در محدوده باند C (C-Band) قرار دارند که برابر فاصله ۱۵۳۰ نانومتر تا ۱۵۶۵ نانومتر می باشد.

-سرعت نور حدود ۳۰۰ هزار کیلومتر در ثانیه در نظر گرفته شد.

-همه طول موج ها به نانومتر است.

• فاصله کانالهای پیشنهادی برابر ۵۰ - ۱۰۰ و ۲۰۰ گیگاهرتز به ترتیب معادل تقریباً ۰,۴ - ۰,۸ و ۱,۶ نانومتر می باشد.

- کانال نظارتی ۱۵۱۰ نانومتر برای ارسال و دریافت آلازمها و اطلاعات کنترلی و مدیریتی در نظر گرفته شد.

DWDM Wavelengths: ITU-T G.694.1

central frequencies(wavelengths) for 100 GHz spacing

$$f_c = 193.1 \pm m \times 0.1 \text{THz}$$

$$\lambda_c = 1552.52 \text{nm} \pm m \times 0.8 \text{nm}$$

central frequencies(wavelengths) for 50 GHz spacing

$$f_c = 193.1 \pm m \times 0.05 \text{THz}$$

$$\lambda_c = 1552.52 \text{nm} \pm m \times 0.4 \text{nm}$$

Channel Spacing(GHz): 400, 200, 100, 50, 25, 12.5

Channel Number: 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256, 512

Nominal Frequencies Allocation Plan for the C-Band: Long

شماره کانال	فرکانس (گیگاهرتز)	فرکانس (تراهرتز)	طول موج (نانومتر)
21	192100	192.100	1560,61
22	192200	192.200	1559,79
23	192300	192.300	1558,98
24	192400	192.400	1558,17
25	192500	192.500	1557,36
26	192600	192.600	1556,55
27	192700	192.700	1555,75
28	192800	192.800	1554,94
29	192900	192.900	1554,13
30	193000	193.000	1553,33
31	193100	193.100	1552,52
32	193200	193.200	1551,72
33	193300	193.300	1550,92
34	193400	193.400	1550,12
35	193500	193.500	1549,32
36	193600	193.600	1548,51
37	193700	193.700	1547,72

Nominal Frequencies Allocation Plan for the C-Band: Short

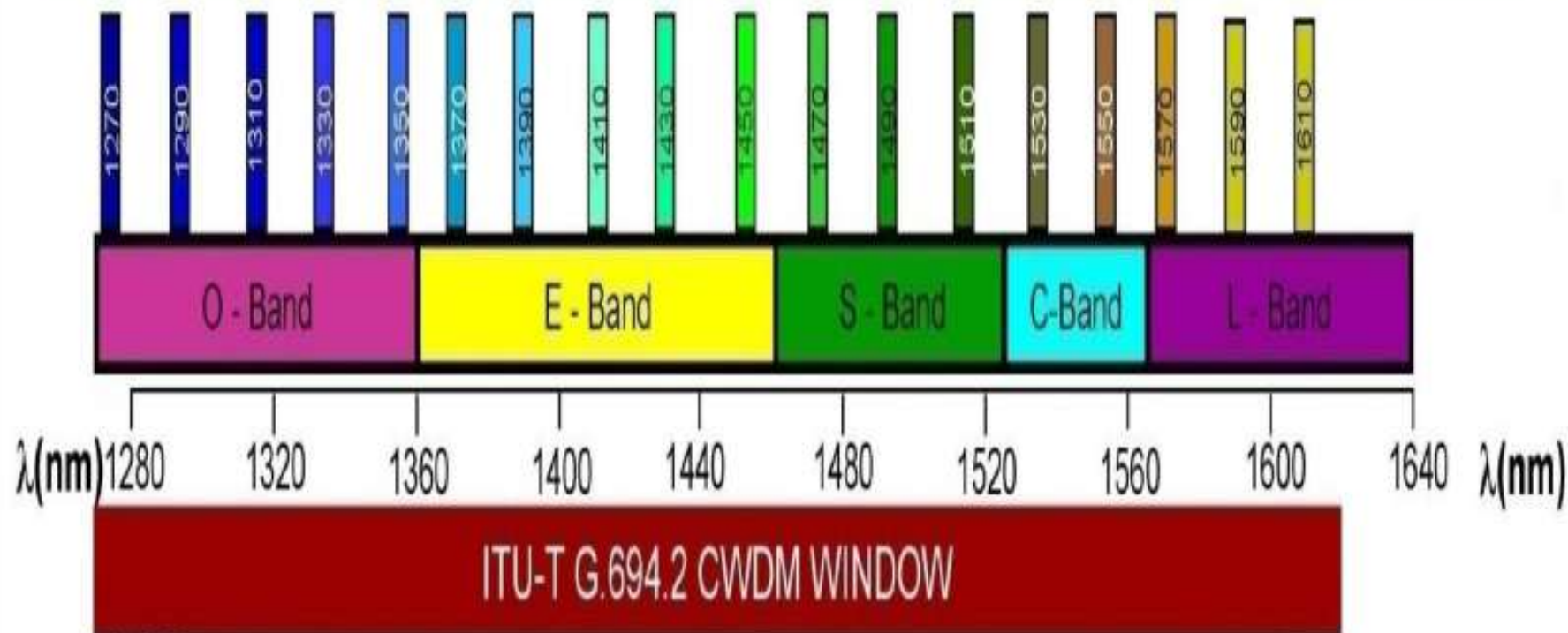
شماره کانال	فرکانس (گیگاهرتز)	فرکانس (تراهرتز)	طول موج (نانومتر)
43	194300	194.300	1542,94
44	194400	194.400	1542,14
45	194500	194.500	1541,35
46	194600	194.600	1540,56
47	194700	194.700	1539,77
48	194800	194.800	1538,98
49	194900	194.900	1538,19
50	195000	195.000	1537,40
51	195100	195.100	1536,61
52	195200	195.200	1535,82
53	195300	195.300	1535,04
54	195400	195.400	1534,25
55	195500	195.500	1533,47
56	195600	195.600	1532,68
57	195700	195.700	1531,90
58	195800	195.800	1531,12

CWDM: Coarse WDM

- coarse channel spacing of 20nm in the wavelength range from 1271nm up to 1611nm.
- Lasers with lower wavelength accuracy ($\pm 6.5\text{nm}$ compared to $\pm 0.16\text{nm}$)
- broadband filters
- Lower complexity and cost
- Suitable for short distances

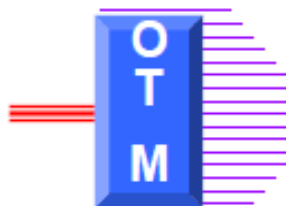
CWDM Wavelengths: ITU-G.694.2

CWDM – Coarse WDM Technology for un-amplified, moderate bandwidth applications. Lower cost than DWDM. Ideal for Metro Access applications. Characterized by a wide channel spacing over a wide optical spectrum – ITU-T G.694.2 CWDM grid uses 18 x 20 nm spaced channels from 1270 – 1610 nm



WDM Network Element (NE) Types

1. OTM



2. OADM



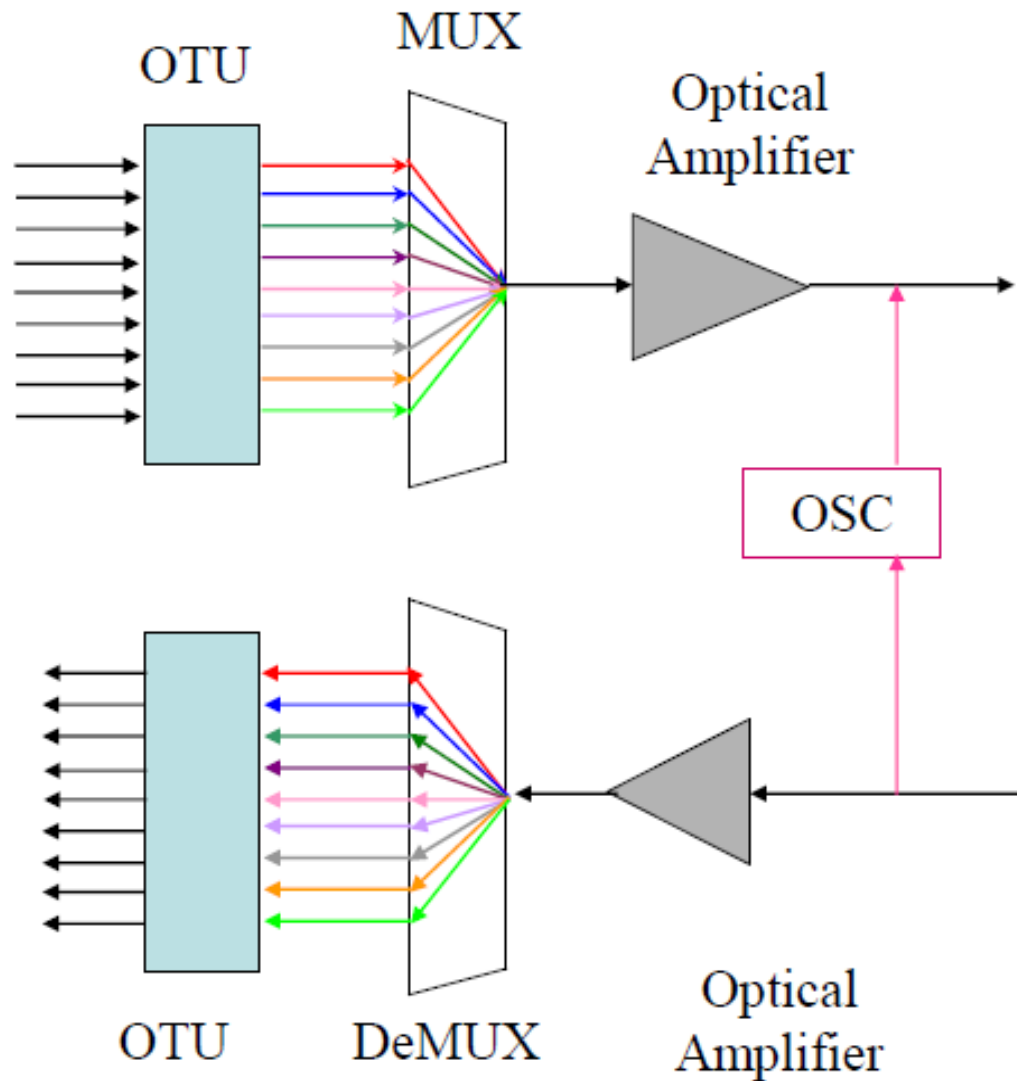
3. ILA



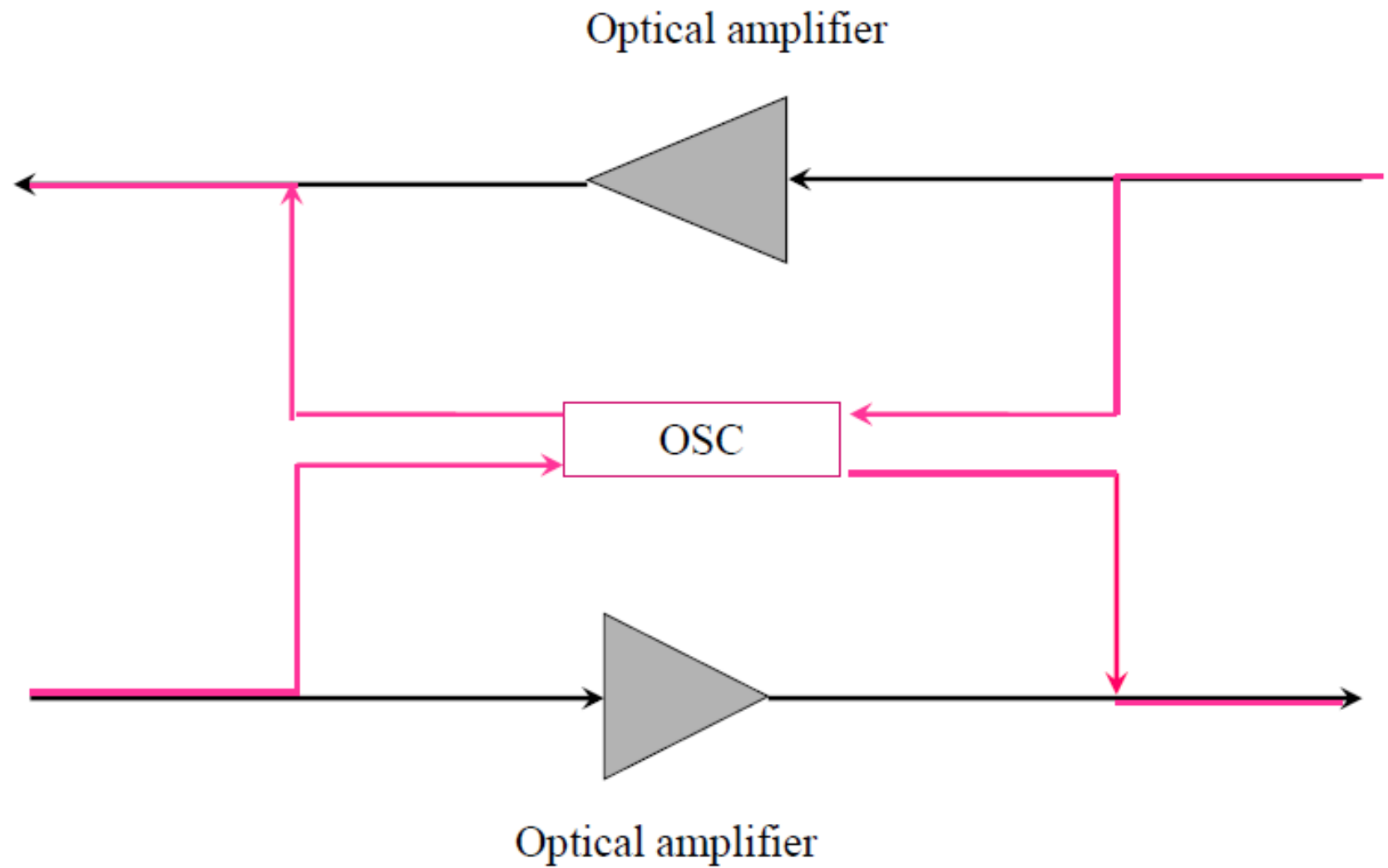
4. REG



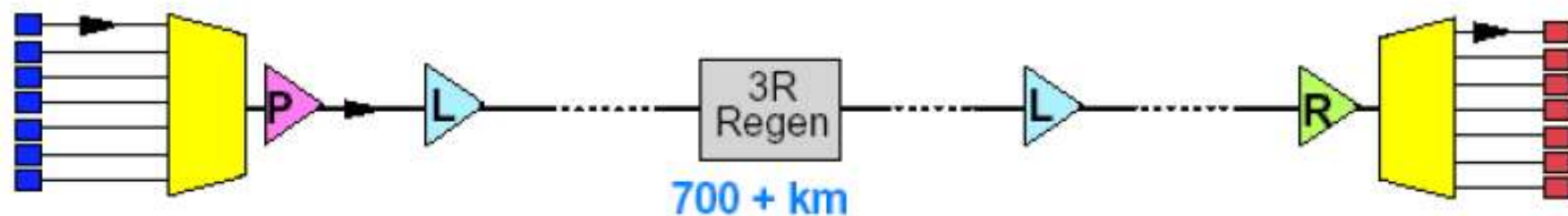
OTM



ILA

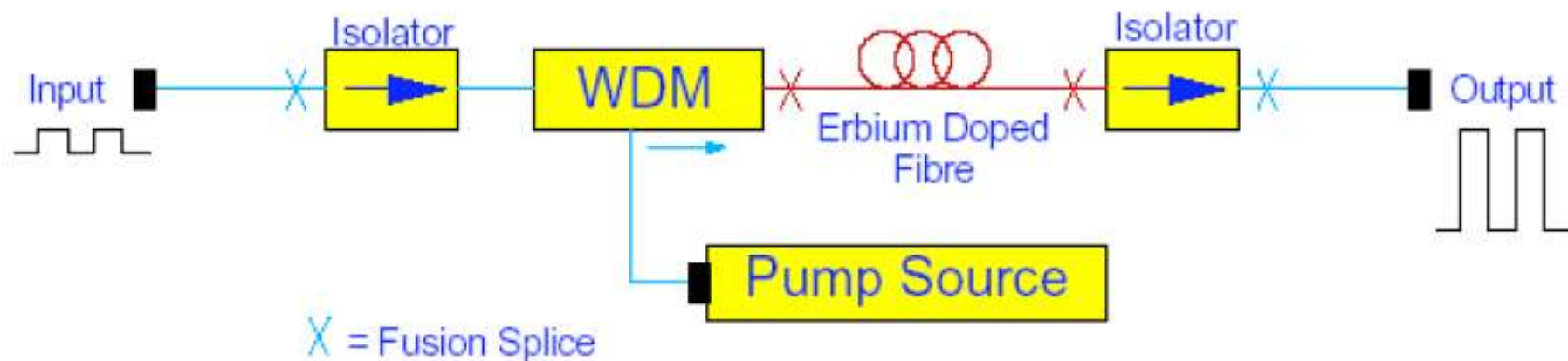


DWDM خطوط

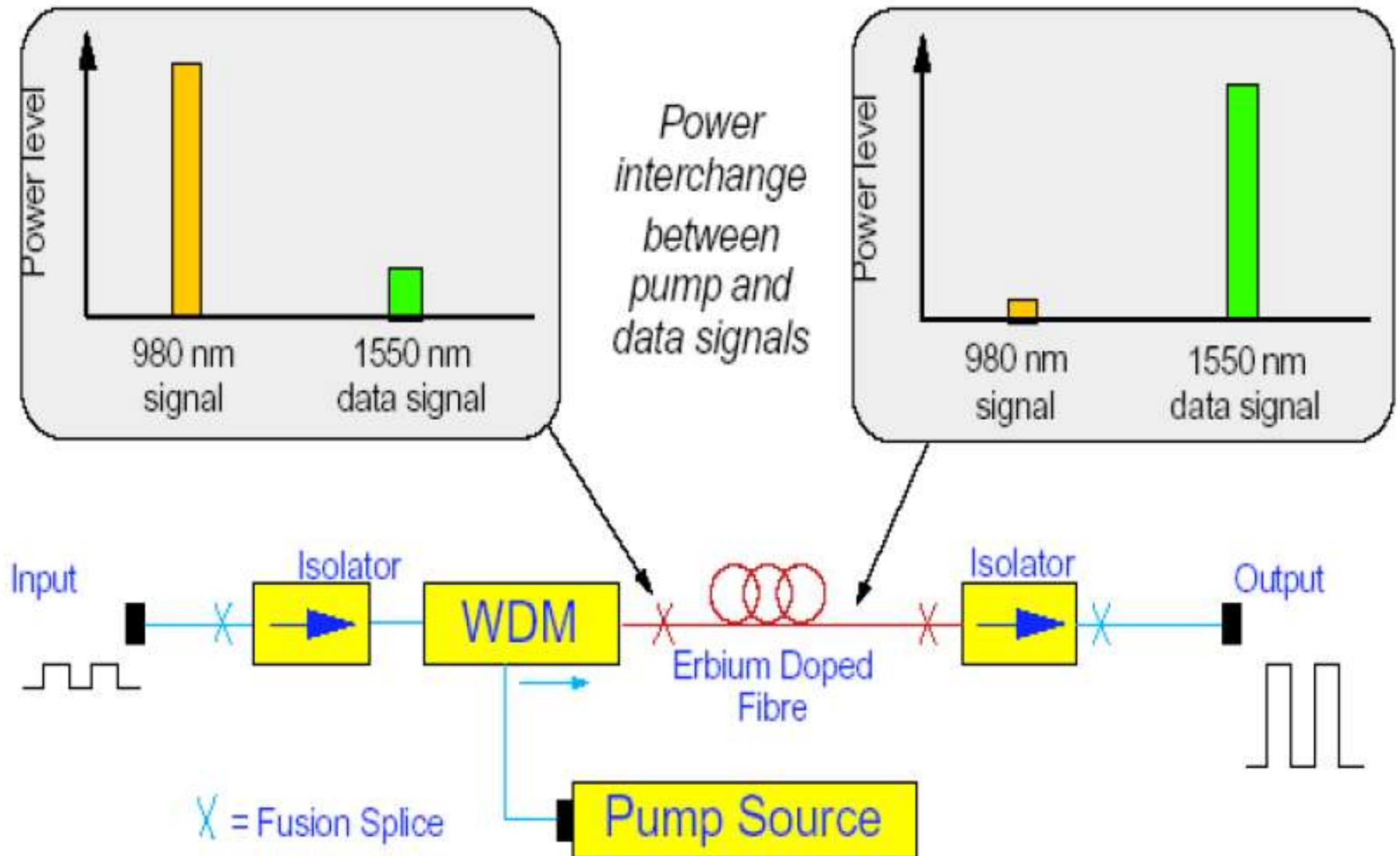


Erbium Doped Fibre Amplifier (EDFA)

- یک سیگنال نوری بعنوان پمپ به سیگنال ورودی با استفاده از **WDM Coupler** اضافه می شود.
- در داخل **Erbium Doped Fibre** قسمتی از انرژی سیگنال پمپ بر اثر پدیده تابش برانگیخته (**Stimulated Emission**) به سیگنال ورودی منتقل می شود.
- ماده افزوده شده برای کار در طول موج ۱۵۵۰ نانومتر **Erbium** است و عناصر دیگری از مجموعه خاکهای نادر می توانند برای طول موج های دیگر بکار روند.
- طول موج سیگنال پمپ می تواند ۹۸۰ یا ۱۴۸۰ نانومتر باشد.
- توان سیگنال پمپ در حد ۵۰ میلی وات است.
- گین در محدوده ۳۰ تا ۴۰ دسیبل امکان پذیر است.



طرز کار EDFA



اصول مالتی پلکسر نوری برای (OADM) Add-Drop

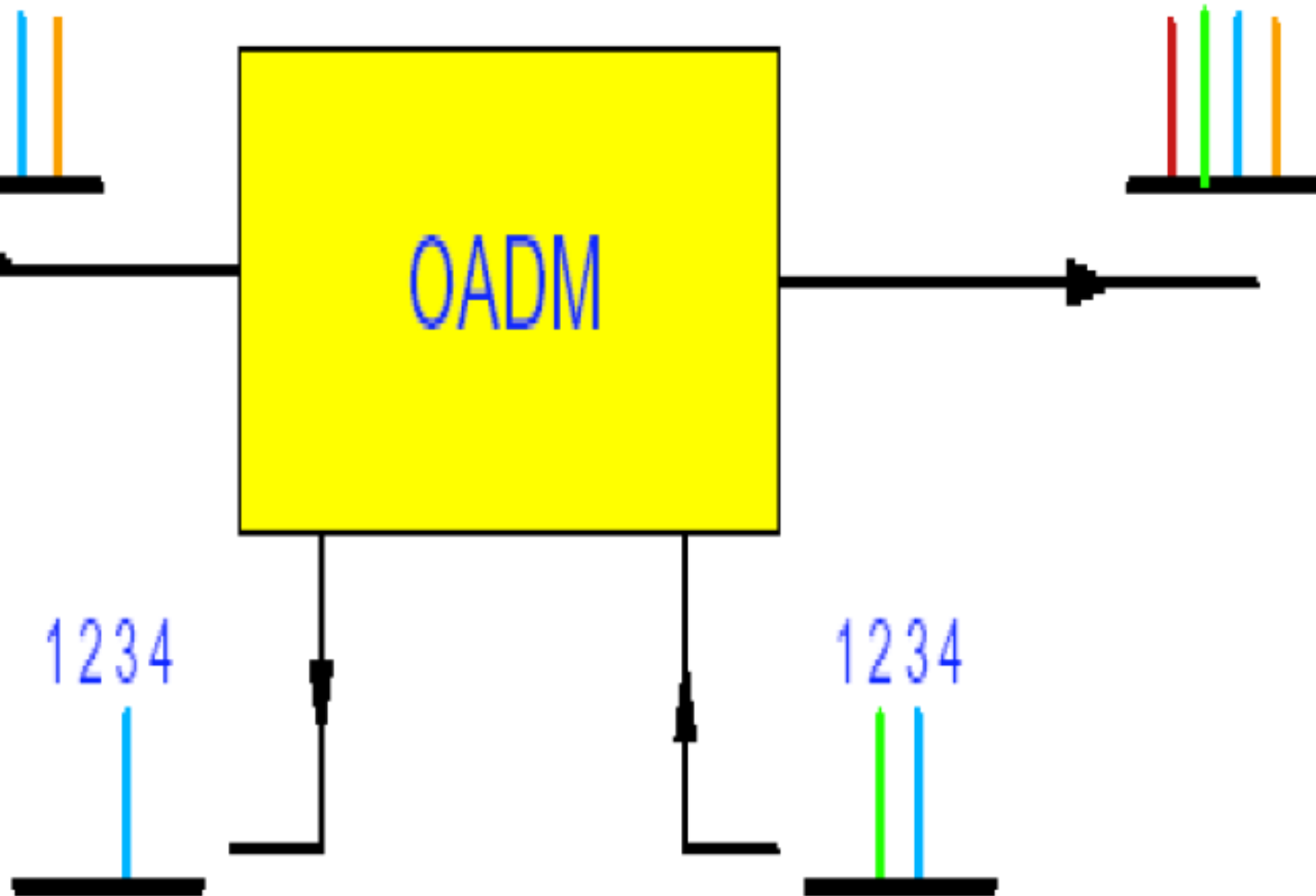
Wavelengths 1 2 3 4

Wavelengths 1 2 3 4

OADM

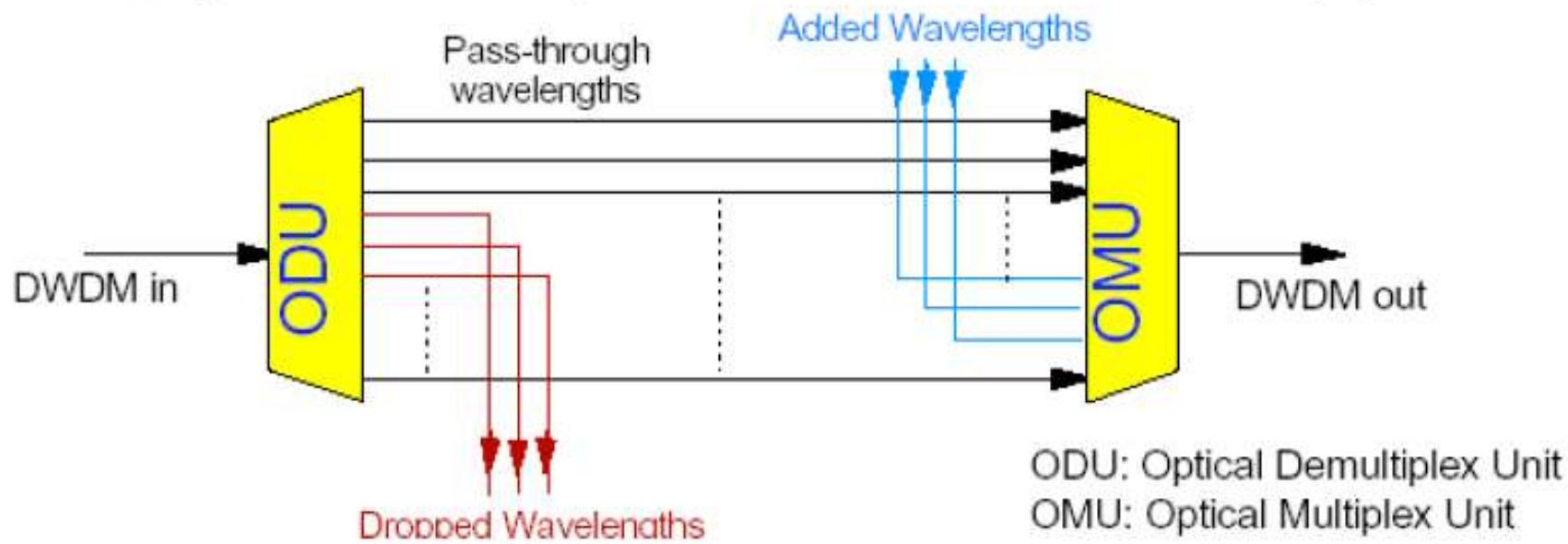
1 2 3 4

1 2 3 4

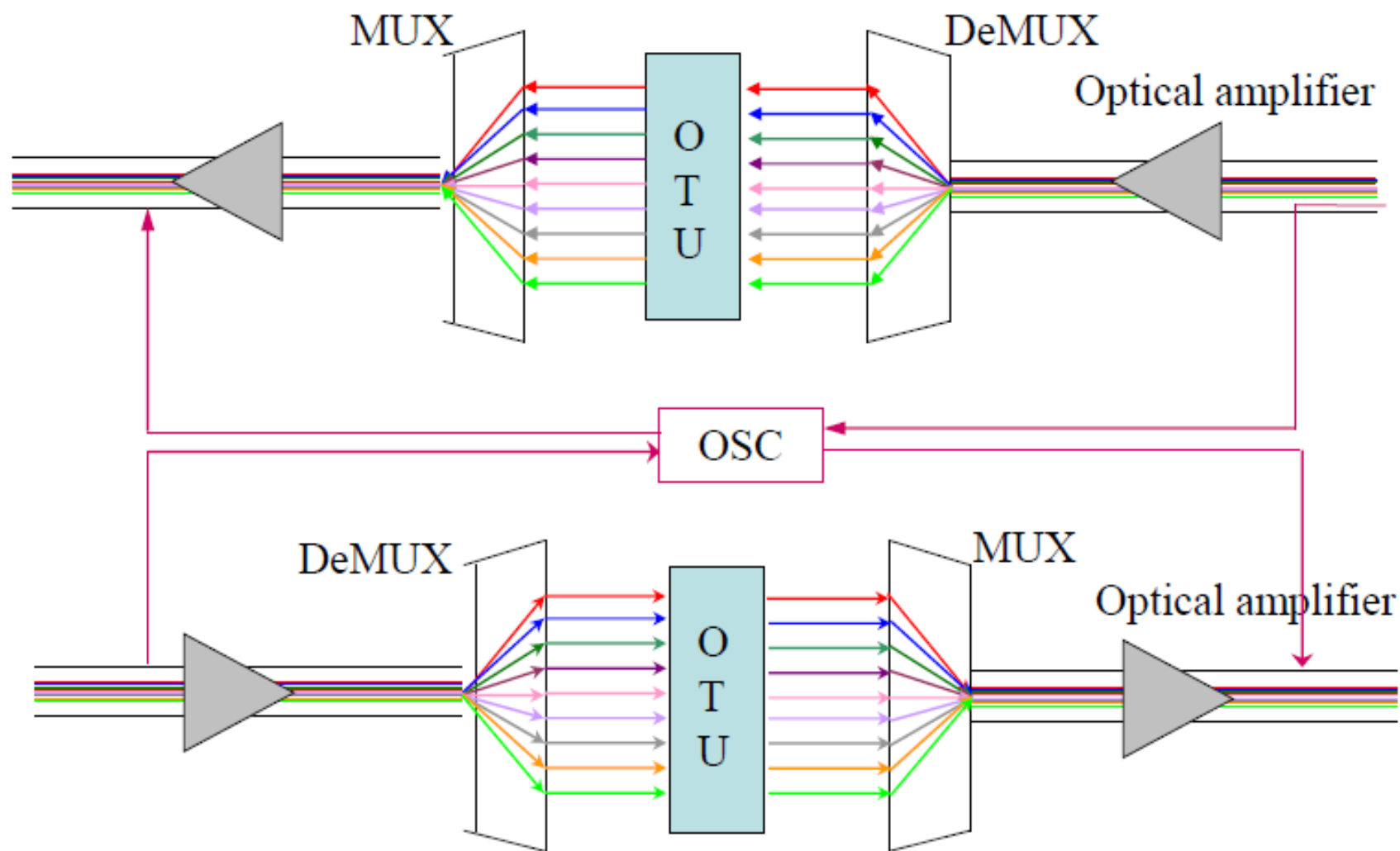


نسل اول OADM

- Simple OADM structure
 - ODU demultiplexes all wavelengths and drops off wavelengths as required
 - OMU multiplexes added wavelengths as well as those that pass through
- Disadvantages:
 - Unnecessary demultiplexing and multiplexing of pass-through wavelengths
 - Typical number of drop channels is limited to 25-50% of total payload

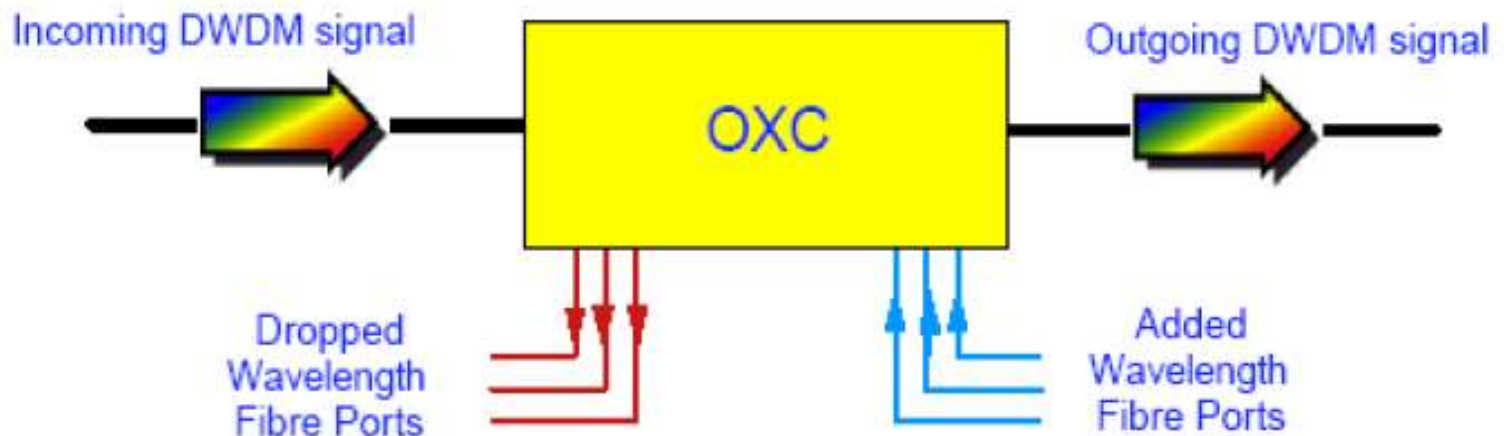


REG

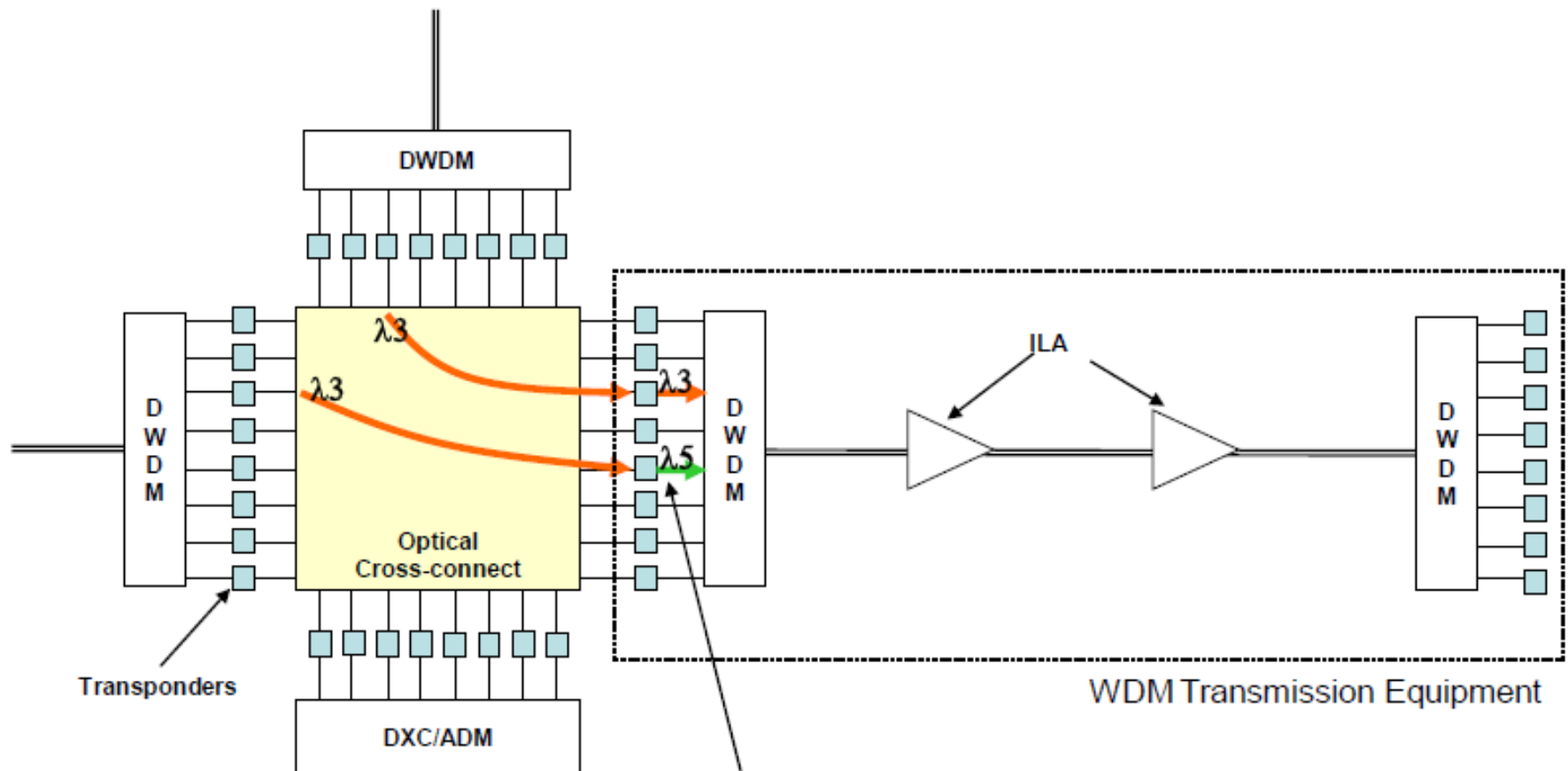


Optical Cross-Connect (OXC)

- Reconfigurable OADM, allows change to the added and dropped wavelengths
- Large number of DWDM wavelengths possible means a large number of ports
- Needs to be remotely configurable, intelligent
- Should be non-blocking, any combination of dropped/added possible
- In addition, insertion loss, physical size, polarization effects, and switching times are critical considerations.



Optical Cross-connect System

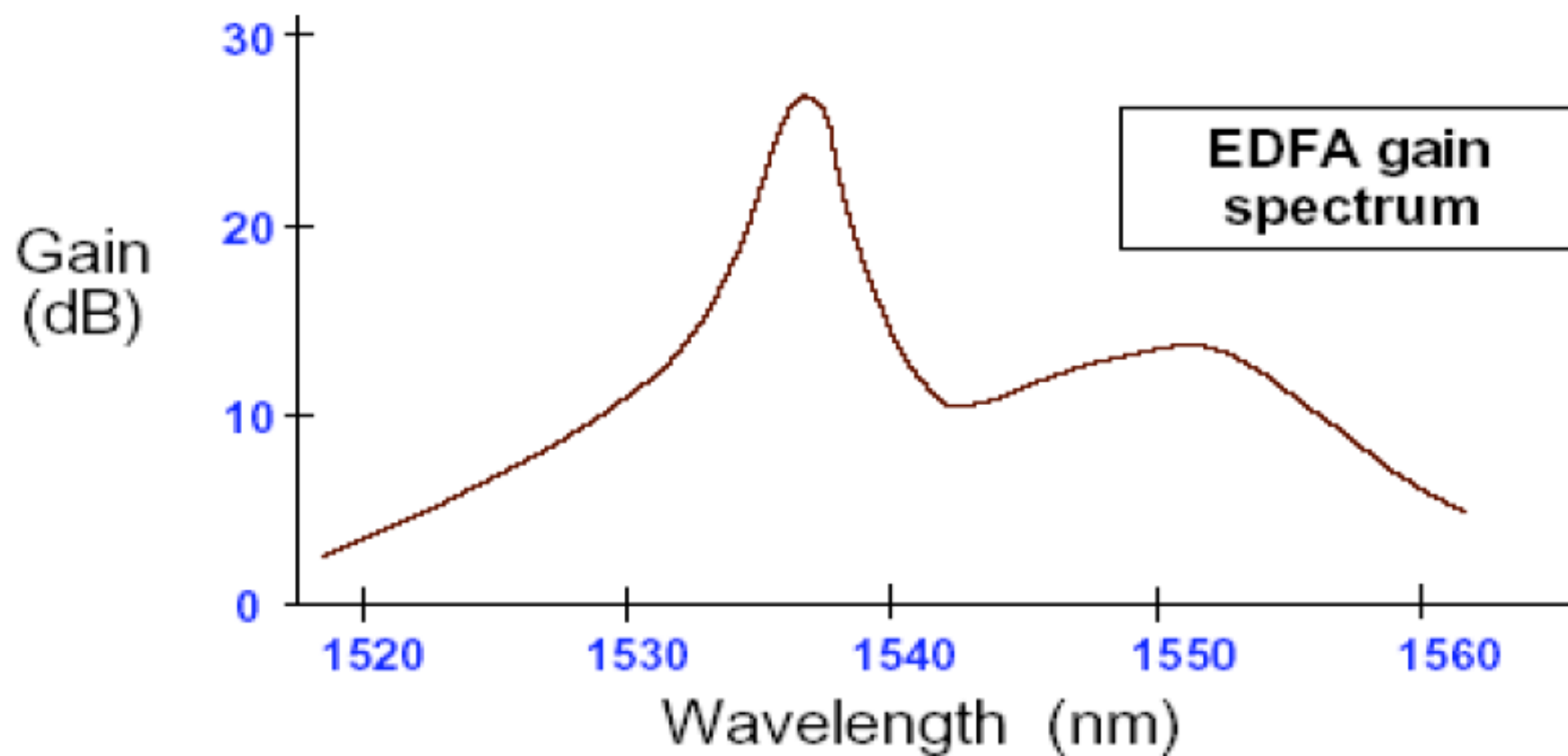


Future Challenge :
Wavelength Conversion is not mandatory
but useful for more flexibility.

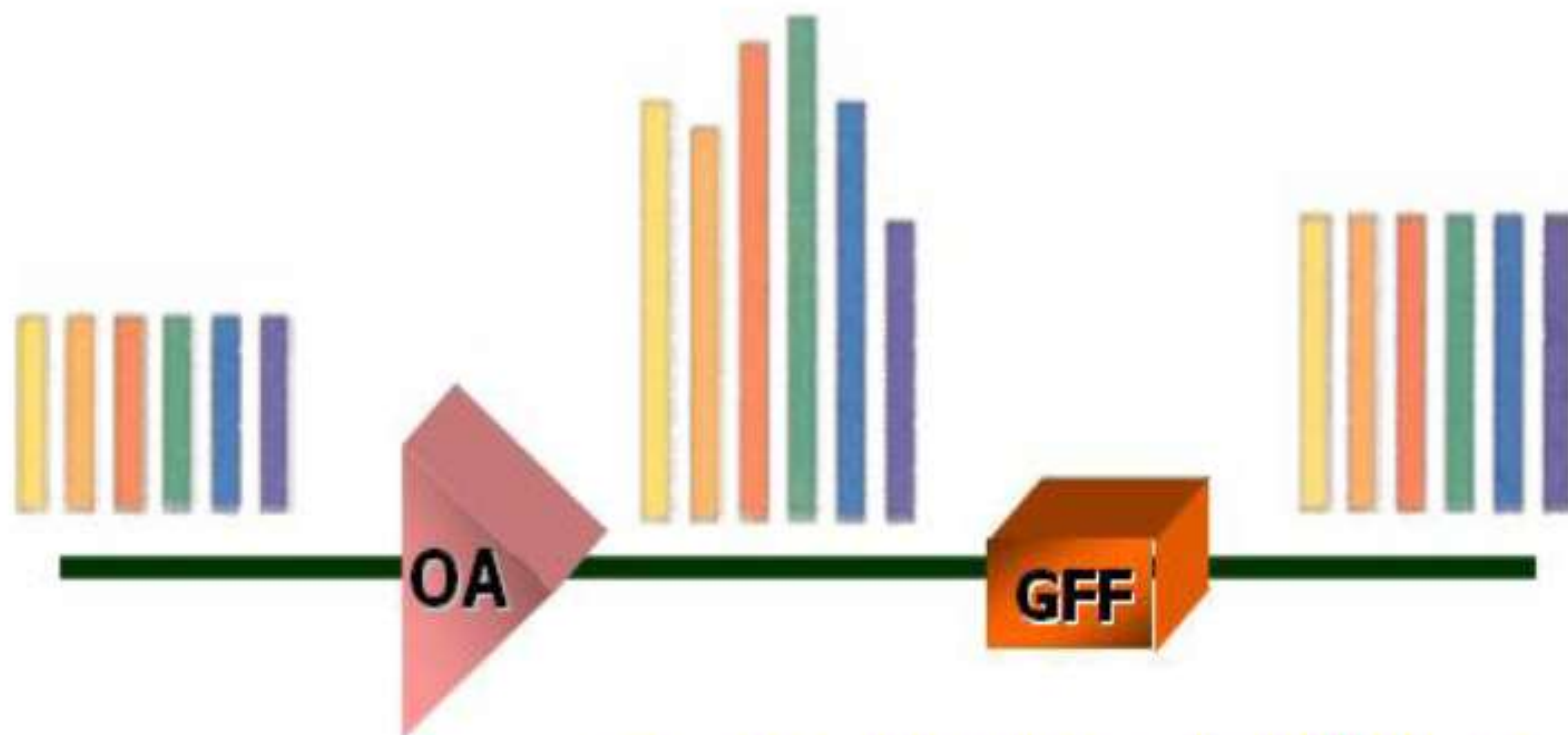
مسائل و مشکلات طراحی WDM

مشکل اول: نایکنواختی طیف گین EDFA

– طیف گین یکنواخت نیست و دارای تغییرات قابل توجه ای است. وقتی چند تقویت کننده پشت سر هم قرار گیرند وضع بدتر هم می شود



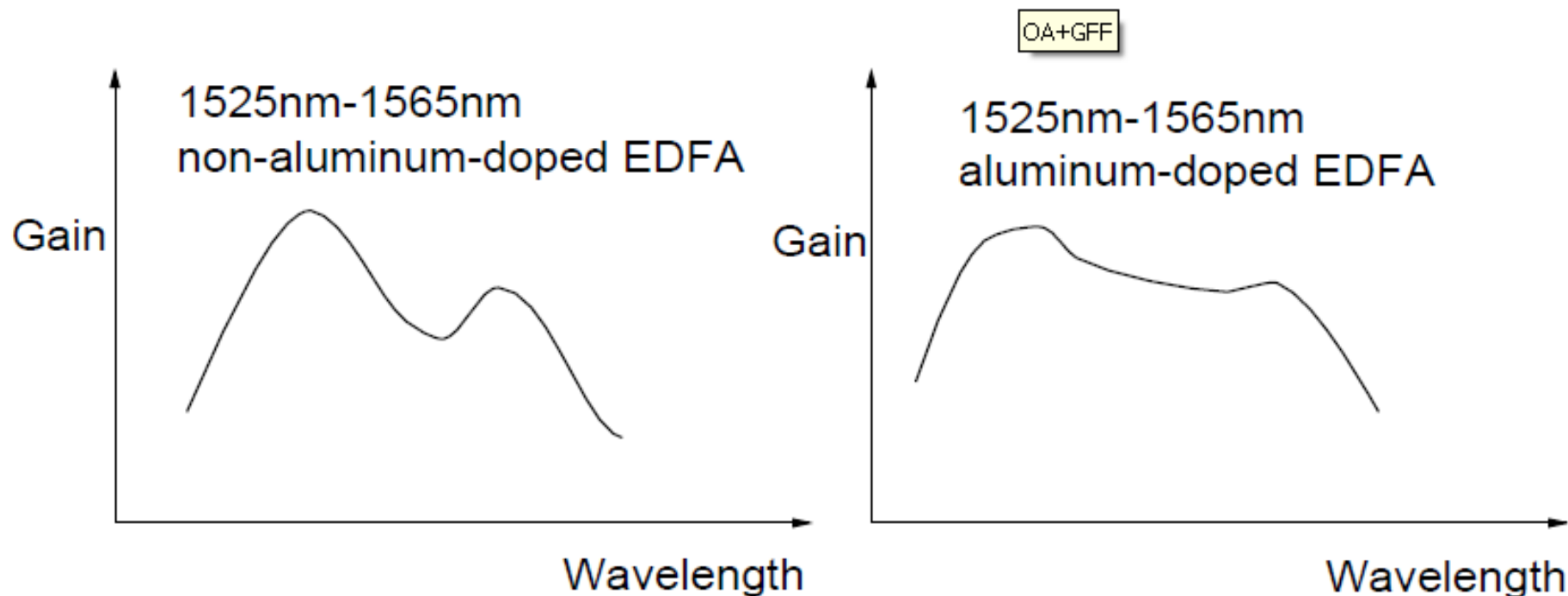
اثر نایکنواختی طیف گین EDFA روی WDM



- در یک سیگنال DWDM ایده آل، تمام کانالها دارای قدرت یکسان هستند.
- اما در عمل قدرت کانالها متفاوت است که این موضوع، **Gain Tilt** نامیده می شود.
- عوامل ایجاد **Gain Tilt** عبارتند از:
 - نامساوی بودن قدرت خروجی فرستنده ها
 - مالتی پلکس کننده ها
 - عدم یکنواختی طیف گین تقویت کننده ها
 - عدم یکنواختی پاسخ فیلترها
 - تغییرات تلفات در فیبر نوری

Gain Flattening of EDFA

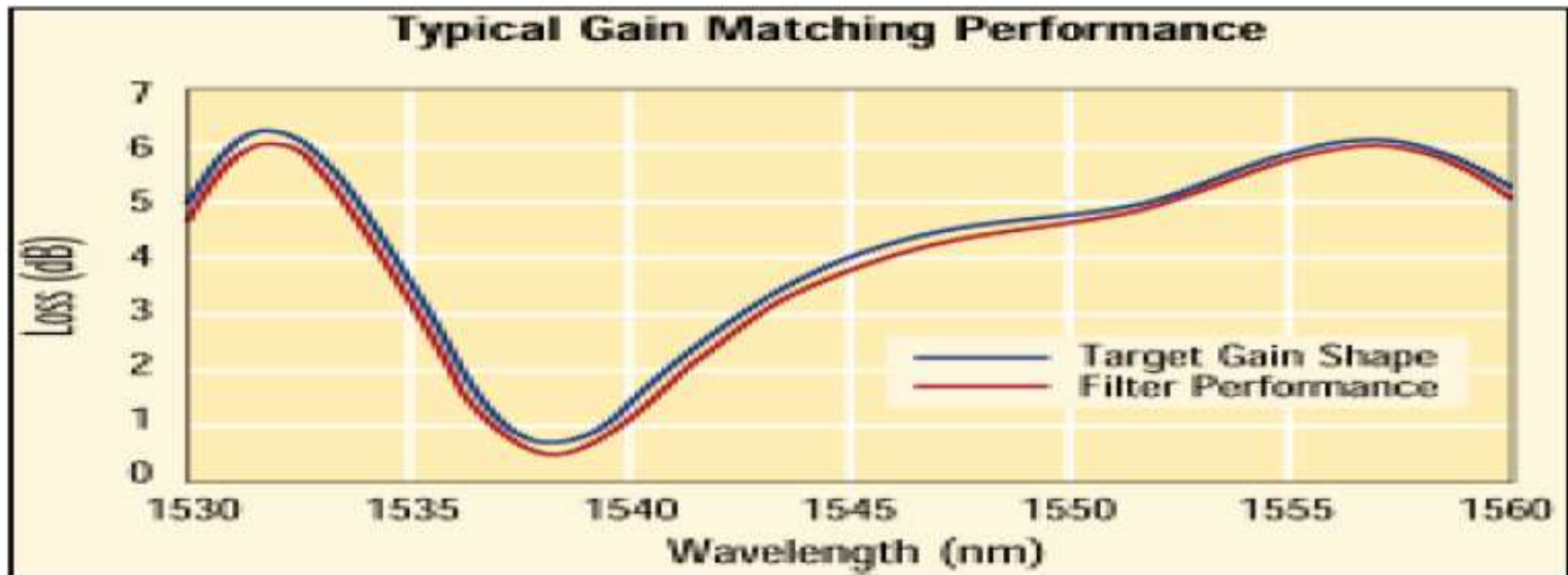
- Utilizing heavily aluminum plus erbium-doped optical fiber
- Gain Equalization Filter (GEF)



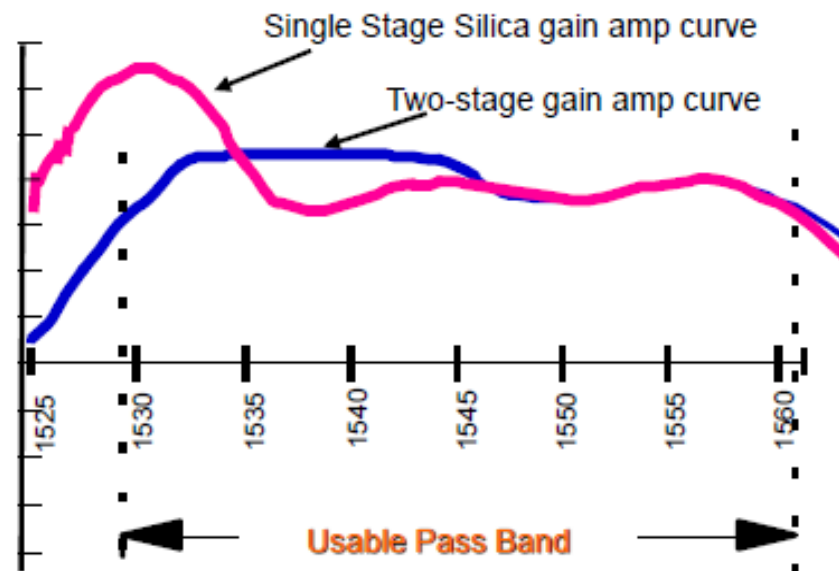
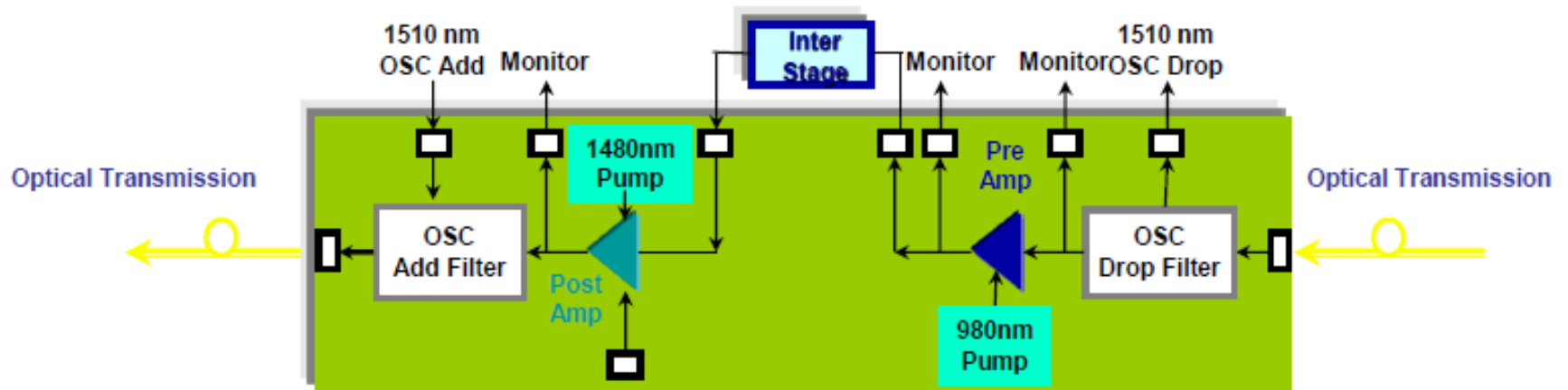
فیلترهای یکنواخت سازی گین (Equalizers)

- این فیلترها برای کاهش تغییرات گین تقویت کننده نسبت به طول موج در سیستم های DWDM بکار می رود.

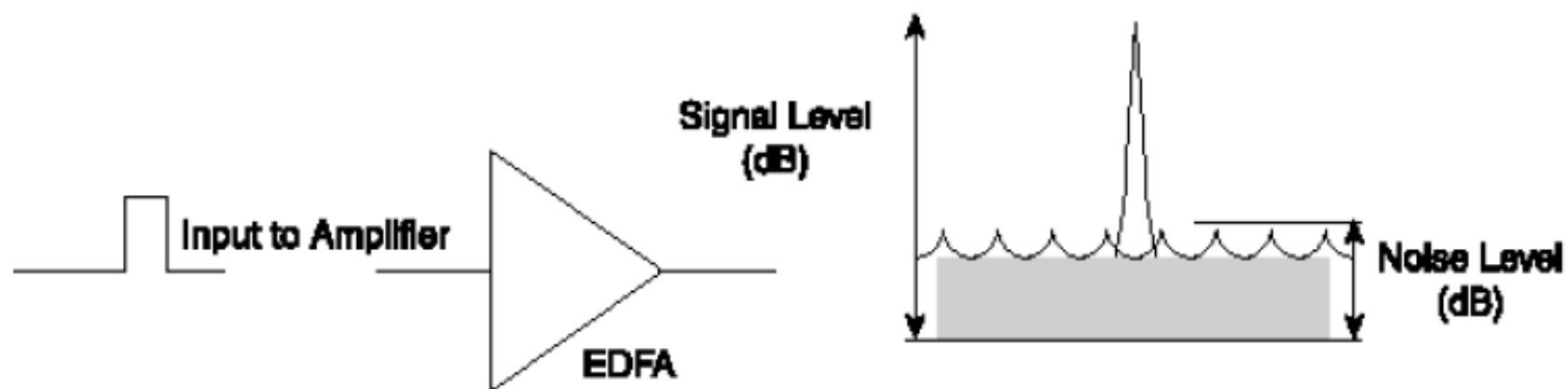
- این فیلترها طوری طرح می شوند که پاسخ طیفی آنها تقریباً معکوس طیف گین EDFA باشد.



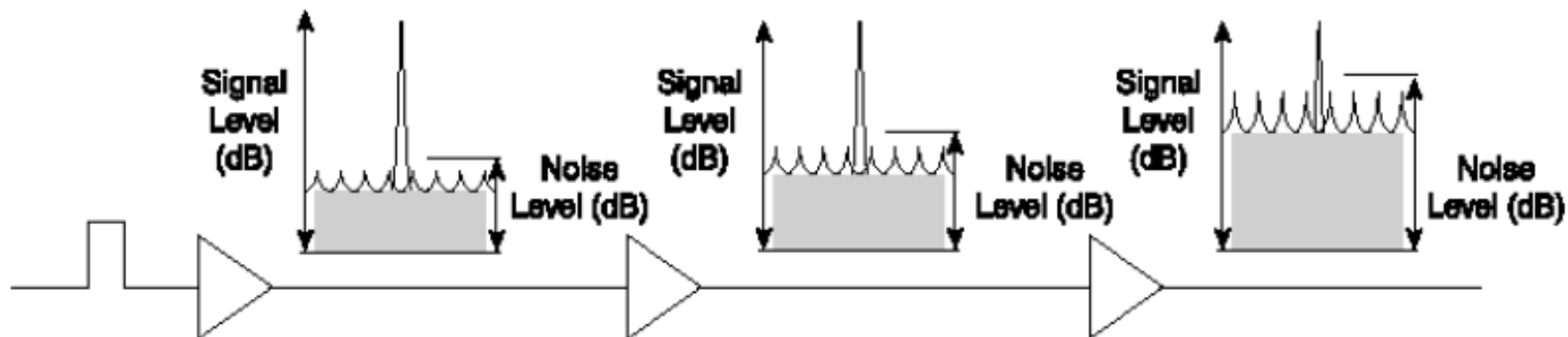
تقویت کننده نوری دو طبقه



مشکل دوم: انباشتگی نویز در توالی تقویت کننده ها

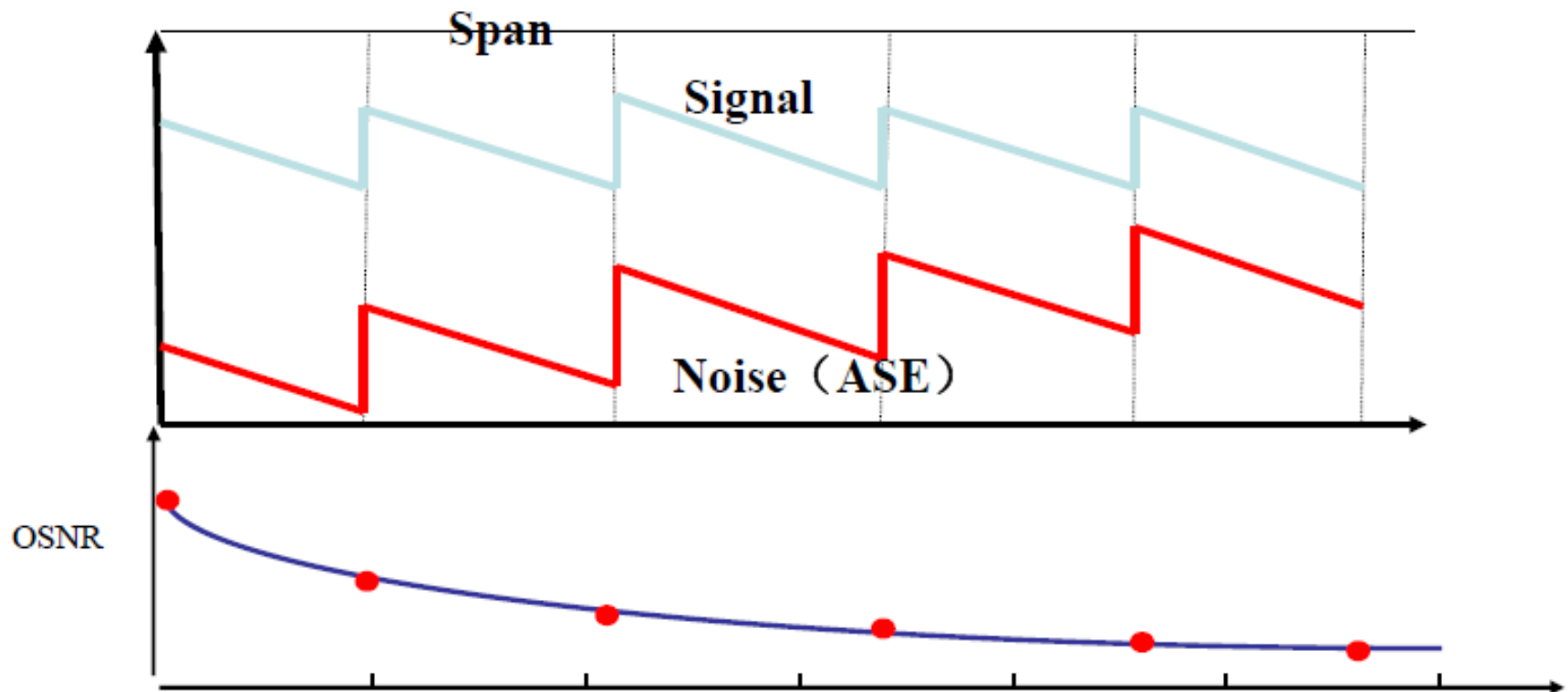
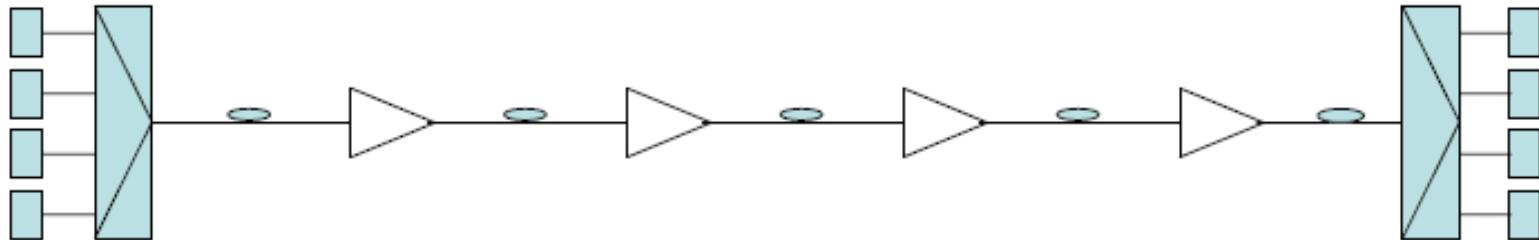


Single Stage Amplifier and Noise Associated with Signal



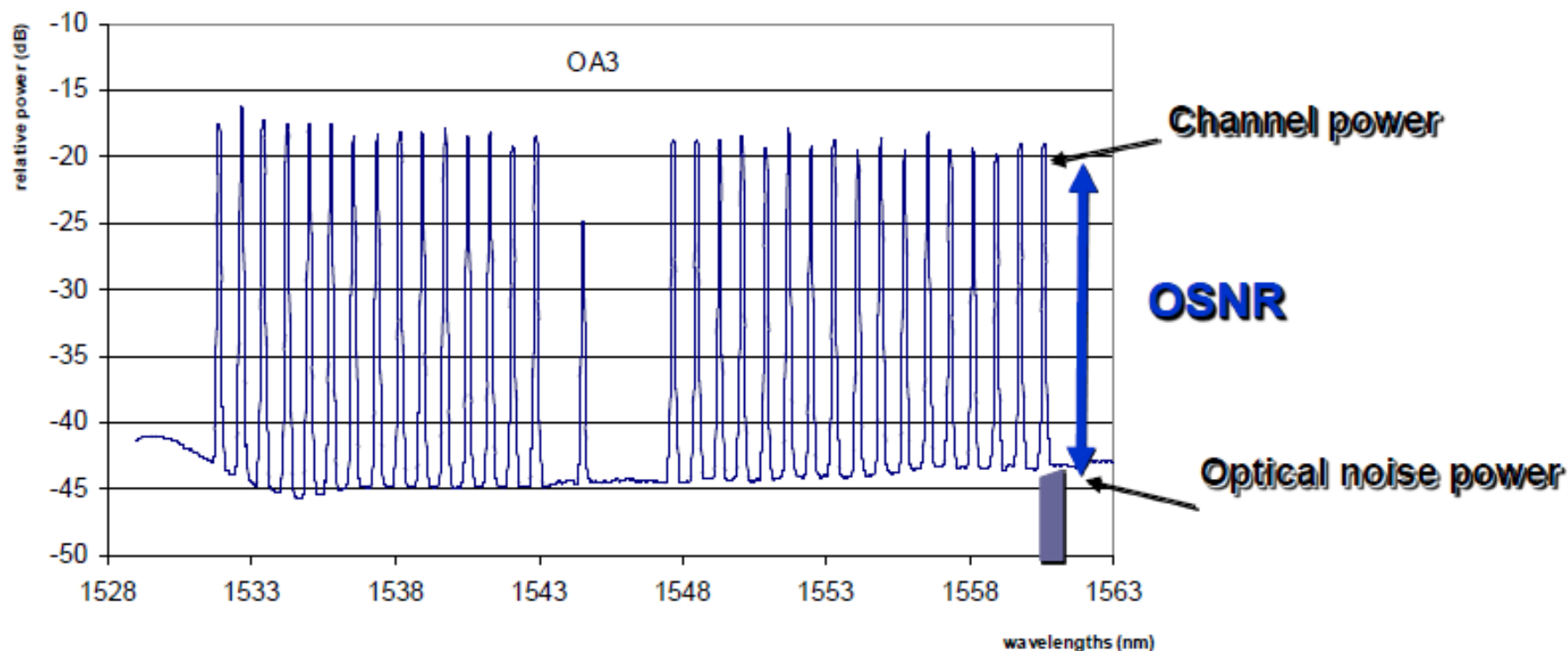
Noise Accumulation Resulting from Multistage Amplification

ASE Noise



OSNR

OSNR = Channel power / Optical noise power



$$\text{OSNR(dB)} = 58\text{dBm} + \text{Preamplifier Input Level (dBm)} - 10\log(N_{\text{ch}}) - \text{Preamplifier Noise Figure (dB)}$$

محاسبه OSNR

$$OSNR = \frac{P_{in}}{NF_{stage} h \nu \nabla f}$$

$$OSNR = P_{received} - NF + 58 \text{ dB}$$

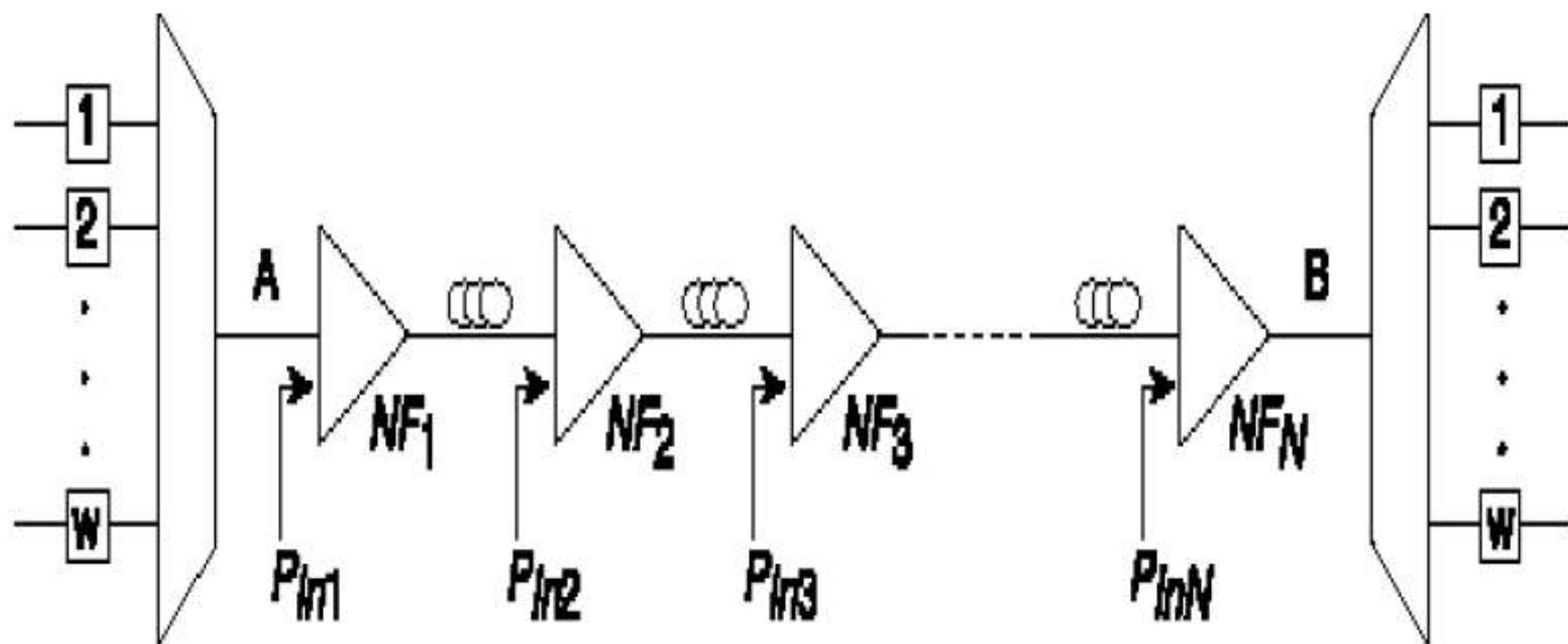
OSNR=58+Input level@Preamp-preamp Noise figure-10logN

مثال: سیستم **WDM** با تعداد کانال ۴ :

10log4=6dB, NF=8dB, OSNR=44+Input level @ preamp

برای افزایش **OSNR** چه باید کرد:
افزایش قدرت ورودی به تقویت کننده
کاهش **NF** که برای این منظور تقویت کننده کم نویز یا تقویت کننده
رامن استفاده می شود.

محاسبه OSNR در حالت توالی چندین تقویت کننده



$$\frac{1}{OSNR_{final}} = \frac{1}{OSNR_1} + \frac{1}{OSNR_2} + \frac{1}{OSNR_3} + \dots + \frac{1}{OSNR_N}$$

$$\frac{1}{OSNR_{final}} = \sum_i \frac{1}{OSNR_i}$$

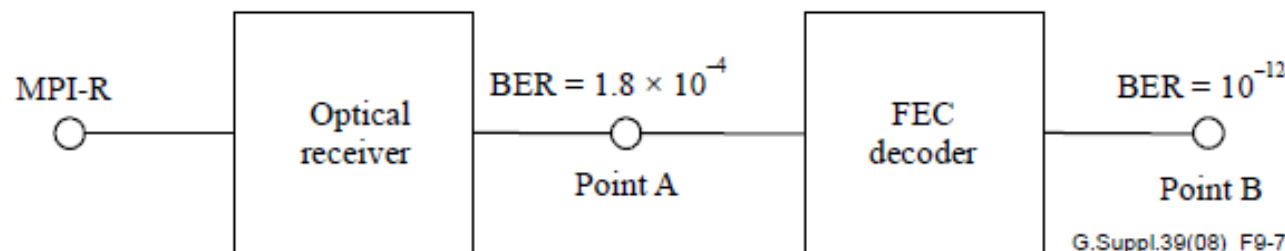
افزایش تحمل OSNR با استفاده از FEC

- با استفاده از تکنولوژی تصحیح خطای پیش سو (FEC: Forward Error Correction) احتمال خطای بیت (BER) پایین می آید که هدف اصلی است بدون اینکه لازم باشد OSNR بالا رود

- از FEC برای تصحیح خطا استفاده می شود. در اینصورت نه توان نوری زیاد می شود نه OSNR بلکه در شرائط یکسان، BER کاهش می یابد.

- مثلاً با فرض خطای کمتر از 10^{-12} بدون FEC باید OSNR بیش از 20dB باشد ولی با FEC باید OSNR بیش از 16dB باشد.

در کاربردهای واقعی وقتی از FEC استفاده می شود معنی اش این است که فاصله انتقال طولانی با تعداد بیشتری OTS متوالی قابل دستیابی است.

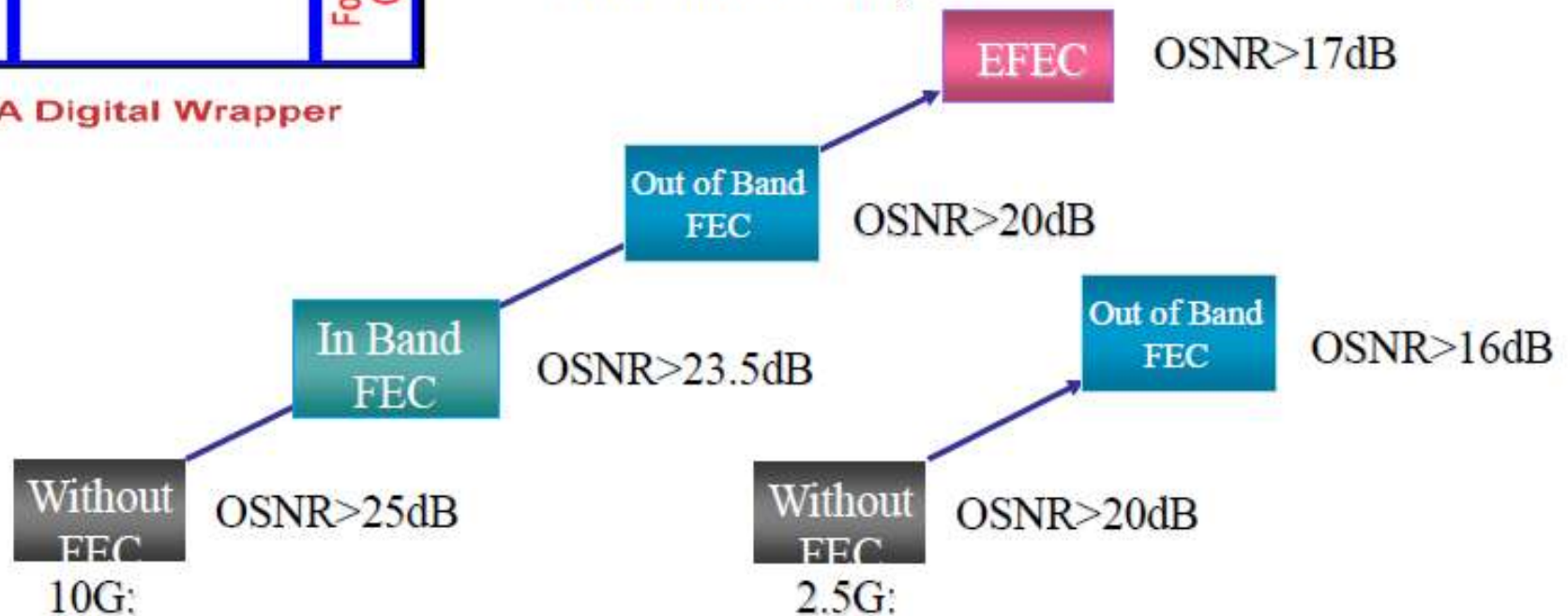


FEC Technology



A Digital Wrapper

At transmitter end, some additional overheads bits or bytes are inserted into the transmitting data, at receiver end, bit error will be corrected through additional bits or bytes.



Limitation of FEC:

1. FEC is mainly applied to solve random bit errors,
2. For a specific FEC technology, the higher the overhead is, the higher the transmission cost is. RS Coding (255, 239)

مشکل سوم: اثرات غیر خطی و همشنوایی

-در سیستم **DWDM**، جمع قدرت نور منتشره در داخل یک فیبر زیاد است به دو دلیل:

۱-ارسال همزمان چندین کانال نوری ۲- استفاده از تقویت نوری

-وقتی سطح قدرت نور به حدی برسد که بر اثر پدیده های غیر خطی مولفه های جدیدی ایجاد شوند بین کانالها تداخل ایجاد می شود که همشنوایی یا **Crosstalk** نامیده می شود.

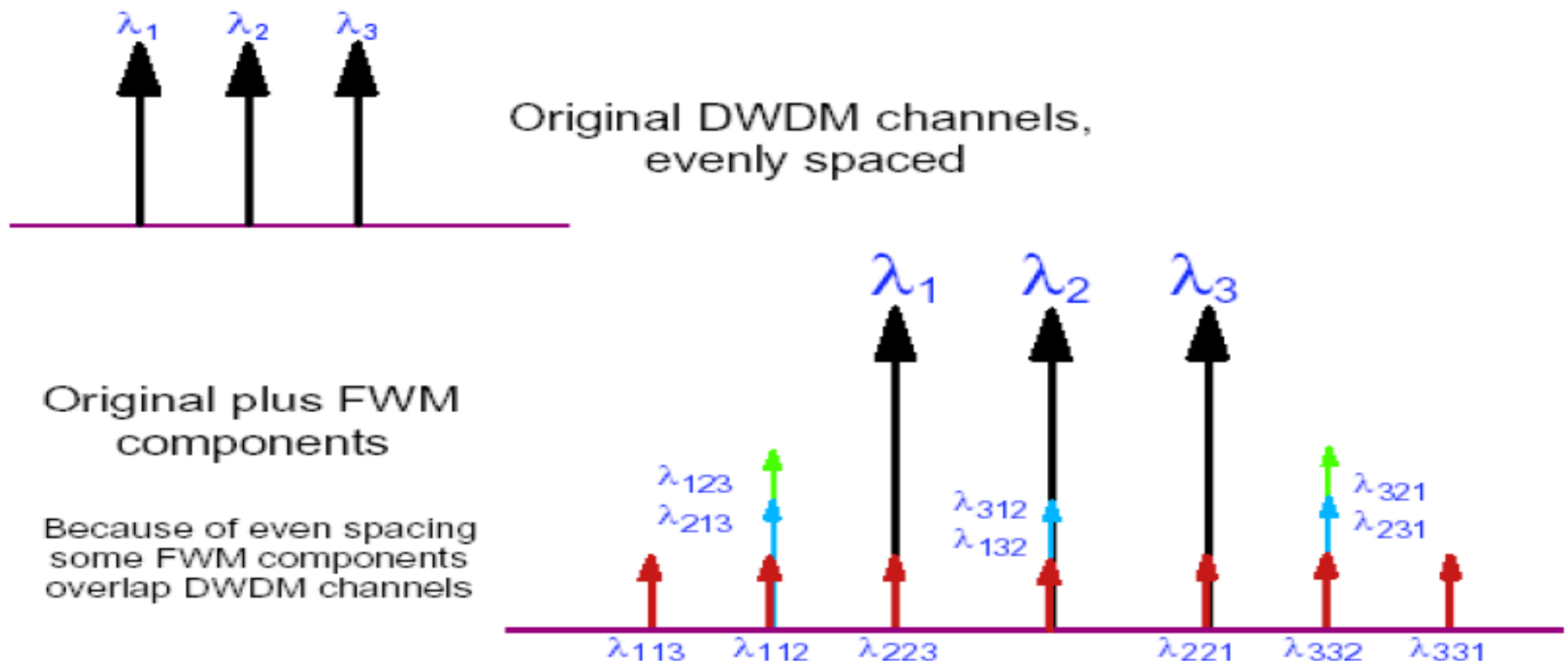
- تمام پدیده های غیر خطی به سطح قدرت نوری و فاصله کانالها بستگی دارند.

Four Wave Mixing (FWM)

- Strong impact near the zero-dispersion wavelength (G.653 fiber)
- Number of new wavelengths are $\frac{1}{2}(N^3 - N^2)$, where N is the number of original wavelengths. If these products fall on top of another channel they can cause problems

FWM waves created via 3rd-order intermodulation process:

$$f_{\text{FWM}} = f_i + f_j - f_k$$



کاهش اثر FWM

- با روشهای زیر می توان FWM را کاهش داد:

- ۱- بکارگیری کانالها با فواصل غیر مساوی
اگر فاصله هر زوج کانال با فاصله هر زوج کانال دیگر متفاوت باشد، هیچ FWM ی تولید نمی شود که هم فرکانس با سیگنالهای اصلی باشد.
- ۲- کاهش مجموع قدرت
- ۳- کاهش مجموع قدرت موثر در داخل فیبر

- روش دیگر استفاده از فیبر با Dispersion غیر صفر (NZ-DSF) می باشد:

اثر FWM در طول موجهایی که Dispersion صفر است بیشتر است. وقتی Dispersion به صفر نزدیک شود زمان هم فازی افزایش می یابد.

- به هر حال روشی موفق است که بتواند سطح قدرت سیگنالهای ناخواسته را تا حد اقل 30dB کمتر از قدرت سیگنالهای مطلوب پایین بیاورد.

کاهش FWM با استفاده از فیبر NZ-DSF با سطح موثر زیاد

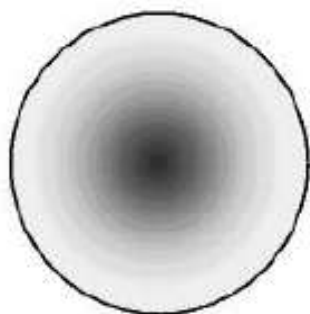
-یکی از راههای کاهش FWM در فیبر های NZ-DSF افزایش سطح موثر فیبر است.

-در فیبر نوری تک مد ، چگالی قدرت نوری در مرکز هسته فیبر حد اکثر می باشد.

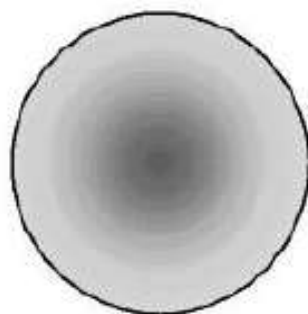
-اثرات غیر خطی و FWM بیشتر در محل هایی واقع می شوند که چگالی قدرت نوری زیاد باشد.

-سطح موثر زیاد در فیبر باعث می شود که چگالی قدرت در اطراف هسته توزیع شود.

- در نتیجه حد اکثر قدرت و بنابراین FWM کاهش می یابد.



Traditional NZ-DSF



LEAF™ Fiber

DWDM فلوچارت طراحی یک سیستم

Given: Transmission Distance, OSNR Tolerance, Dispersion Tolerance, Bit Rate, Number of Channels, Fiber Loss and Dispersion,....

Is the system loss limited?

Yes

Calculate Span loss, Add OA

No

Calculate NF of each span, OSNR of total system for the worst channel

Is the system OSNR limited?

Yes

Add 3R regenerator (Try to avoid)

No

Optimize OA placement and ensure OSNR quality

Is the system dispersion limited?

Yes

Add DCU, Optimize their placement

No

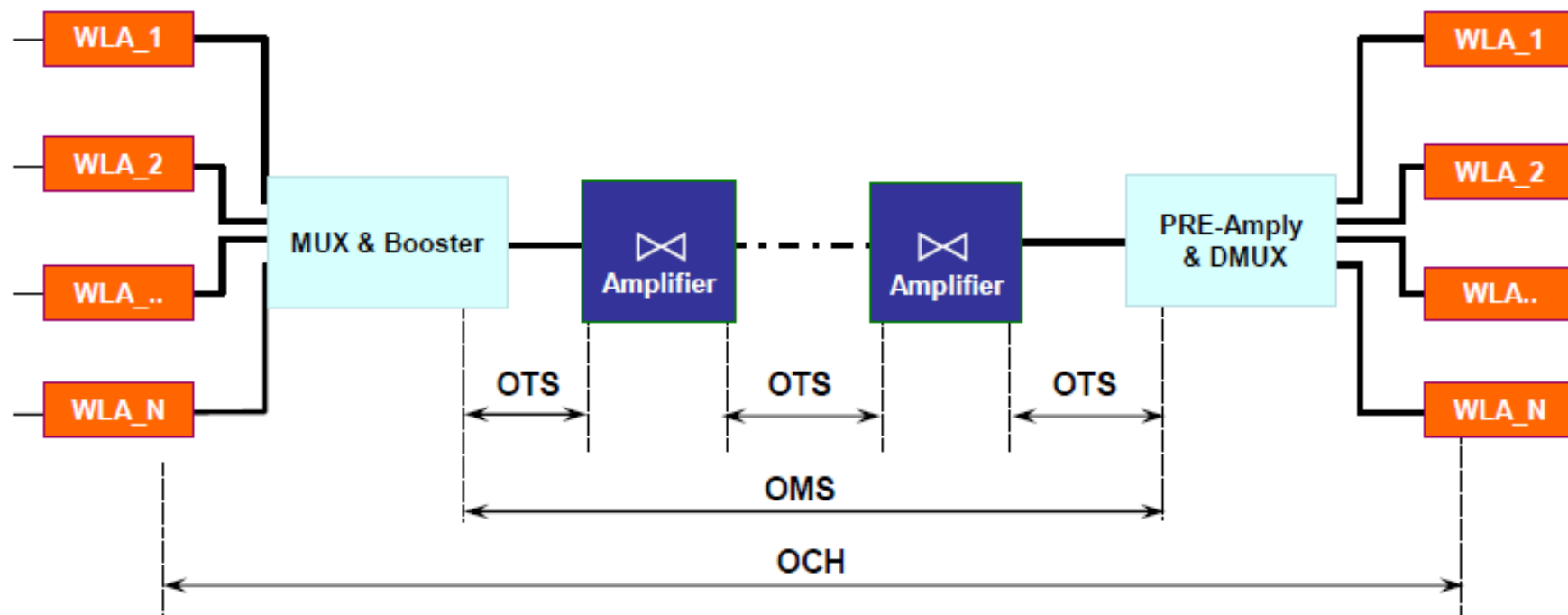
Is the system Nonlinearity limited?

Yes

Optimize channel placement

End

DWDM Link

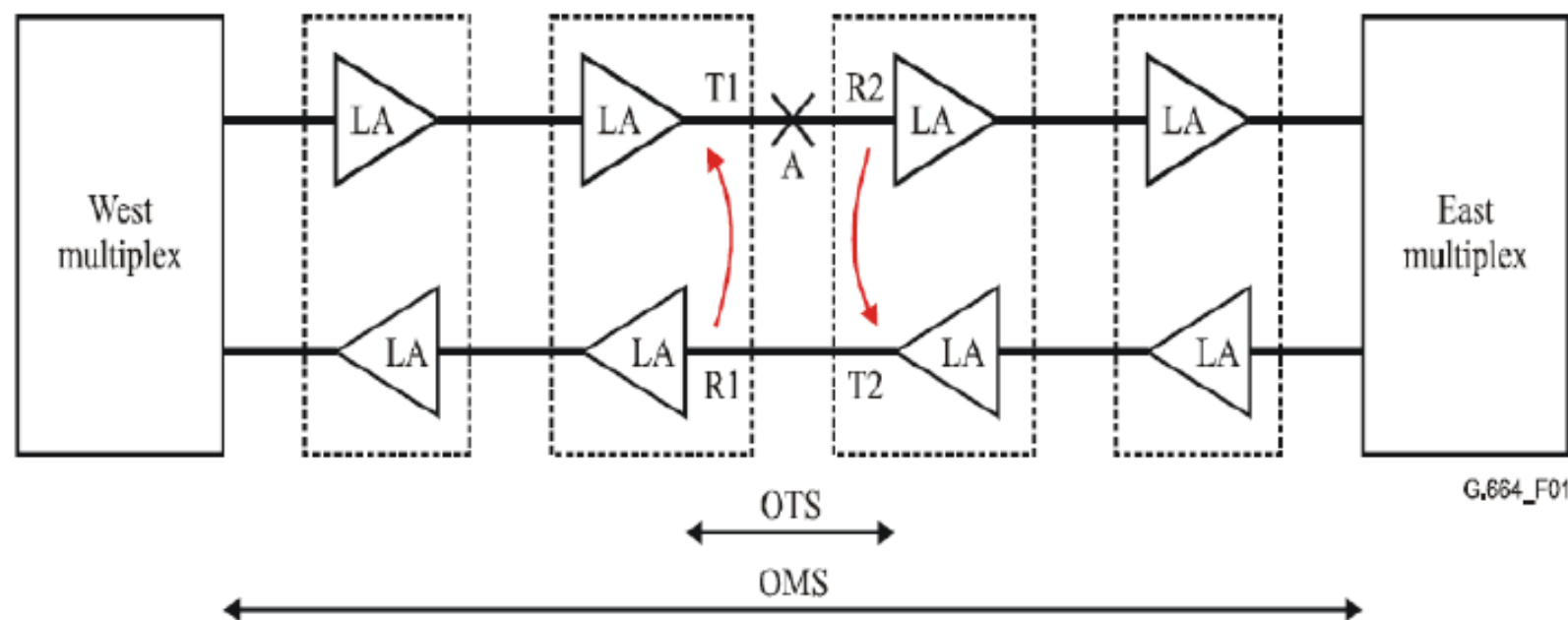


OTS = Optical Transmission Section

OMS = Optical Multiplex Section

OCH = Optical Channel Section

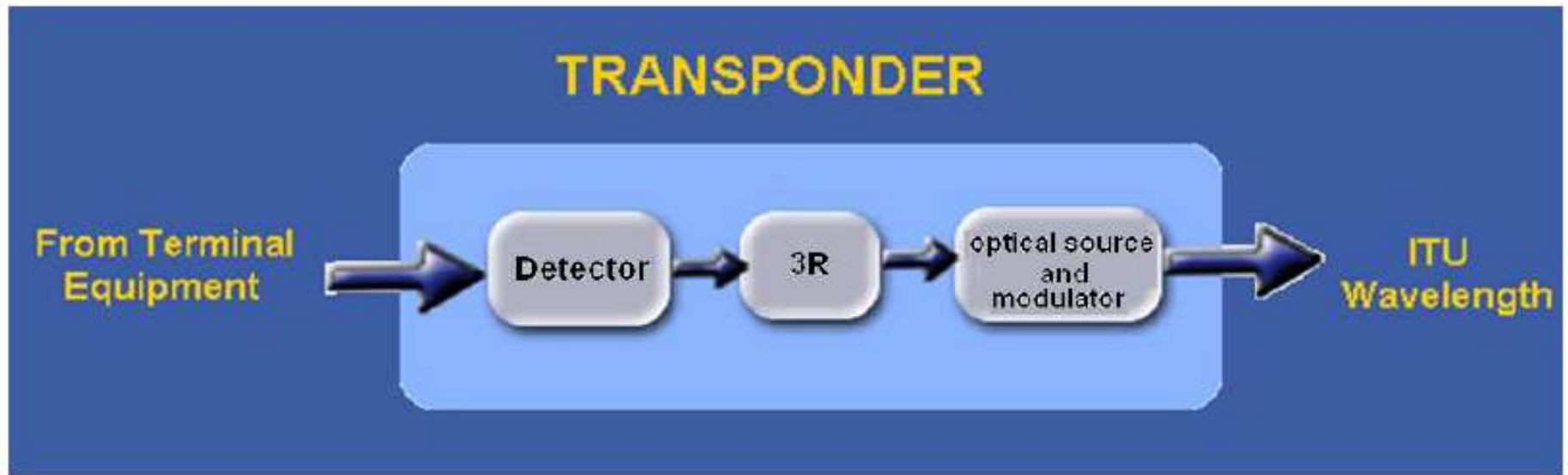
APR: Automatic Power Reduction: G.664



In the case that a loss of continuity happens at point A of Figure 1, the available LOS defect indicator at receiving interface R2 is used to reduce the output power of the transmitting interface T2 which is the adjacent source in the opposite direction. This is detected in the receiving interface R1 which, in its turn, reduces the output power of the transmitting interface T1. The

Transponder/Wavelength Adapter (WLA)

- Transponder converts the wavelength of the client optical signal into the ITU-T specified DWDM wavelength through Optical-Electrical-Optical conversion



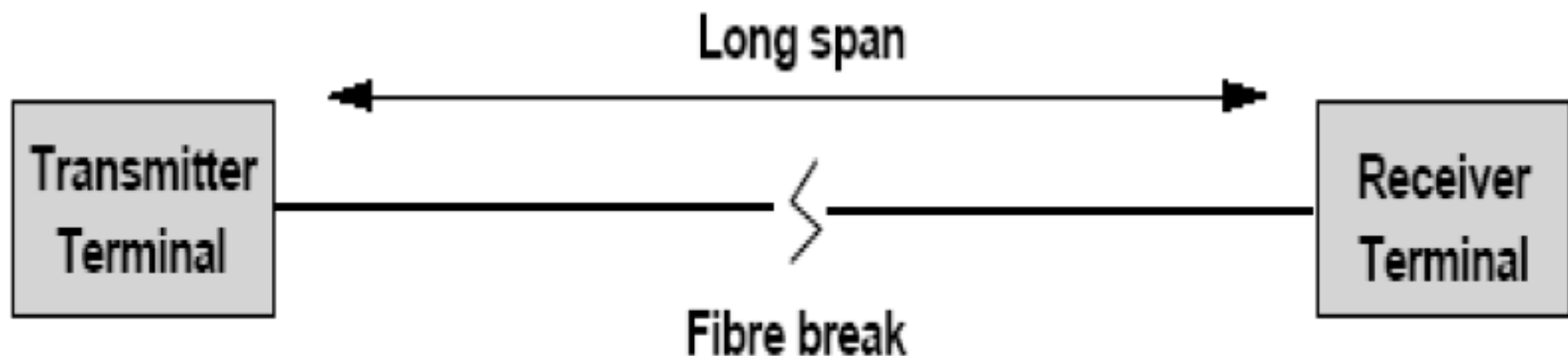
3R: Reamplification
Reshaping
Retiming

- Transponder performs frequency adaptation
- Converts B&W signal coming from client into the WDM coloured one and vice versa.
- The transponders perform the 3R regeneration of the signal.

تکنیک های اتصال فیزیکی فیبر های نوری

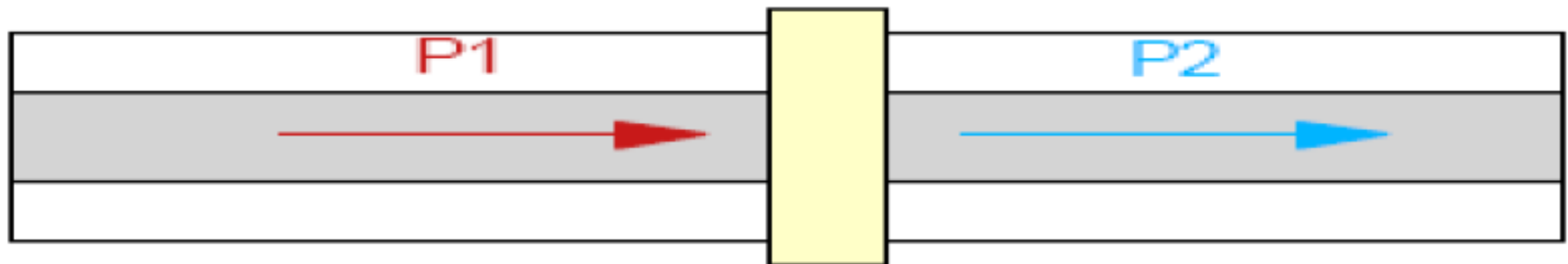
ضرورت استفاده از اتصالات

- فیبرهای موجود در قرقره های با طولهای کوتاه مثلا ۴ کیلومتری هستند پس برای ایجاد مسیرهای طولانی مجبوریم آنها را به هم متصل کنیم.
- برای تعمیر فیبرهای قطع شده یا آسیب دیده مجبوریم دوباره آنها را متصل کنیم.
- برای آزمایشات در تجهیزات از اتصالات استفاده می شود.



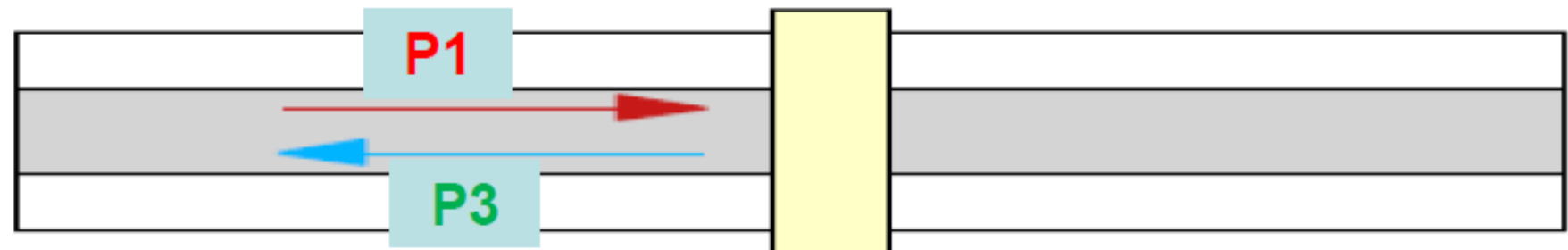
Attenuation (Insertion Loss) and Return Loss Definition

Fibre Joint



$$\text{Insertion Loss in dB} = -10 \log_{10} \left(\frac{P_2}{P_1} \right)$$

Fibre Joint



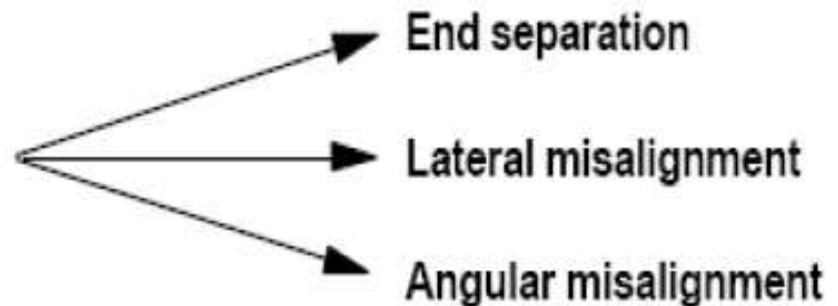
$$\text{Return Loss in dB} = 10 \log_{10} \left(\frac{P_3}{P_1} \right)$$

تلفات اتصالات

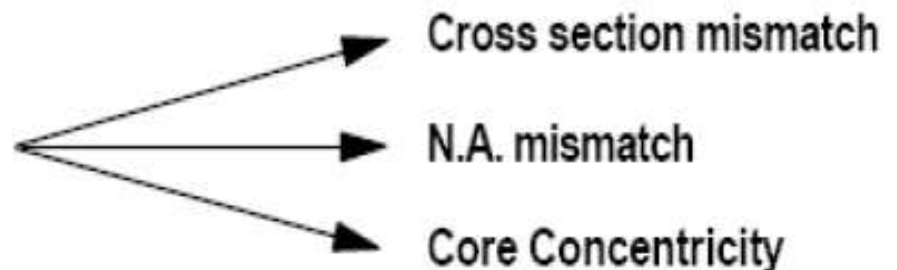
- سه منبع اصلی تلفات در اتصالات وجود دارد

1. Fresnel Loss

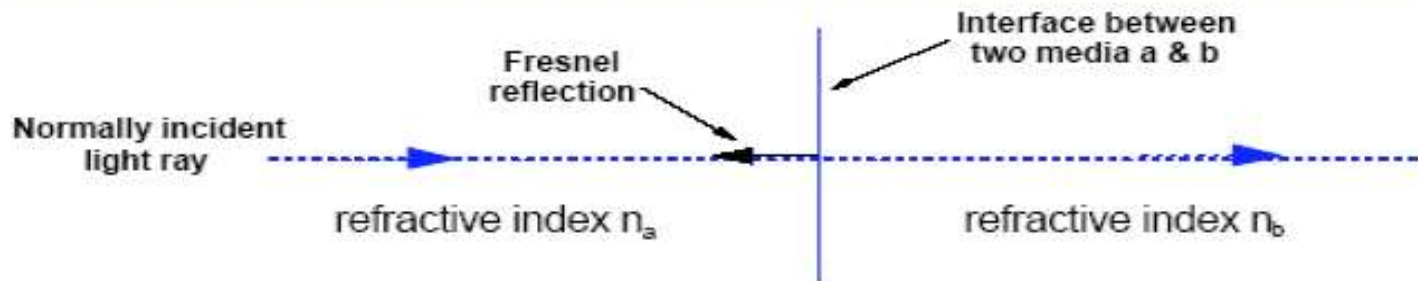
2. Fibre core misalignment



3. Fibre parameter mismatch

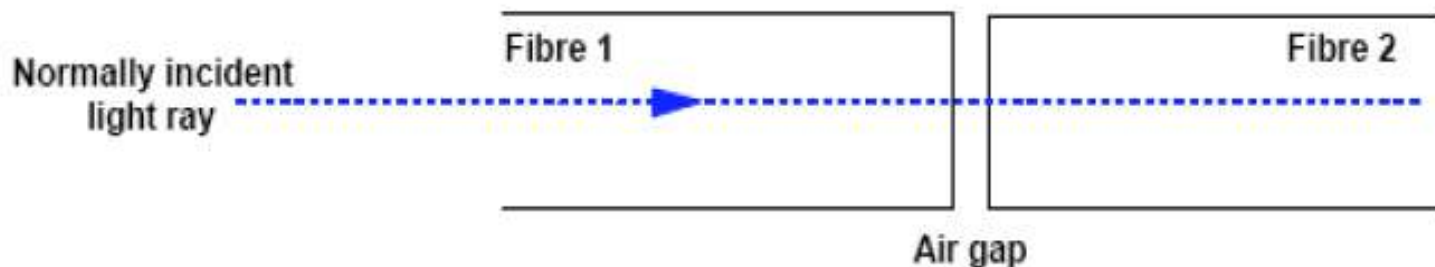


Fresnel Loss at an Interface and in a Fibre Joint



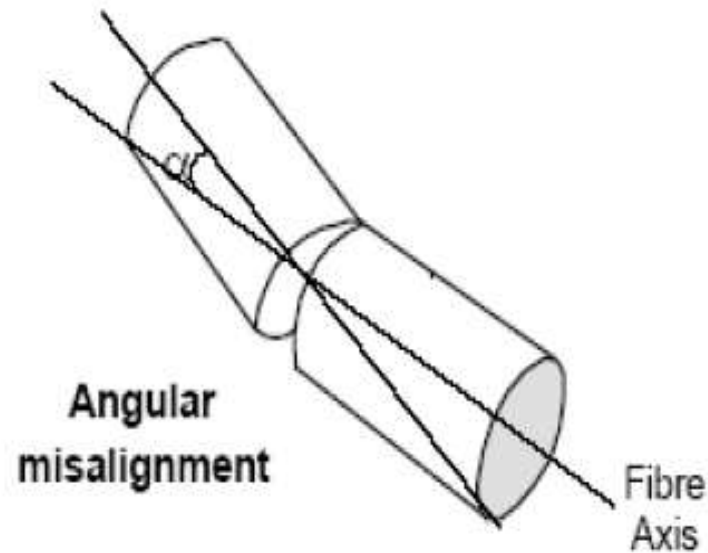
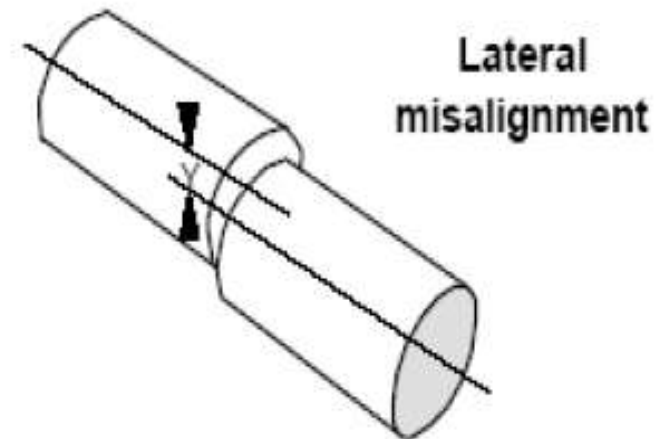
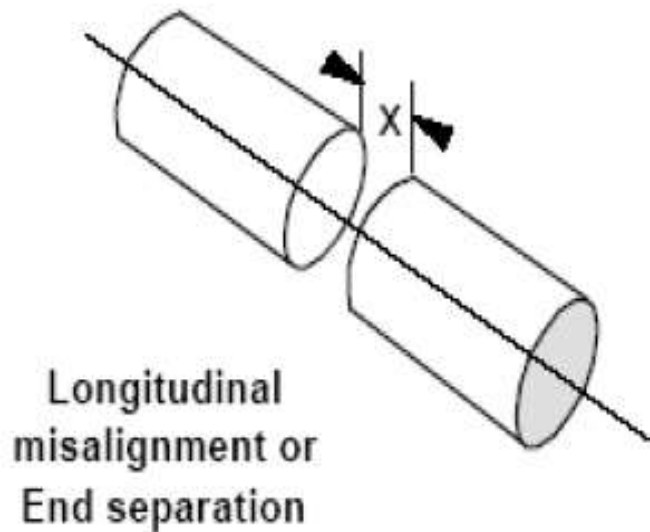
Fraction of light reflected at the interface $r = \frac{(n_a - n_b)^2}{(n_a + n_b)^2}$

$$\text{Fresnel loss in dB at the interface} = -10 \log_{10} [1 - r] = -10 \log_{10} \left[1 - \frac{(n_a - n_b)^2}{(n_a + n_b)^2} \right]$$



$$\text{Total Fresnel loss in dB} = -20 \log_{10} \left[1 - \frac{(n_1 - n_0)^2}{(n_1 + n_0)^2} \right]$$

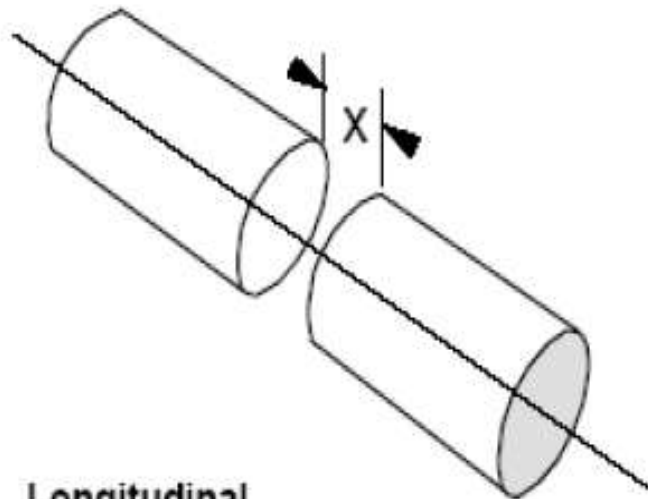
Misalignment Losses



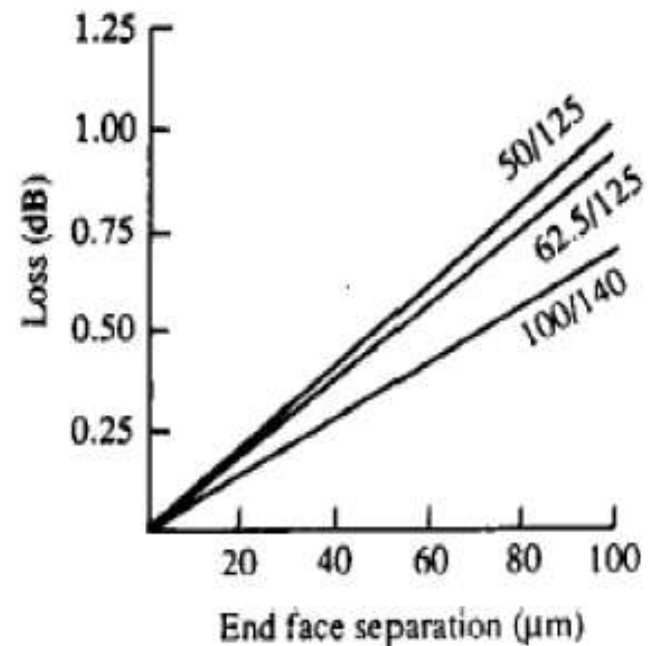
End Separation Loss

Two mechanisms:

1. Fresnel Loss at both air-core interfaces
2. Spreading of the beam as it emerges from the core, causing power loss.



Longitudinal
misalignment or
End separation

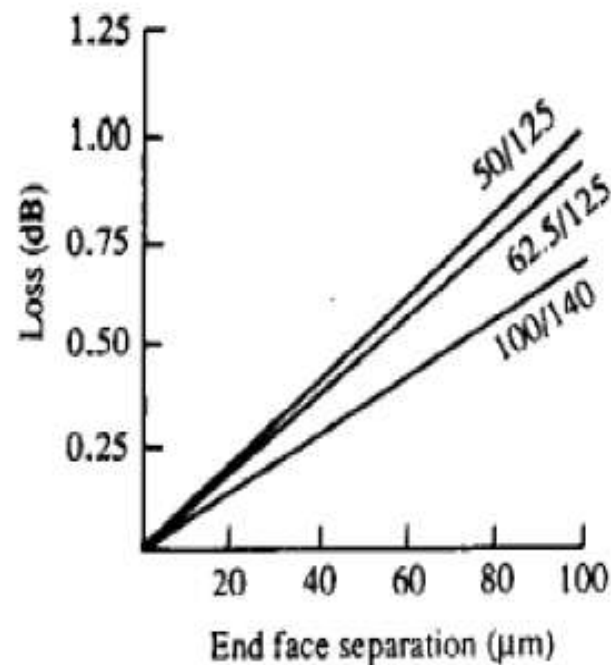


Calculation of End Separation Loss

$$\text{Total Fresnel loss} = -20 \log_{10} \left[1 - \frac{(n_1 - n_0)^2}{(n_1 + n_0)^2} \right]$$

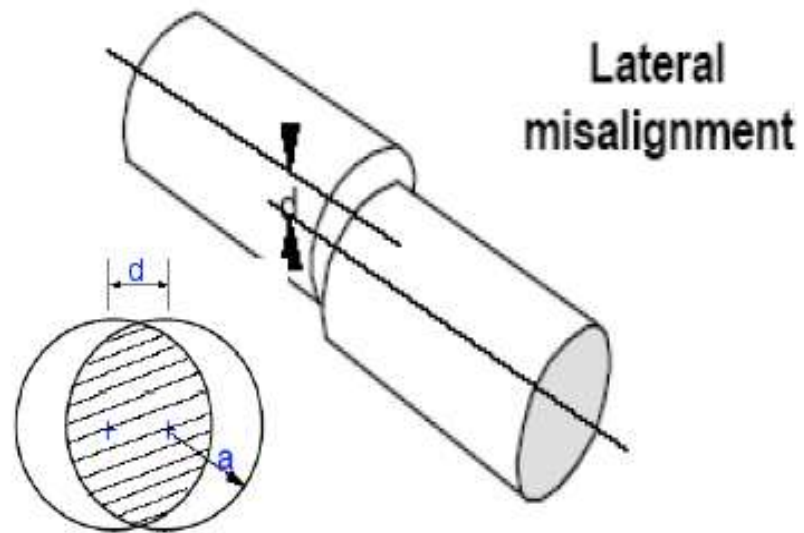
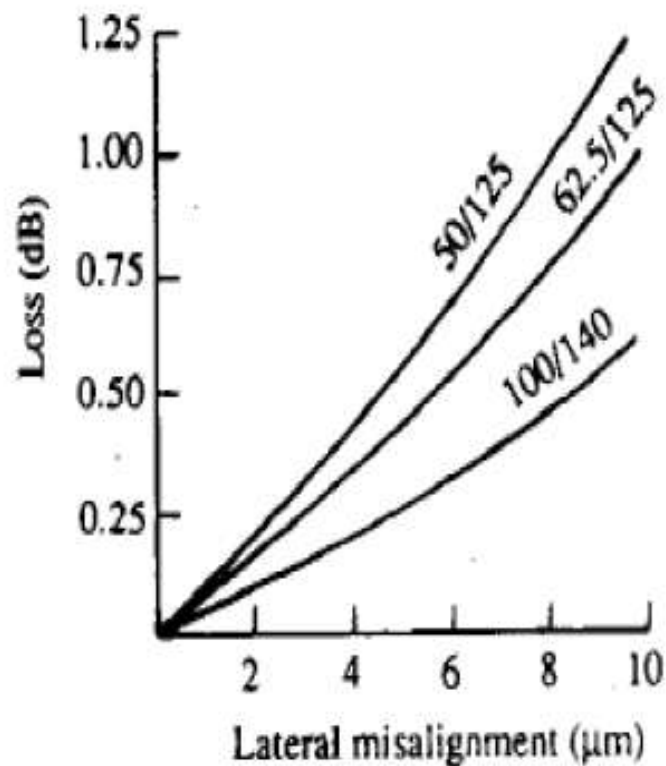
$$\text{Beam spreading loss} = -10 \log_{10} \left[1 - \frac{x \cdot (NA)^2}{2 \cdot d \cdot n_0} \right]$$

Where x is the separation, d is the core diameter and n_0 is the refractive index of air. For Fresnel loss the log term is multiplied by 20, not 10, to allow for two losses, one at each interface.



- For a typical silica fibre $n_1 = 1.48$, Fresnel loss is about 0.33 dB for an air gap.
- Fresnel loss sets the ultimate lower limit on joints with an air gap.
- Notice that the beam spreading loss increases with the NA.

Lateral Misalignment

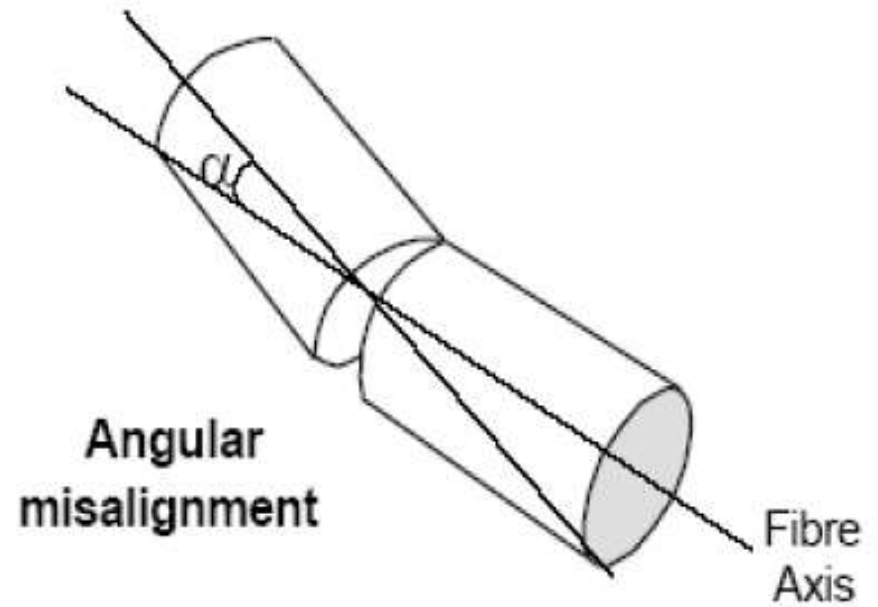
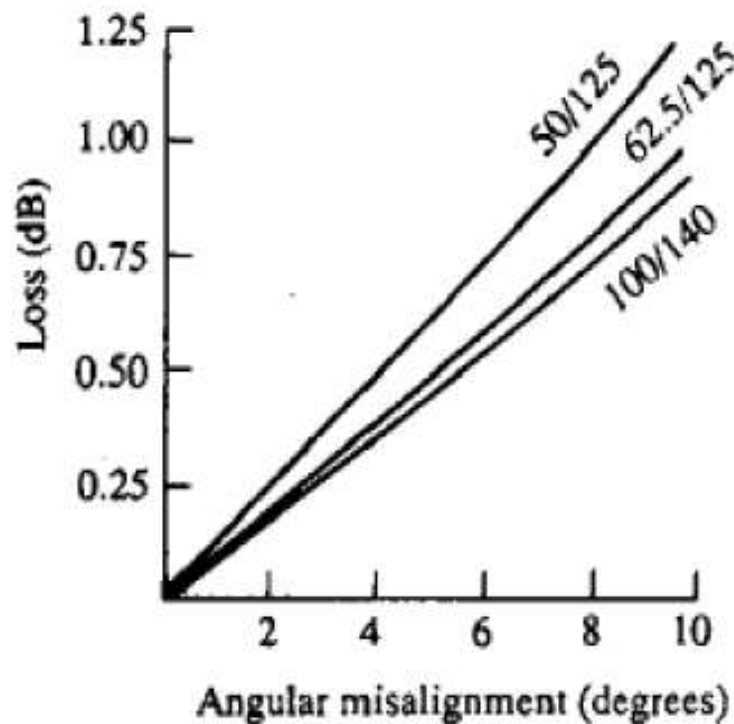


- Most problematic form of attenuation
- For a misalignment d , the attenuation in dB is:

$$\text{Attenuation in dB} = -10 \cdot \log \left[1 - \left(\frac{2d}{\pi a} \right)^2 \right]$$

The term d/a is called the relative lateral displacement

Angular Misalignment



Insertion loss in dB =

$$- 10 \log [1 - (n_0 \cdot \alpha) / (180 \cdot \text{NA})]$$

where the angle α is in degrees

Parametric Loss

	Cause	Calculation
Core Diameters	If the exit fibre core is smaller any mismatch will cause loss	attenuation in dB = $-20 \log [d_2 / d_1]$, where d_1 is source fibre diameter and d_2 is exit fibre diameter. $d_2 < d_1$
Numerical Aperture	If the exit fibre has a lower NA then loss will occur	attenuation in dB = $-20 \log [NA_2 / NA_1]$, NA_1 is the NA of source fibre and NA_2 is the NA of the exit fibre and $NA_2 < NA_1$.
Core Concentricity	Core is not centred within the cladding	Complex equation. A core concentricity of 2 microns for a 50 micron core fibre produces an attenuation of 0.47 dB

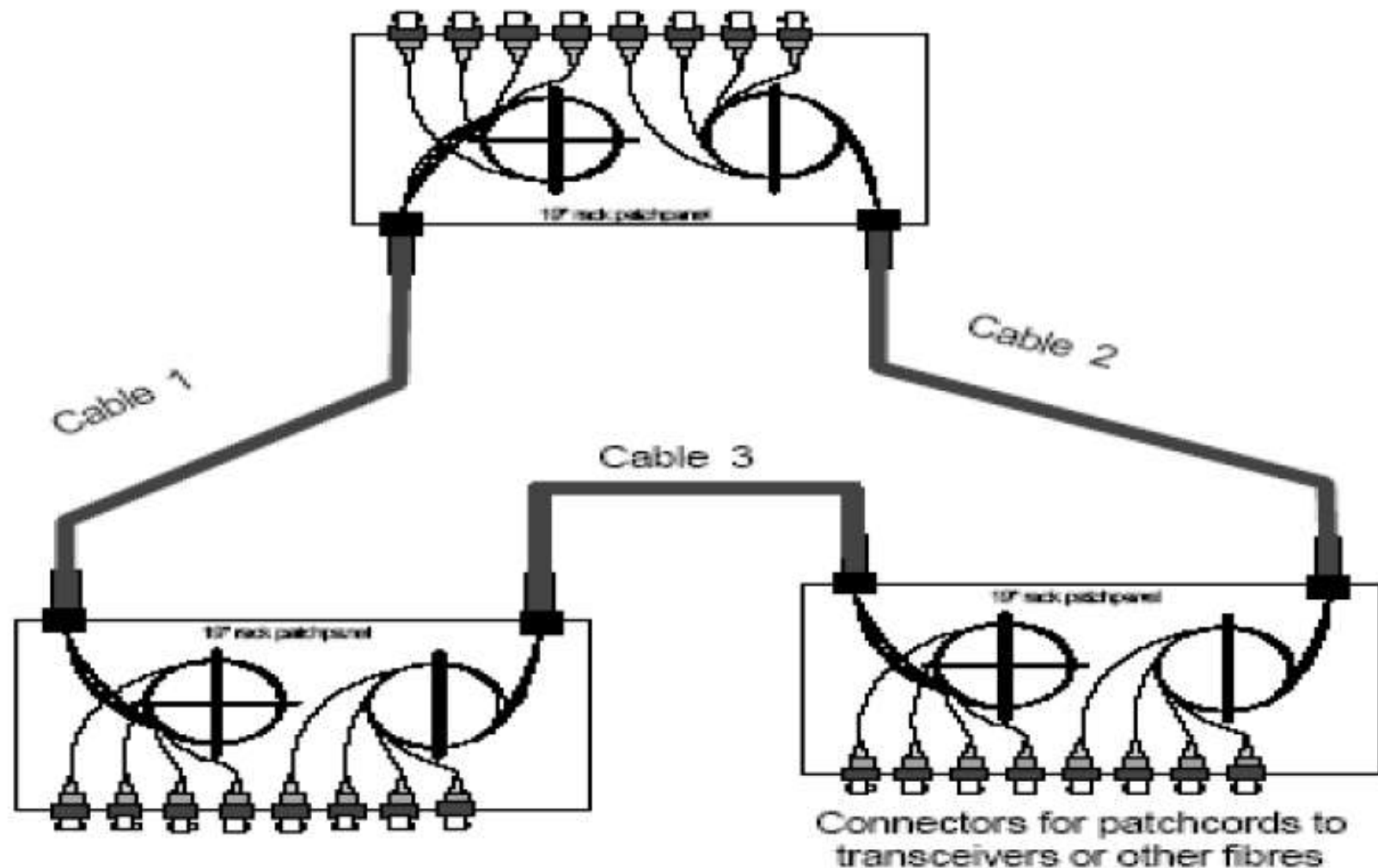
انواع اتصالات فیبر

• اتصالات غیر دائمی: **Connector**
های فیبر نوری

• اتصالات دائمی: **Fusion Splice**

Mechanical Splice•

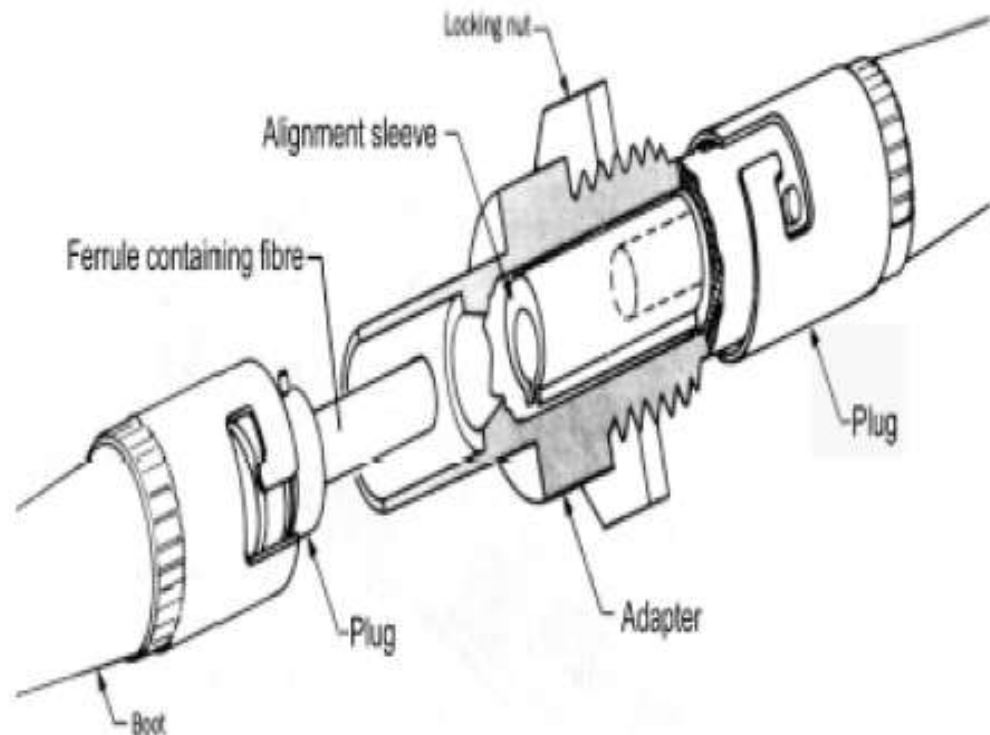
Cable Termination in Buildings



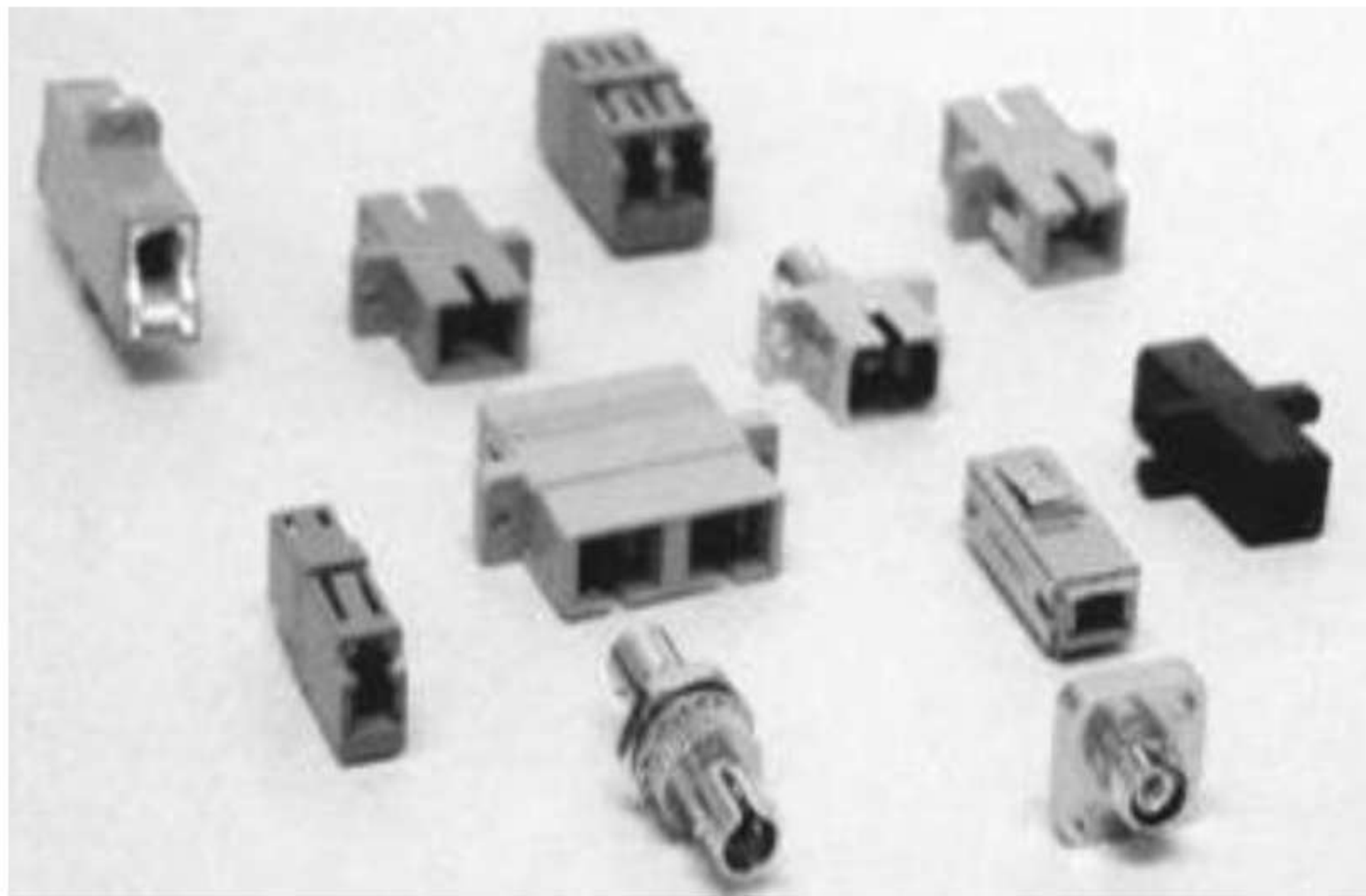
Optical Connector Basics

- Invariably used to connect fibre to terminal equipment, such as lasers or photodiodes
 - Each fibre cladding is located exactly within a precision ferrule, using adhesive
 - Joint is formed by precisely aligning both ferrules within an adaptor
-

ST type Optical
Connector



تطبيق دهنده



Types of Fibre Connector



FC type



SC type



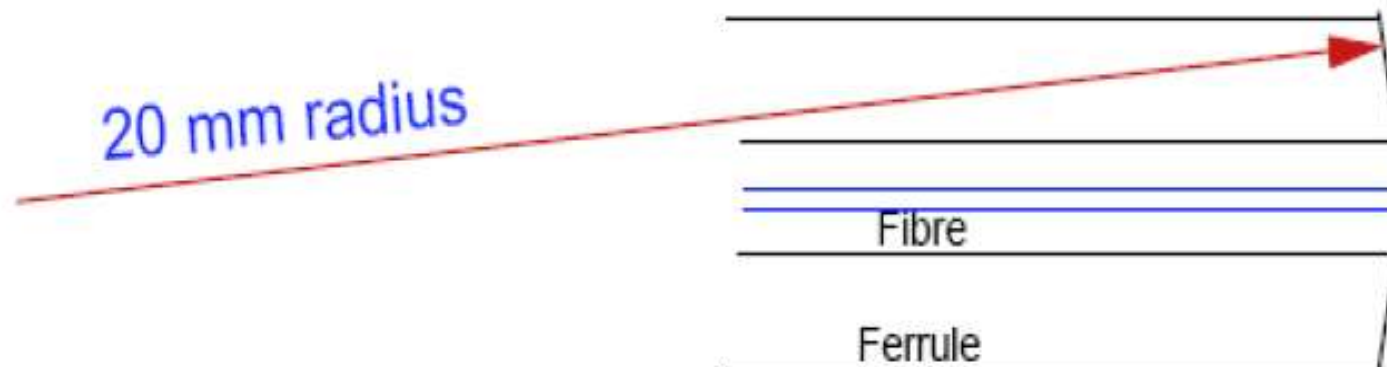
LC type



SC-duplex type

Connector Polish

- Air gapped connectors have a very poor return loss
- To lower attenuation and improve return loss "Physical Contact" (PC) was introduced
- Uses a slight convex shape to ferrule and fibre (typical radius 10-25 mm)
- Over the contact point spring loaded pressure compresses mated core areas
- Result is a much reduced air gap and a return loss better than -30 dB



Grades of Connector Polish

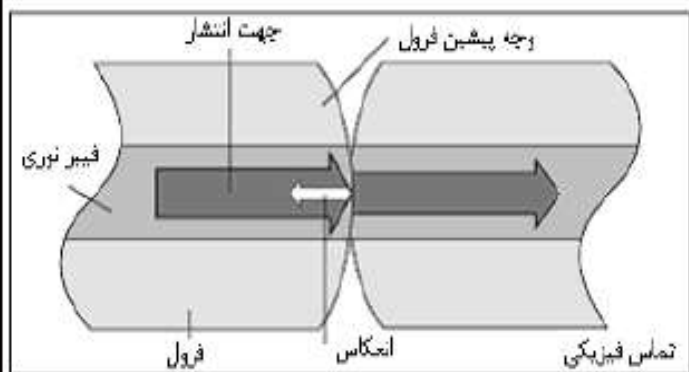
- Four grades of polish:

- ▶ PC (Physical Contact)
- ▶ SPC (Super PC)
- ▶ UPC (Ultra PC)
- ▶ APC (Angled PC)

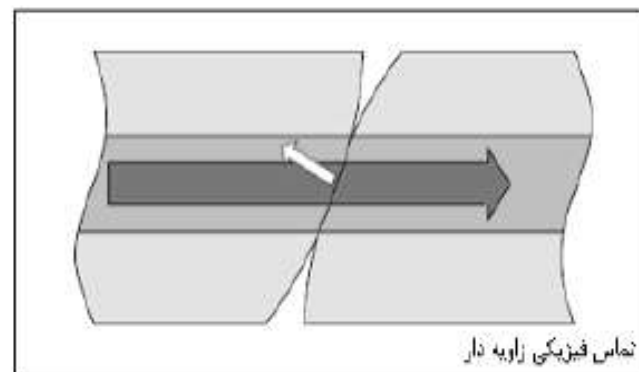
- Order of development: PC, APC, SPC, UPC

سطح مقطع محدب فرول به ما اطمینان می‌دهد که هیچ فاصله‌ی هوایی بین انتهای فیبرها وجود ندارد و بنابراین بازتاب به کمترین مقدار خود می‌رسد. در این حالت سطوح انتهایی دو فرول در داخل تطبیق‌دهنده به یکدیگر فشار داده شده و به این ترتیب فیبرهای نوری در تماس مستقیم قرار می‌گیرند.

PC



APC

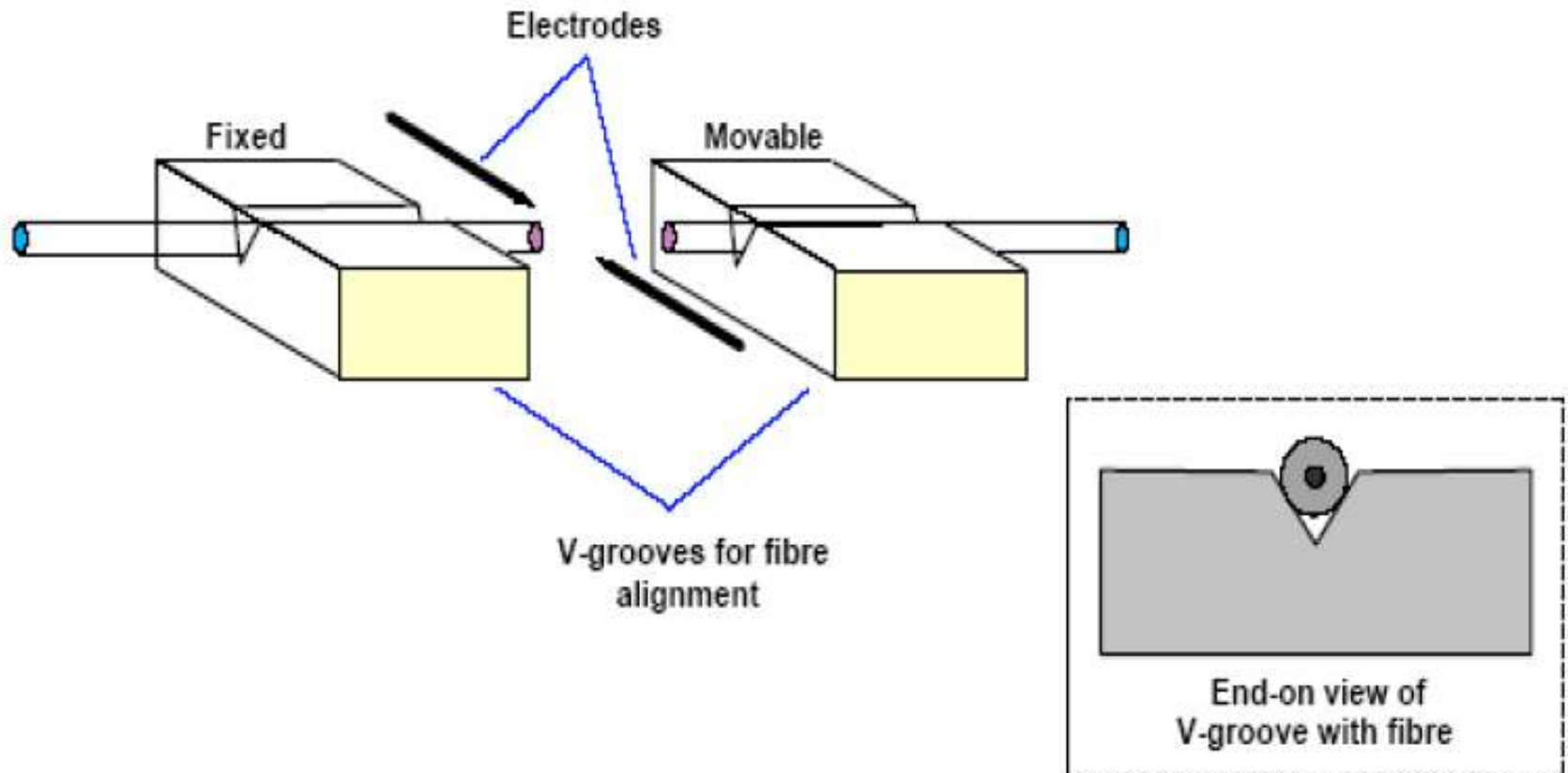


Fusion splice

- یک Fusion Splice یک اتصال دو فیبر است که به هم جوش (Melt) خوردند.
- این جوش خوردگی توسط دستگاهی (Fusion Splicer) انجام می شود که دو کار اصلی انجام می دهد: انطباق دو فیبر (Alignment) و جوش دادن آنها به هم با استفاده از قوس الکتریکی
- عمل Fusion Splice دارای ۴ مرحله است: ۱- آماده سازی فیبر ۲- Fiber Cleaving ۳- جوش دادن فیبر ۴- حفاظت فیبر و در نهایت هم اندازه گیری تلفات Splice
- آماده سازی فیبر یعنی جدا کردن همه پوششهای حفاظتی فیبر تا وقتی که به ۱۲۵ میکرومتر اصلی برسیم. مهمترین نگرانی تمیز نبودن است. یک فیبر تمیز برای مراحل بعدی ضروری است.
- فیبرها بین دو الکترود دستگاه قرار داده و جفت و جور می شوند. یک قوس الکتریکی به شیشه سیلیکا آنقدر حرارت وارد می کند تا به نقطه ذوب یا نرم شدگی برسد و در همان حال فیبرها بصورت طولی به نزدیک هم آورده می شوند بطوری که از نظر هندسی یک جوش پیوسته بدست آید.

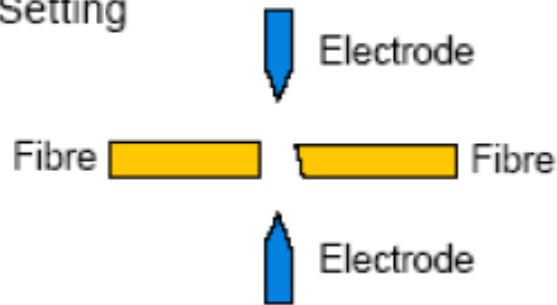
Fusion Splice Principles

- Cleaved fibre ends are fused permanently together using an electric arc
- During splicing fibres are held in V-grooves for alignment
- A variety of splicers have developed to cater for multimode and singlemode fibre

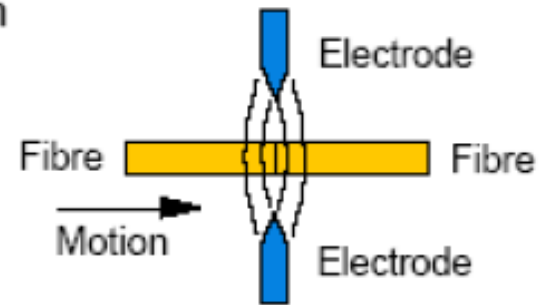


Steps in the Splice Process

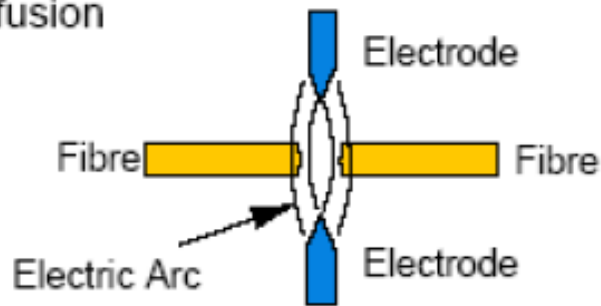
1: Initial Setting



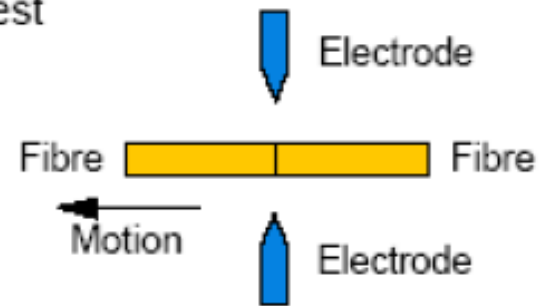
3: Fusion



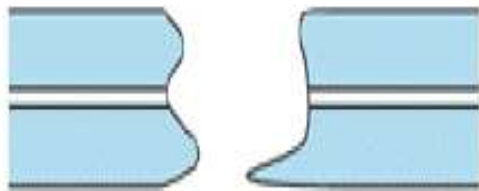
2: Prefusion



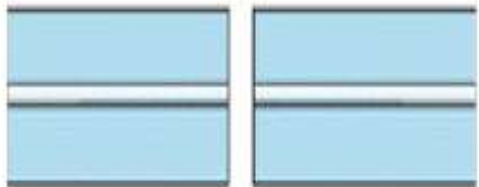
4: Pull Test



Fusion splice



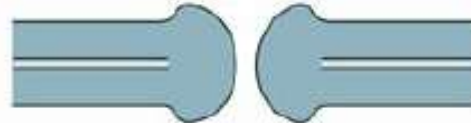
Bad Cleave



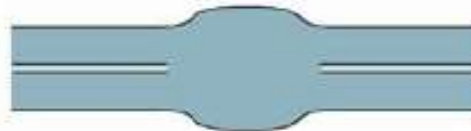
Good Cleave



Fuse Time Too Long



Fuse Current Too Hot



Auto Feed Too High



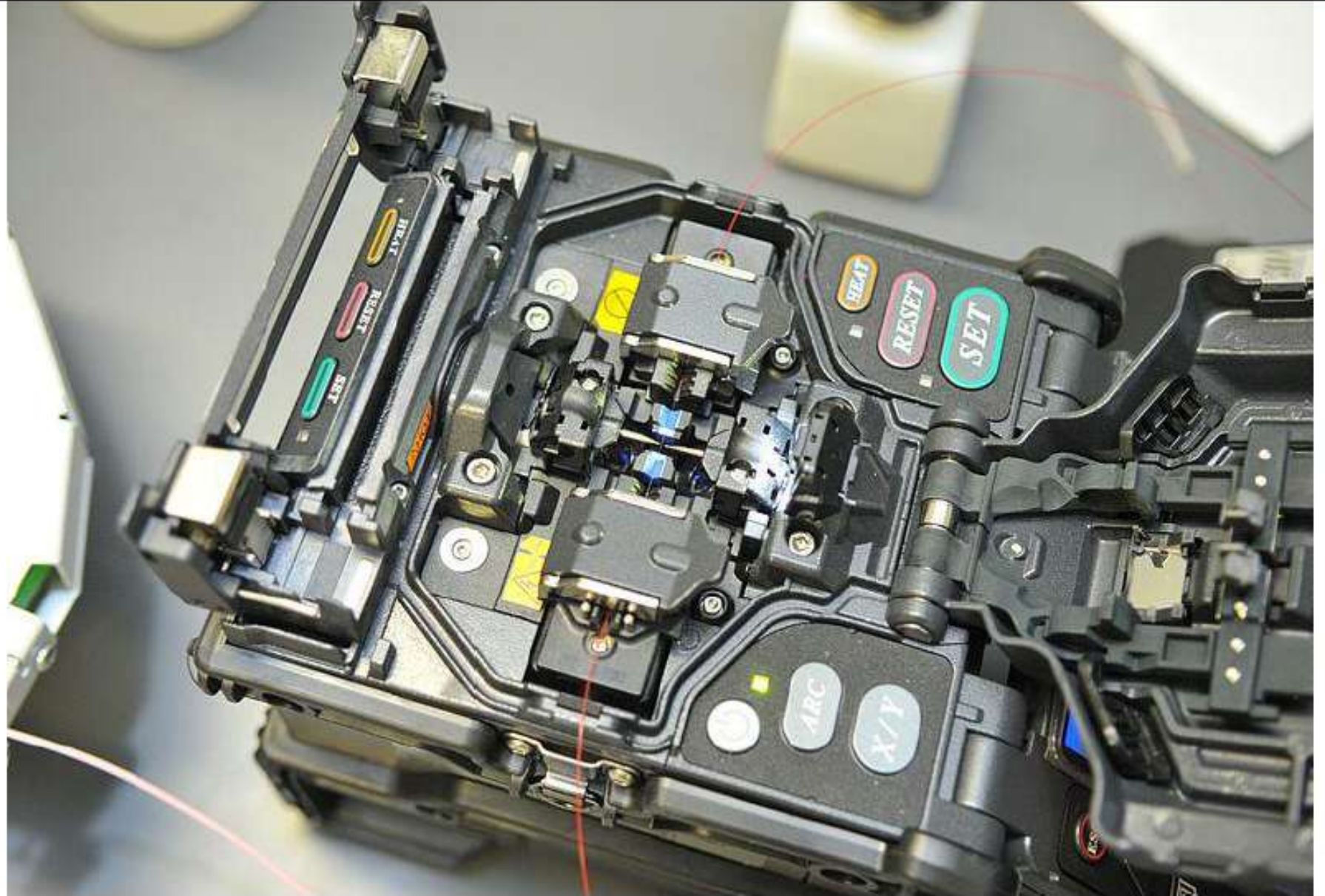
Auto Feed Too Low



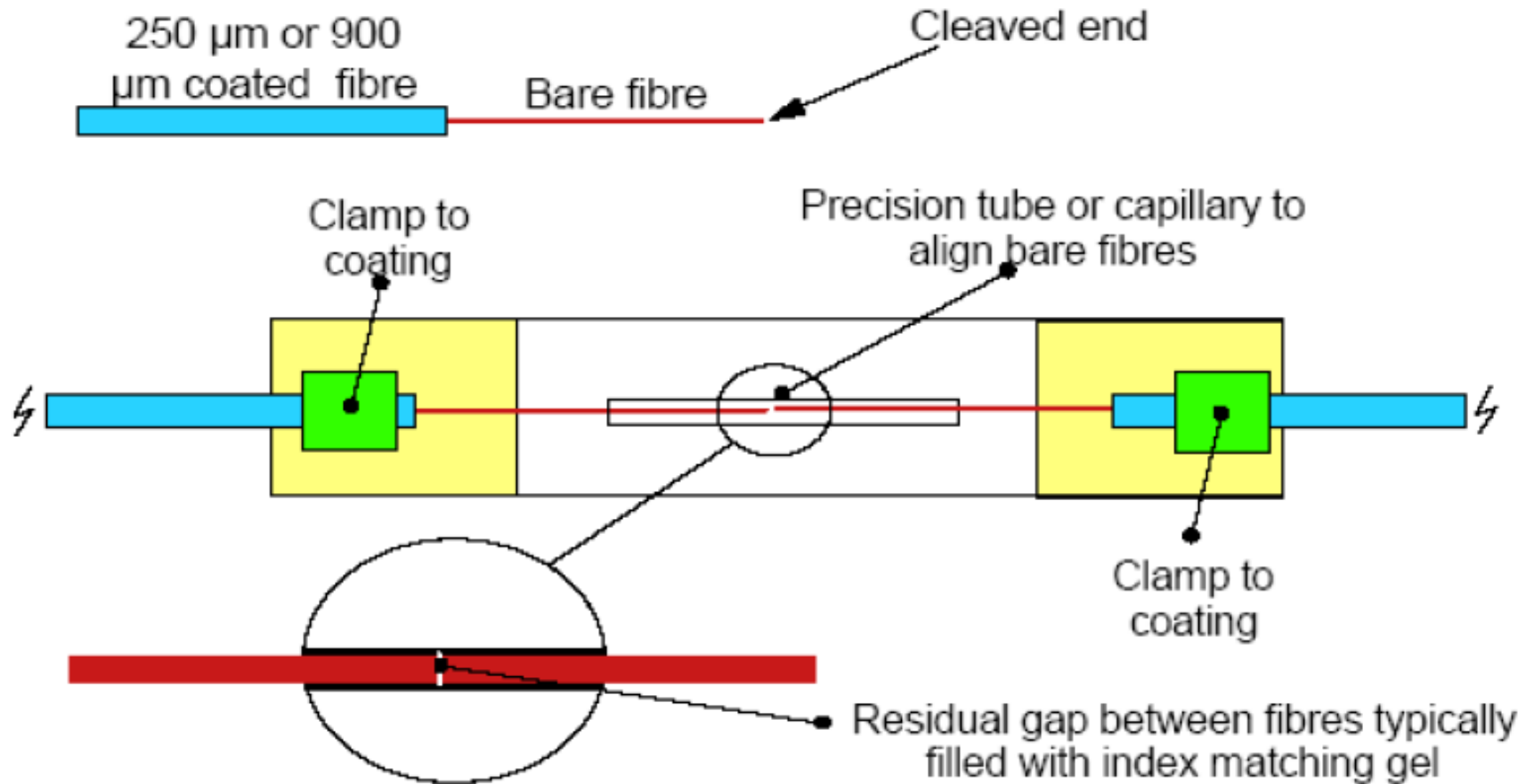
Good Splice

$$\text{Splice Loss (in dB)} = 20 \text{ Log} \frac{1}{2} \left[\frac{\text{MFD}_1}{\text{MFD}_2} + \frac{\text{MFD}_2}{\text{MFD}_1} \right]$$

Fusion Splicers



Mechanical Splice



An optical matching material such as silicon gels between the ends of the fibres can be used to reduce Fresnel reflections.

تکنیک های اندازه گیری فاکتور های فیر نوری

مهمترین دستگاههای اندازه گیری مخابرات نوری

□ Optical Power Meter

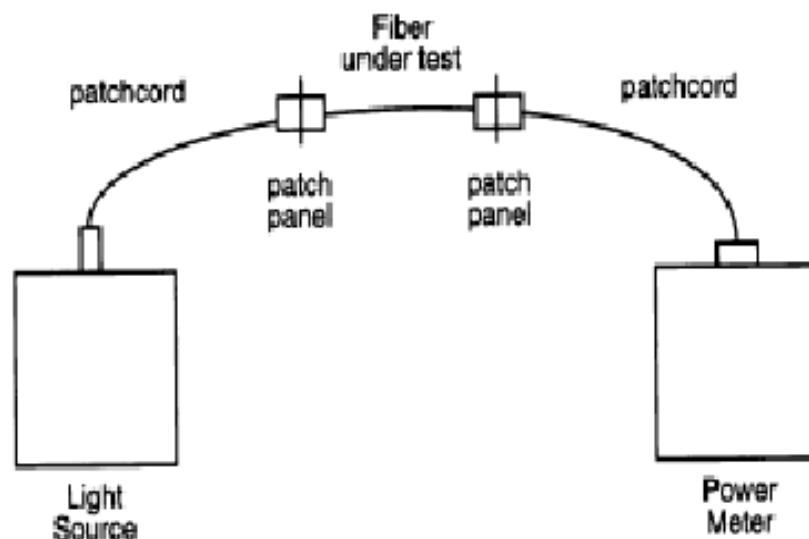
□ OTDR

□ OSA (ONT 30, 50)

Optical Power and Loss Testing

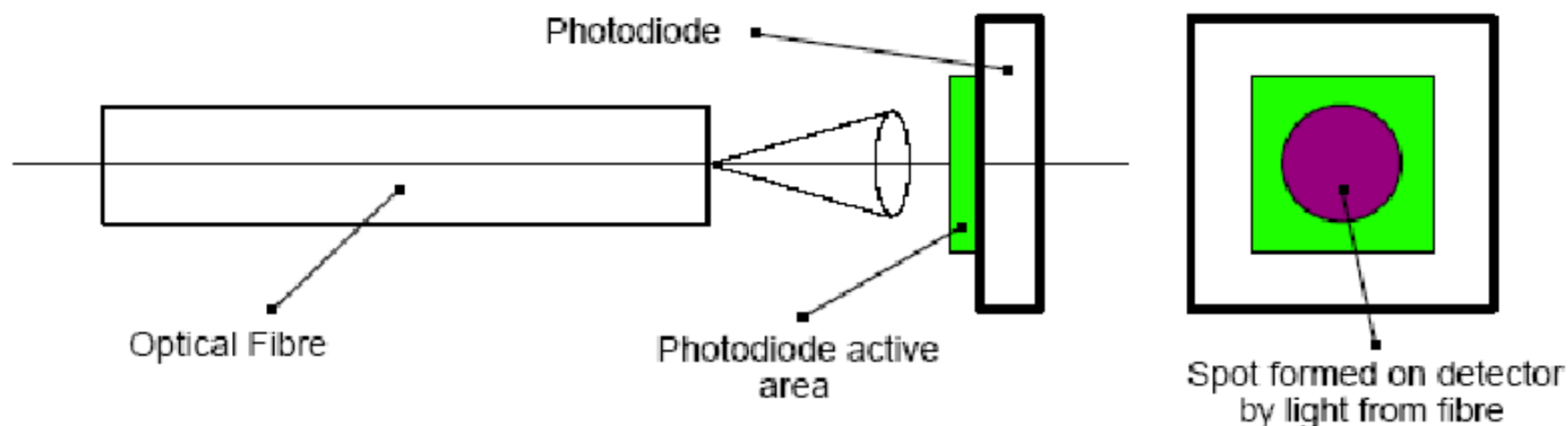
- تست توان و تلفات نوری برای اهداف زیر صورت می گیرد:
- تعیین تطابق قدرت خروجی فرستنده با مشخصات تعیین شده
- اندازه گیری قدرت خروجی فیبر نوری دقیقا قبل از گیرنده
- تعیین تلفات طول مشخصی از فیبر
- اندازه گیری تلفات بین دو نقطه

Loss measurement between two patchpanels

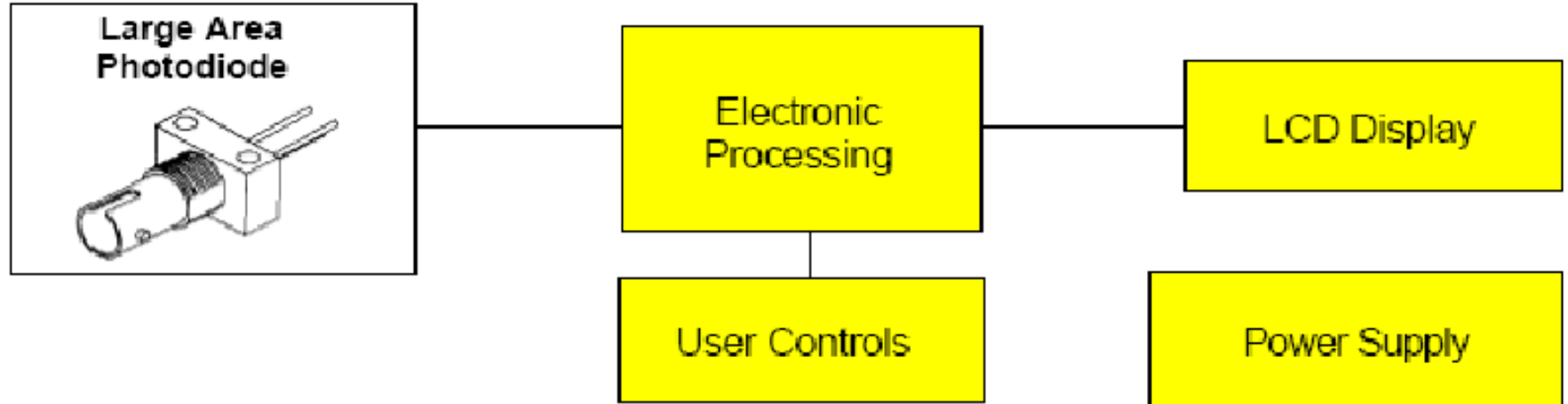


Optical Power Meter Fundamentals

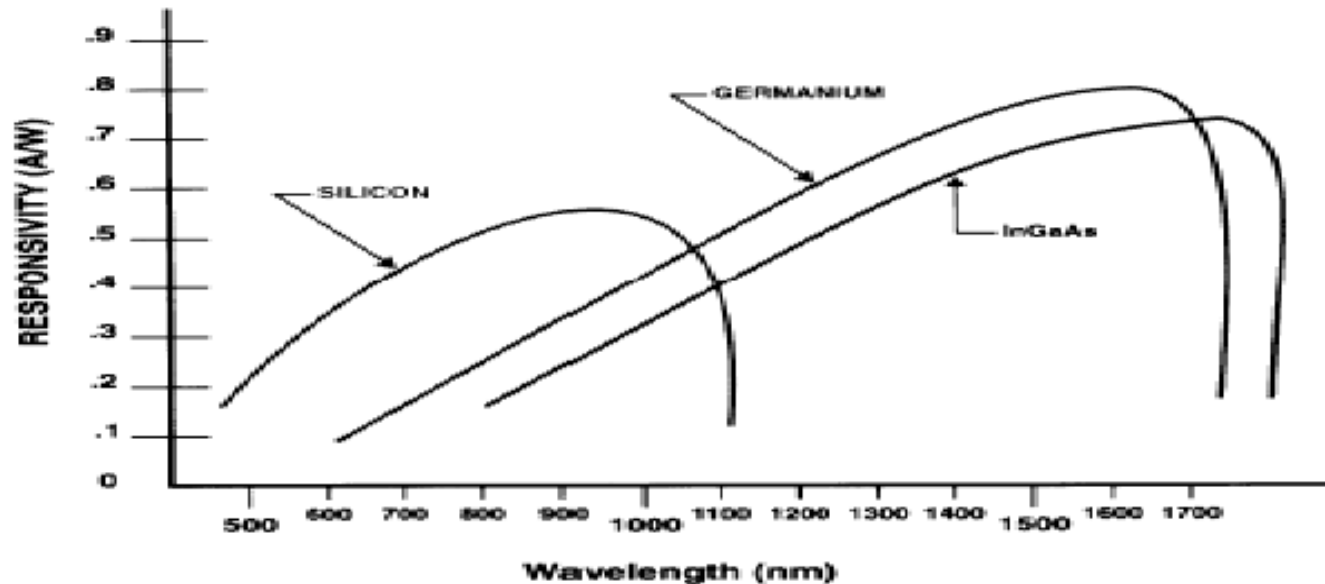
- اندازه گیری توان نوری در یک سیستم نوری اهمیت بنیادی دارد
- معمولاً آشکارسازهای نوری در توان سنج های نوری بکار می روند
- آشکارسازهای نوری با سطح فعال بزرگ ترجیح داده می شوند تا اطمینان حاصل شود که همه نور خروجی فیبر آشکار می شود



بلوک دیاگرام یک توان سنج نوری

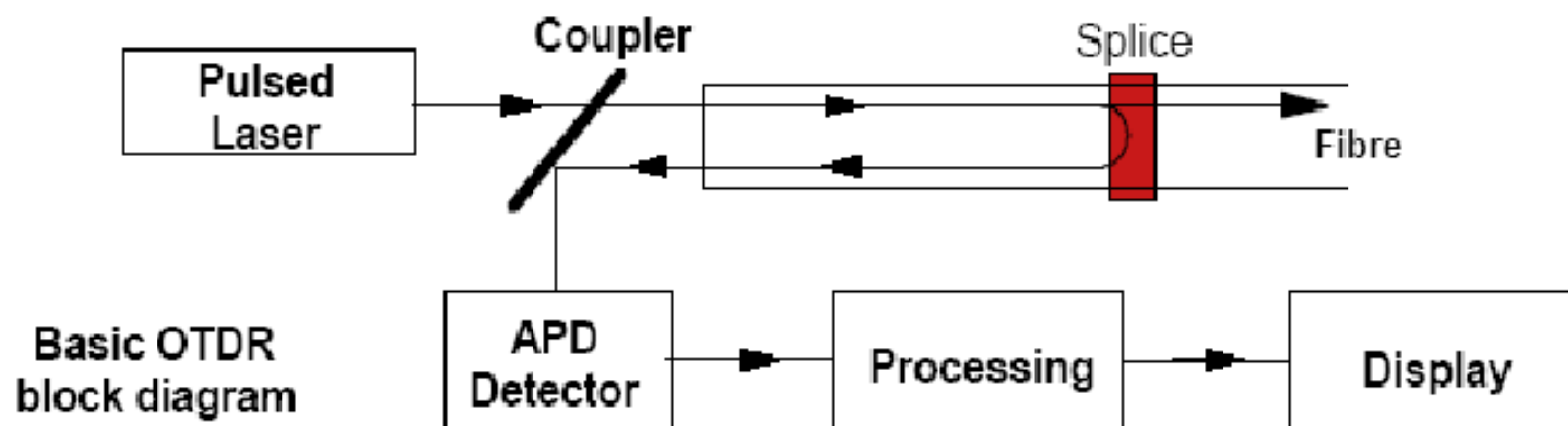


Detector Responsivity / Spectral Range



Optical Time Domain Reflectometer (OTDR)

- یک **OTDR** وسیله ای است که می تواند تلفات فیبر نوری یک لینک را بصورت تابعی از فاصله بر روی صفحه نمایش خود نمایش دهد.
- یک **OTDR** به این صورت کار می کند که نور لیزر را روی یک فیبر نوری ارسال می کند و نور برگشتی از فیبر به **OTDR** را بصورت تابعی از زمان و مقدار آن اندازه گیری می کند.
- **OTDR** زمان را به فاصله تبدیل می کند و با توجه به سطوح برگشتی تلفات در فواصل مختلف را تخمین می زند.
- نتیجه نمایشی از تلفات بر حسب فاصله در فیبر خواهد بود.

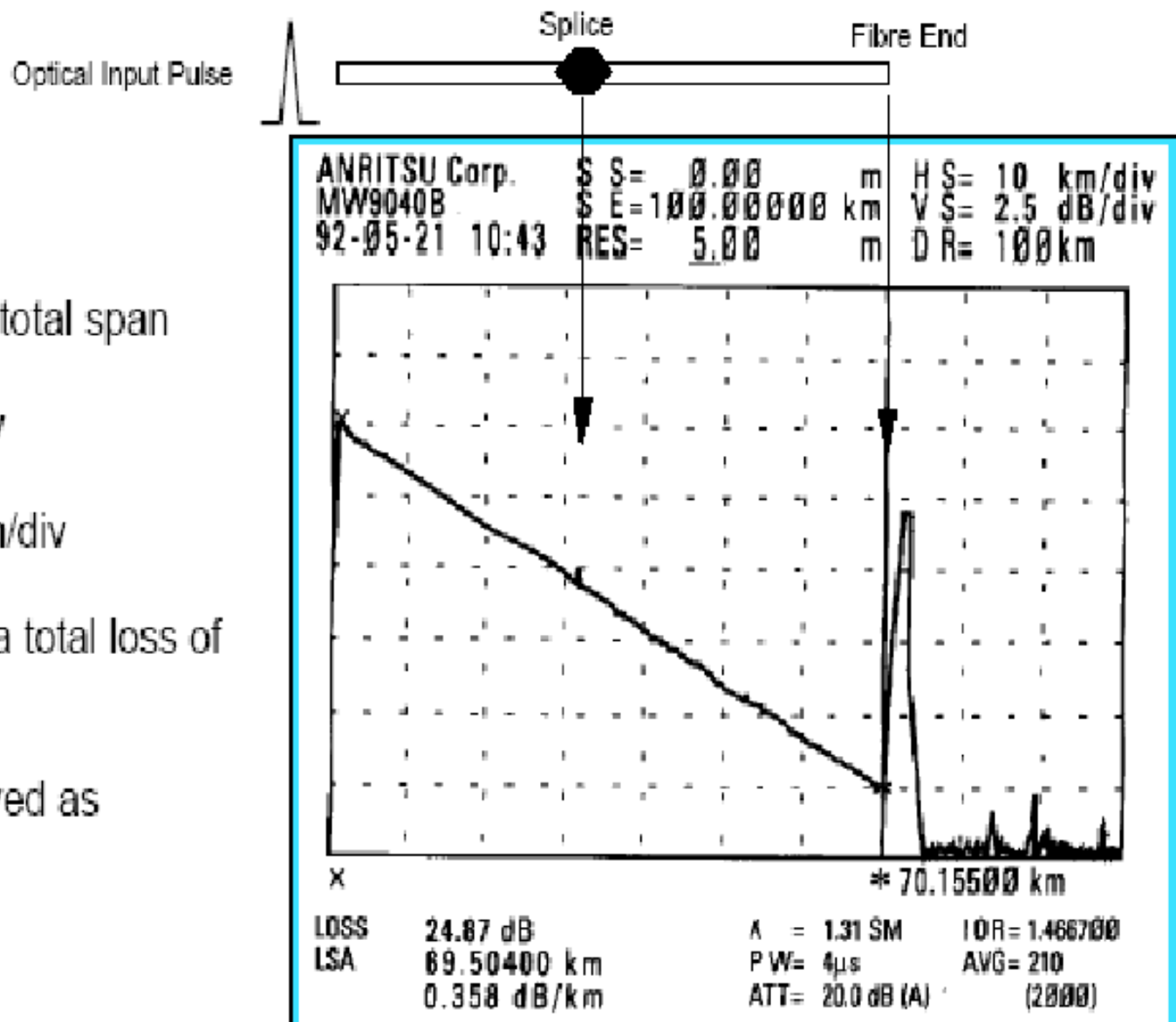


یک OTDR چه چیزهایی را نشان می دهد؟

- کل تلفات فیبر
- تلفات در واحد طول
- تلفات ناشی از وجود کانکتور
- افت برگشتی کانکتور
- تلفات جوشها
- تلفات بین جوشها
- طول خالص فیبر
- علائم خمش ریز و درشت
- محل قطعی یا اشکال فیبر

Sample OTDR Display

- Display shows total span
- Loss 2.5 dB/div
- Distance 10 km/div
- Markers show a total loss of 24.87 dB
- Span is displayed as 70.155 km
- Anritsu OTDR



OTDR Characteristics

- **محدوده فاصله (Distance Range):** حداکثر فاصله ای که یک OTDR می تواند انعکاس آن را آشکار کند.
- **قدرت تفکیک دو نقطه (Two Point Resolution):** حداقل فاصله بین دو نقطه انعکاس (مثل دو جوش) که بطور دقیق قابل تشخیص باشد. قدرت تفکیک به چند عامل بستگی دارد مثلا استفاده از پالس کوتاهتر قدرت تفکیک را افزایش می دهد.
- **دقت (Accuracy):** دقت فاصله به چند عامل بستگی دارد یکی از آنها ضریب شکست مورد استفاده است.
- **OTDR ها یک منطقه مرده (Dead Zone)** دارند. فاصله ای از OTDR که در آن فاصله امکان اندازه گیری دقیق وجود ندارد. معمولا حدود ۲۰ متر فاصله از دستگاه است.

Typical OTDR

- انواع مختلف دستی کامپیوتری و رومیزی
- محدوده فاصله از یک کیلومتر تا ۱۰۰ ها کیلومتر
- قدرت تفکیک از زیر ۱ متر تا ۵۰ متر



Optical Spectrum Analysis (OSA)

- این دستگاه برای اندازه گیری توان نوری بر حسب طول موج به کار می رود.

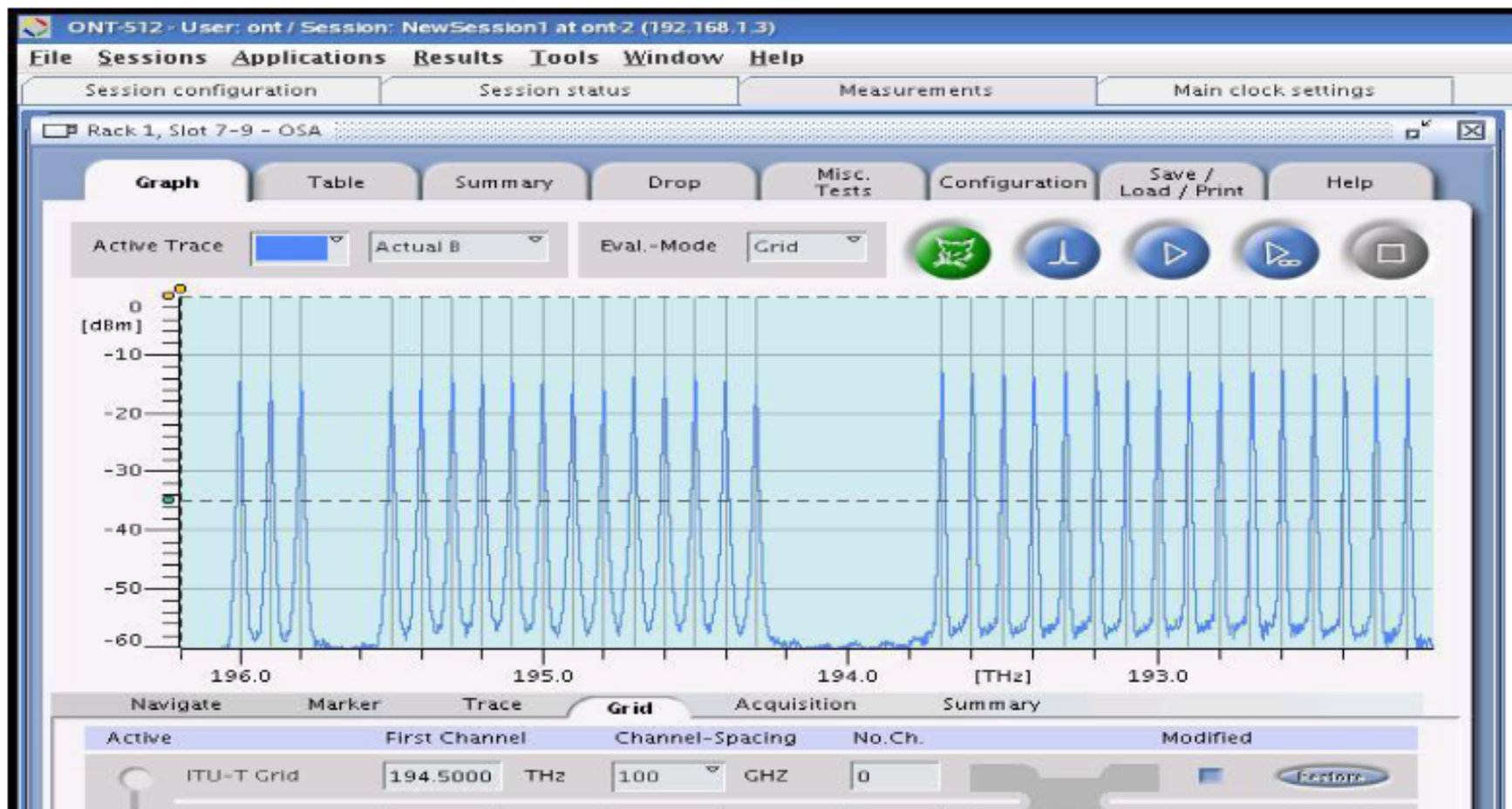
- سه نوع اصلی از این دستگاه وجود دارد:

- دستگاه مبتنی بر **Diffraction Grating** یا **Monochromator**

- دستگاه تداخل سنج فابری - پرو

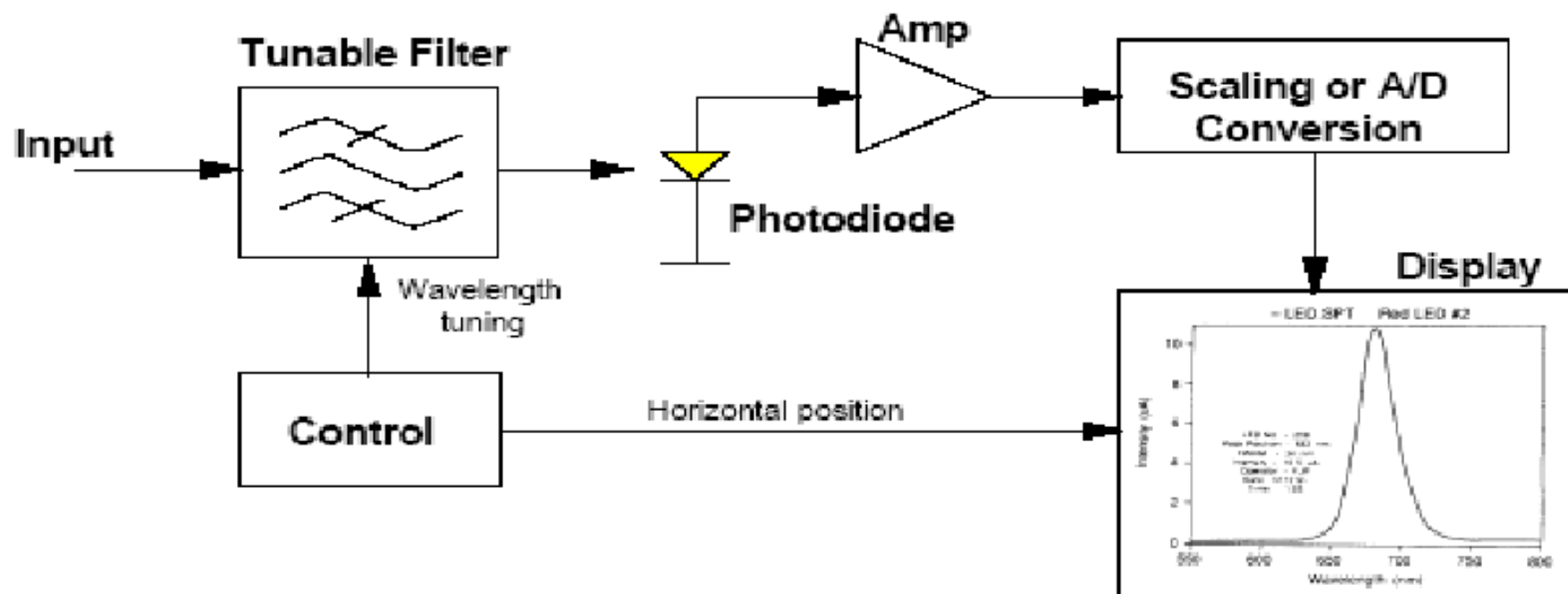
- دستگاه تداخل سنج **Michelson**

طیف دریافتی در DEMux



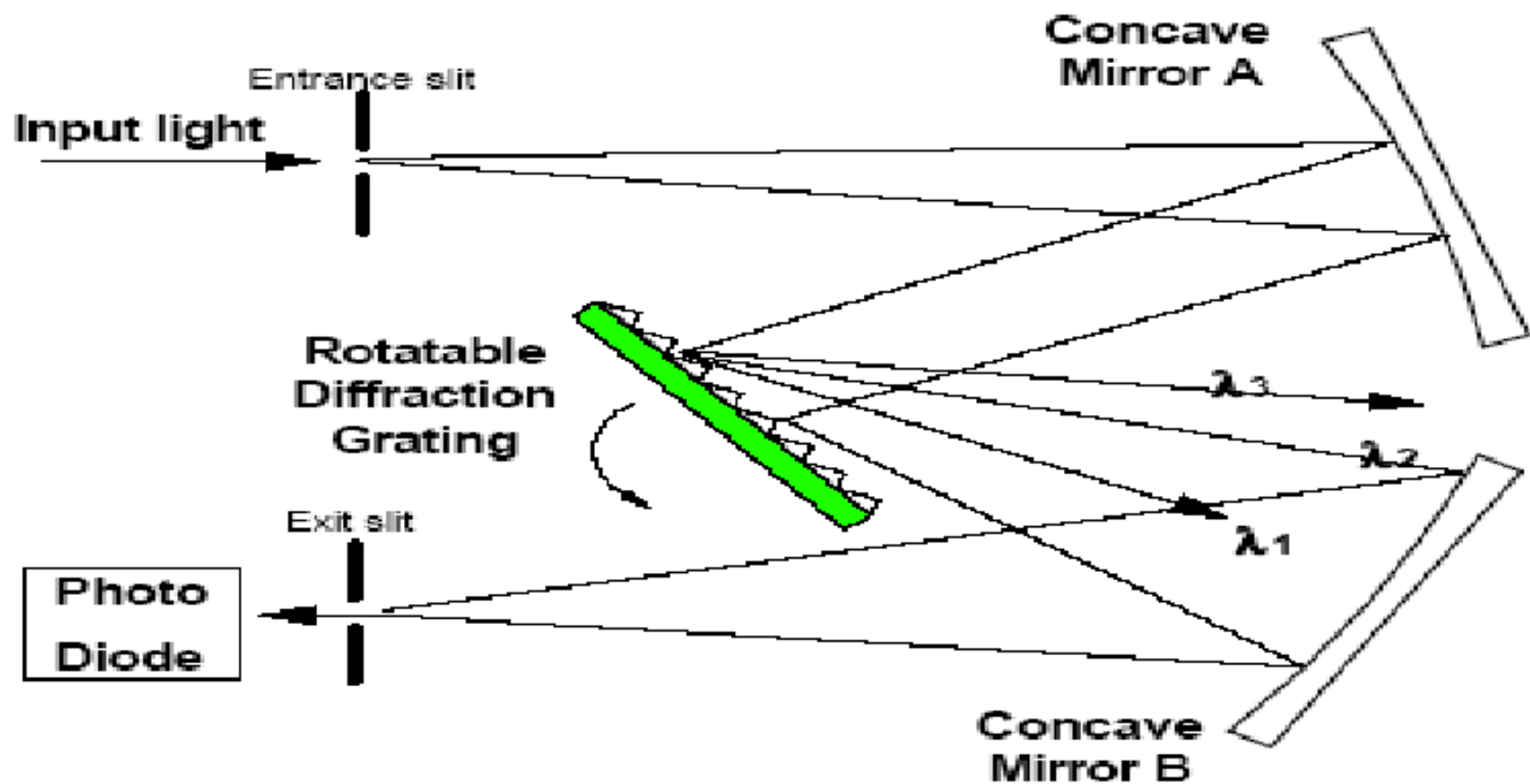
اصول کار OSA

- روش اصلی این است که سیگنال نوری مورد نظر از داخل یک فیلتر نوری قابل تنظیم عبور کند تا به این صورت مولفه های طیف تفکیک شوند.
- قدرت تفکیک دستگاه حداقل فاصله بین دو مولفه طیفی است که می توانند از هم بطور قابل اطمینانی متمایز شوند.



The Monochromator

- قدرت تفکیک مونوکرومتر از ۰,۱ تا ۱۰ نانومتر است و طول موج مرکزی و محدوده تنظیم متغیر است. برای مقایسه تداخل سنج فابری پرو قدرت تفکیک ۰,۱ تا ۰,۱ نانومتر دارد ولی طول موج مرکزی آن ثابت است.



Diffraction Gratings

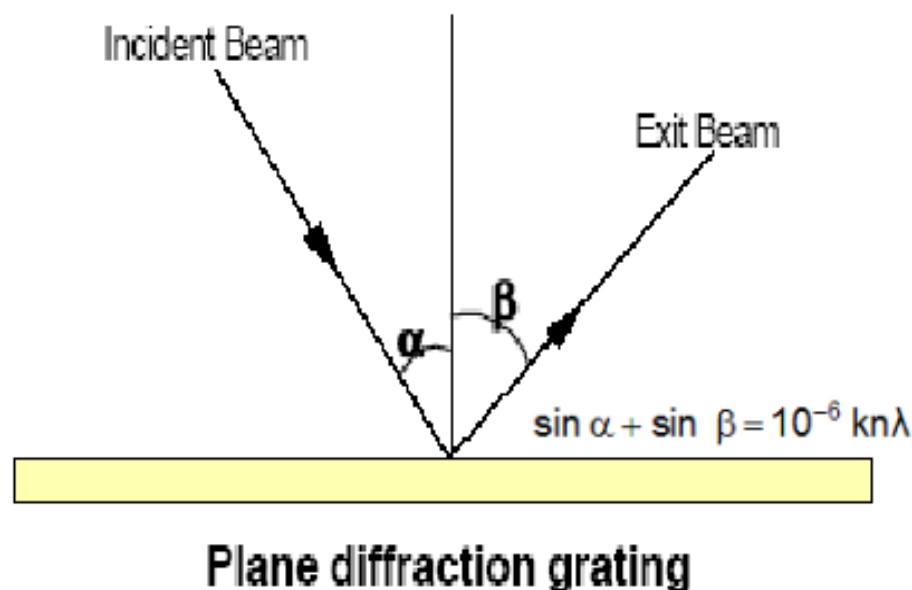
- A grating is series of parallel, equally spaced grooves, with a spacing about that of the wavelength of light.
 - Light incident on the grooves is diffracted and the diffraction patterns from each groove interfere.
 - The result is that the exit angle depends on the wavelength of the light, as shown in so called "grating equation" shown below.
-

Grating Equation

$$\sin \alpha + \sin \beta = 10^{-6} \cdot K \cdot n \cdot \lambda$$

where K is the diffraction order, n is the number of grooves per mm and λ is the wavelength in nm.

(all angles in degrees)



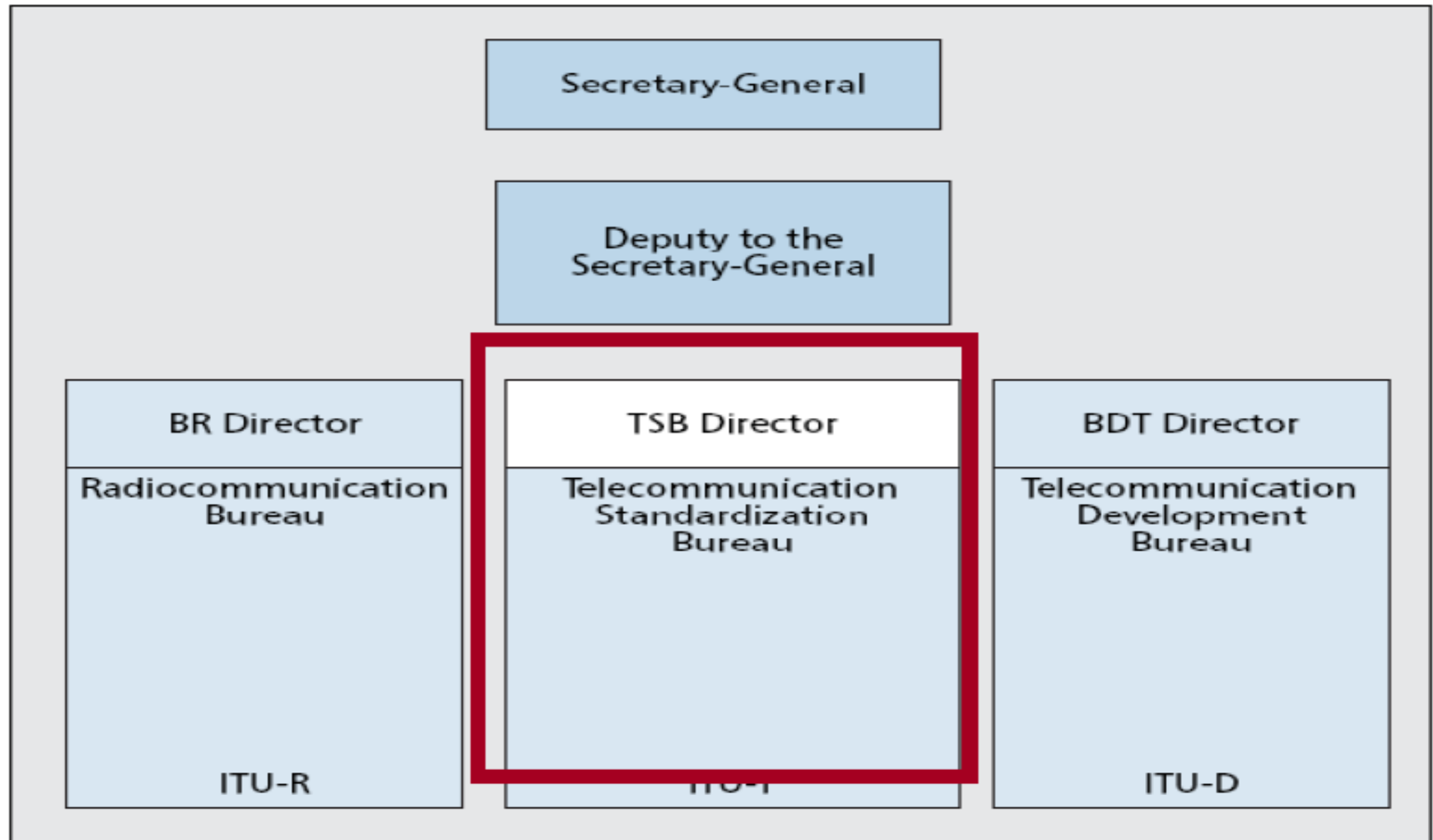
Optical Spectrum Analysers

- این دستگاه به کاربر امکان می دهد تا طیف سیگنالهای نوری را بصورت بلادرنگ ببیند.
- به سیستمهای تک کاناله چندان مربوط نیست اما برای سیستمهای **DWDM** یک ابزار ضروری است.
- این دستگاهها بصورت دستی هم موجود هستند.



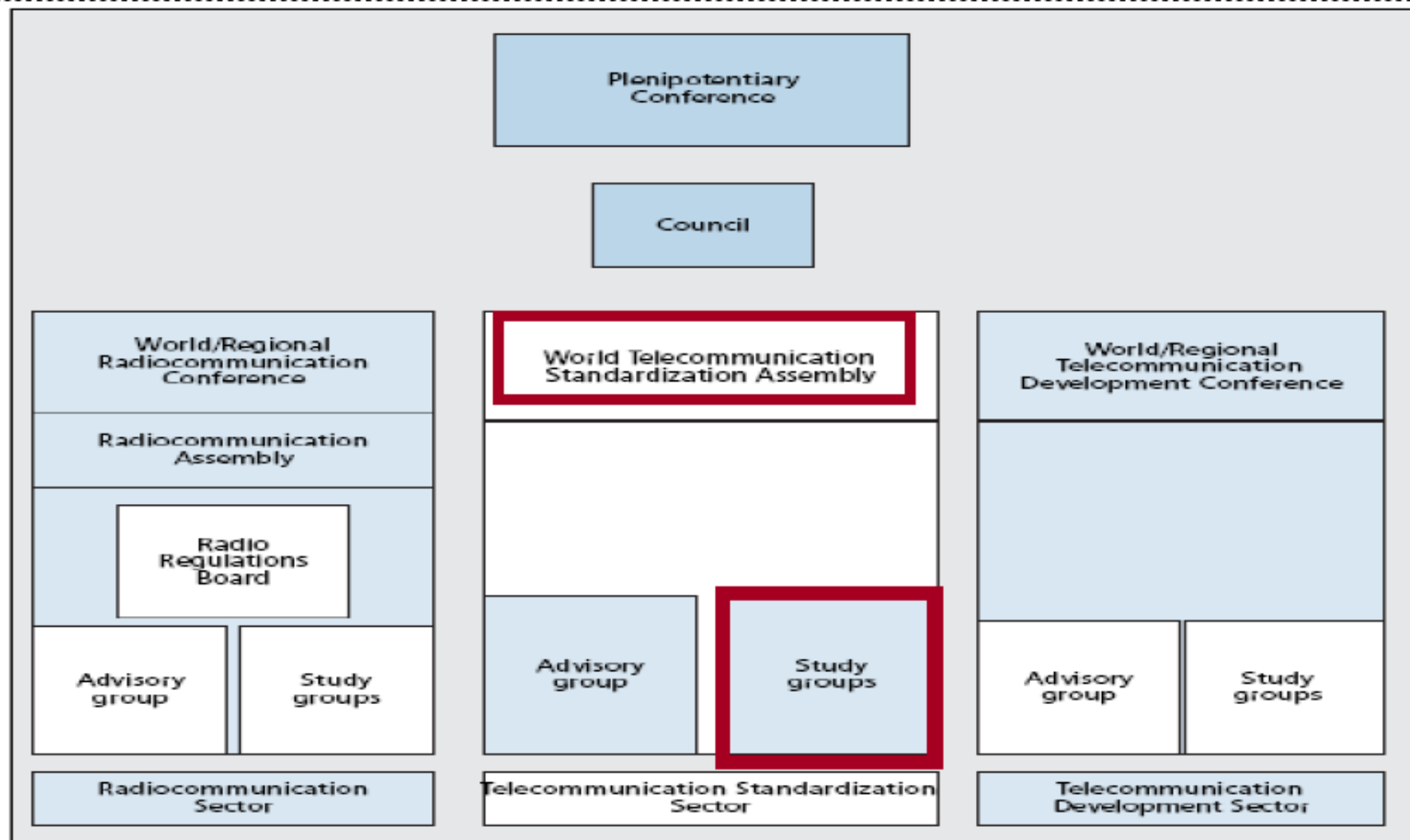
معرفی ITU و گروههای مطالعاتی و نحوه دسترسی به استانداردها (بخش G)

ساختار اجرائی ITU



■ Figure 1. *ITU General Secretariat.*

ساختار قانونگذاری ITU



■ Figure 2. ITU's administrative entities.

سایت ITU : WWW.itu.int

ITU: Committed to connecting the world

www.itu.int

Committed to connecting the world

عربي 中文 Español Français Русский

What would you like to search for?

ITU General Secretariat Radiocommunication Standardization Development ITU Telecom Member States

About ITU Newsroom Events Publications Statistics Careers Regional Presence

I wear orange

#Iwearorangebecause I care about keeping women and girls safe online.

As the UN Specialized Agency for Information and Communication Technologies (ICTs), ITU is already very actively engaged with gender and technology issues.

[Read More... >](#)



"I wear orange because I care about keeping women and girls safe online."

Dr. Hamadoun Touré, Secretary-General, International Telecommunication Union

سایت ITU: بخش استانداردها (۱)

ITU Telecommunication S x

← → X ⌂

www.itu.int/en/ITU-T/Pages/default.aspx



Committed to connecting the world
عربي 中文 Español Français Русский

What would you like to search for?

[ITU](#)[General Secretariat](#)[Radiocommunication](#)[Standardization](#)[Development](#)[ITU Telecom](#)[Members](#)

[About ITU-T](#)[Study Groups](#)[Events](#)[All Groups](#)[Join ITU-T](#)[Publications](#)[Resources](#)[Workshops](#)[Regional Presence](#)

ITU Telecommunication Standardization Sector

YOU ARE HERE

HOME

> ITU-T

SHARE

ITU-T Study Groups

ITU-T Study Groups assemble ICT standardization experts from around the globe to develop ITU's international standards, ITU-T Recommendations.

[More >](#)



News

What's on

Deadline extension for Kalei 2014 academic papers
Thu, 21 Nov 2013 16:09

New standard for e-health d the close of the ITU-T H.264

سایت ITU : بخش استانداردها (۲)

ITU Telecommunication

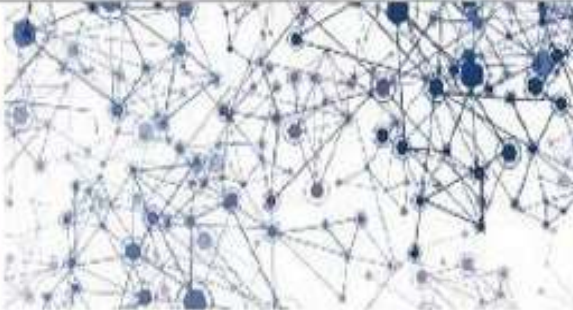
www.itu.int/en/ITU-T/Pages/default.aspx



25-29 November, Yangon, Myanmar: two ITU workshops will discuss how the Asia-Pacific region can boost trade, interoperability and innovation.

[More >](#)

[More >](#)



New Technology Watch Report charts the rise of 'big data', outlining examples, associated applications and emerging standardization needs.

[More >](#)

[Software-defined Networking \(SDN\) >](#)

[Standards Q&A >](#)

[Study Groups >](#)

[Technology Watch >](#)

[TSAG >](#)

[Workshops >](#)

[WTS-12 >](#)

Products

Video Corner

Photo Corner

[Standards >](#)

[ITU Operational Bulletin >](#)

[International Numbering Resources >](#)

[Resolutions >](#)

[Database >](#)

سایت ITU : بخش استانداردها (۳)

ITU-T Recommendations x

www.itu.int/en/ITU-T/publications/Pages/recs.aspx

 **Committed to connecting the world**

What would you like to do?

[Home](#) [ITU](#) [General Secretariat](#) [Radiocommunication](#) **[Standardization](#)** [Development](#) [ITU Telecom](#)

[About ITU-T](#) [Study Groups](#) [Events](#) [All Groups](#) [Join ITU-T](#) [Publications](#) [Resources](#) [Workshops](#)

ITU-T Recommendations

YOU ARE HERE [HOME](#) > [ITU-T](#) > [PUBLICATIONS](#) > [ITU-T RECOMMENDATIONS](#)

[ITU-T Recommendations](#)

[Tutorials and Technical papers](#)

[WTSA Resolutions](#)

[WTSA Proceedings](#)

The main products of ITU-T are Recommendations (ITU-T Recs) - standards defining how telecommunications interwork. See below list for access. ITU-T Recs have non-mandatory status until they are adopted in national standards, but they are however high due to international applicability and the high quality guaranteed by the ITU-T's secretariat and the foremost ICT companies and global administrations.

There are over 4000 Recommendations in force on topics from service definition to network architecture and from Gbit/s optical transmission systems to next-generation networks (NGN) and IP-related issues, all together covering today's information and communication technologies (ICTs).

سایت ITU : دسته بندی کل استانداردهای مخابراتی

The screenshot shows the ITU-T Recommendations website. The browser address bar displays www.itu.int/en/ITU-T/publications/Pages/recs.aspx. The page features a sidebar with links to 'Technology Watch' and 'Databases'. The main content area lists 'Latest ITU-T Publications' and 'To Order the DVD of ITU-T Recommendations'. Below these are two columns of standard series: 'A TO M SERIES' and 'N TO Z SERIES'.

Latest ITU-T Publications

- ITU-T Recommendations under AAP (Alternative Approval Process)
- ITU-T Recommendations under TAP (Traditional Approval Process)
- To Order the DVD of ITU-T Recommendations

A TO M SERIES

- A : Organization of the work of ITU-T
- D : General tariff principles
- E : Overall network operation, telephone service, service operation and human factors
- F : Non-telephone telecommunication services
- G : Transmission systems and media, digital systems and networks
- H : Audiovisual and multimedia systems
- I : Integrated services digital network
- J : Cable networks and transmission of television, sound programme and other multimedia signals
- K : Protection against interference
- L : Construction, installation and protection of cables and other elements of outside plant
- M : Telecommunication management, including TMN and network maintenance

N TO Z SERIES

- N : Maintenance: international sound programme and television transmission circuits
- O : Specifications of measuring equipment
- P : Terminals and subjective and objective assessment methods
- Q : Switching and signalling
- R : Telegraph transmission
- S : Telegraph services terminal equipment
- T : Terminals for telematic services
- U : Telegraph switching
- V : Data communication over the telephone network
- X : Data networks, open system communications and security
- Y : Global information infrastructure, Internet protocol aspects and next-generation networks
- Z : Languages and general software aspects for telecommunication systems

سایت ITU: استانداردهای سری G (۱)

ITU-T Recommendations x

www.itu.int/ITU-T/recommendations/index.aspx?ser=G

 **Committed to connecting the world**

What would you like to do?

[ITU](#) [General Secretariat](#) [Radiocommunication](#) [Standardization](#) [Development](#) [ITU Telecom](#)

[About ITU-T](#) [Study Groups](#) [Events](#) [All Groups](#) [Join ITU-T](#) [Publications](#) [Resources](#) [Workshops](#)

ITU-T Recommendations

YOU ARE HERE [HOME](#) > [ITU-T RECOMMENDATIONS](#)

Search by number:

Others:

[Advanced search](#)

[Provisional name](#)

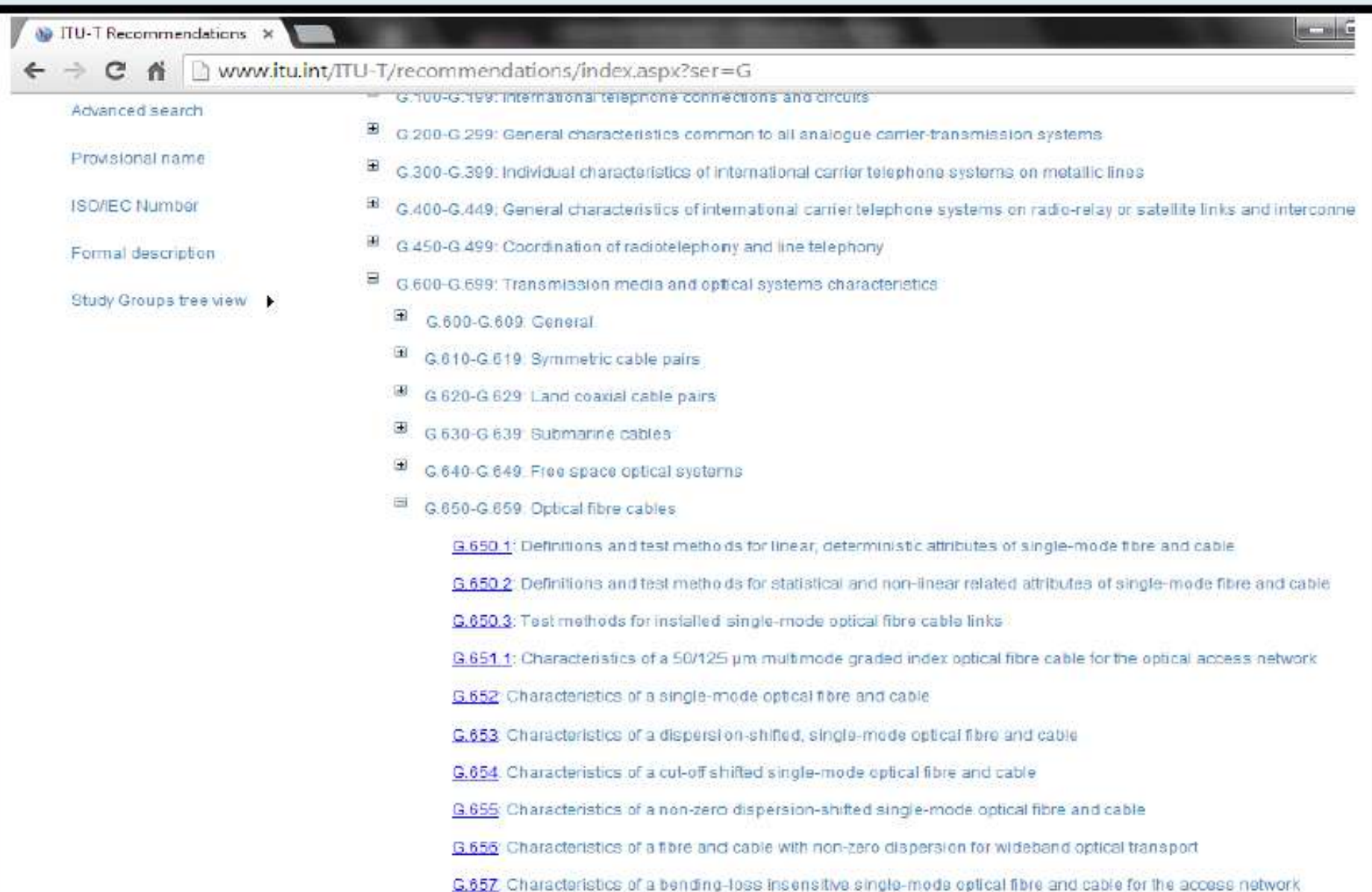
[ISO/IEC Number](#)

ITU-T Recommendations by series

G series: Transmission systems and media, digital systems and networks

- ☒ G series: Transmission systems and media, digital systems and networks
 - ☒ G.100-G.199: International telephone connections and circuits
 - ☒ G.200-G.299: General characteristics common to all analogue carrier-transmission systems
 - ☒ G.300-G.399: Individual characteristics of international carrier telephone systems on metropolitan area networks
 - ☐ G.400-G.499: Individual characteristics of international carrier telephone systems on long distance networks

سایت ITU: استانداردهای سری G (۲)



The screenshot shows a web browser window with the address bar displaying www.itu.int/ITU-T/recommendations/index.aspx?ser=G. The page title is "ITU-T Recommendations". On the left side, there is a navigation menu with the following links: "Advanced search", "Provisional name", "ISO/IEC Number", "Formal description", and "Study Groups tree view". The main content area displays a list of ITU-T Recommendation series G, each with a plus icon to its left:

- G.100-G.199: International telephone connections and circuits
- G.200-G.299: General characteristics common to all analogue carrier-transmission systems
- G.300-G.399: Individual characteristics of international carrier telephone systems on metallic lines
- G.400-G.449: General characteristics of international carrier telephone systems on radio-relay or satellite links and interconnections
- G.450-G.499: Coordination of radiotelephony and line telephony
- G.600-G.699: Transmission media and optical systems characteristics
 - G.600-G.609: General
 - G.610-G.619: Symmetric cable pairs
 - G.620-G.629: Land coaxial cable pairs
 - G.630-G.639: Submarine cables
 - G.640-G.649: Free space optical systems
 - G.650-G.659: Optical fibre cables
 - [G.650.1](#): Definitions and test methods for linear, deterministic attributes of single-mode fibre and cable
 - [G.650.2](#): Definitions and test methods for statistical and non-linear related attributes of single-mode fibre and cable
 - [G.650.3](#): Test methods for installed single-mode optical fibre cable links
 - [G.651.1](#): Characteristics of a 50/125 µm multimode graded index optical fibre cable for the optical access network
 - [G.652](#): Characteristics of a single-mode optical fibre and cable
 - [G.653](#): Characteristics of a dispersion-shifted, single-mode optical fibre and cable
 - [G.654](#): Characteristics of a cut-off shifted single-mode optical fibre and cable
 - [G.655](#): Characteristics of a non-zero dispersion-shifted single-mode optical fibre and cable
 - [G.656](#): Characteristics of a fibre and cable with non-zero dispersion for wideband optical transport
 - [G.657](#): Characteristics of a bending-loss insensitive single-mode optical fibre and cable for the access network

سایت ITU: وضعیت یک استاندارد و تاریخچه تغییرات

ITU-T Recommendation

www.itu.int/ITU-T/recommendations/rec.aspx?rec=10390

Advanced search

Provisional name

ISO/IEC Number

Formal description

Study Groups tree view

has the absolute value of the chromatic dispersion coefficient greater than some non-zero value throughout the wavelength range from 1530 nm to 1585 nm. This dispersion reduces the growth of non-linear effects which are particularly deleterious in dense wavelength division multiplexing systems. The last revision in 2006 adds two new categories of this fibre in Tables D and E. Both of these categories limit the chromatic dispersion coefficient by a pair of bounding curves versus wavelength for the range of 1480 nm to 1625 nm. Although the dispersion can change sign at wavelengths less than 1530 nm, the inclusion of

Citation:

http://handle.itu.int/11.1002/1000/10390

Approval date:

2009-11-13

Approval process:

AAP

Status:

In force

Maintenance responsibility:

ITU-T Study Group 15

Further details:

Patent statement(s)

Development history

[12 related work items in progress]

Editions

Related supplement(s)

Ed.	ITU-T Recommendation	Status	Summary	Table of Contents	Download
5	G.655 (11/2009)	In force	here	here	here
4	G.655 (03/2006)	Superseded	here	here	here
3	G.655 (03/2003)	Superseded	here	here	here
2	G.655 (10/2000)	Superseded	here	here	here
1	G.655 (10/1996)	Superseded	here	here	here

سایت ITU : دریافت فایل pdf یک استاندارد

**International
Telecommunication
Union**



[Home](#) : [ITU-T](#) : [Publications](#) : [Recommendations](#) : [G Series](#) : [G.655](#) : G.655 (11/09)

[Recently posted](#) -

[ITU Sectors](#) | [Newsroom](#) | [Events](#) | [Publications](#) | [Statistics](#) | [About ITU](#)

G.655 : Characteristics of a non-zero dispersion-shifted single-mode optical fibre and cable

Recommendation G.655 (11/09)

Approved in 2009-11

Status : In force

Access : Freely available items

Available languages and formats :

 Click on the selected format and language to get the document

Format	Size	Posted	Article Number
English  PDF (acrobat)	421661 bytes	2010-05-19	E 35569

گروههای مطالعاتی دهگانه ITU-T

ITU-T Study Groups (Study Period 2013-2016)

www.itu.int/en/ITU-T/studygroups/2013-2016/Pages/default.aspx



Committed to connecting the world

العربية 中文 Español Français Русский

ITU

General Secretariat

Radiocommunication

Standardization

Development

ITU Telecom

Membership

About ITU-T

Study Groups

Events

All Groups

Join ITU-T

Publications

Resources

Workshops

Regional Presence

ITU-T Study Groups (Study Period 2013 - 2016)

YOU ARE HERE

HOME

> ITU-T

> STUDY GROUPS

> STUDY PERIOD 2013-2016

SHARE



Standardization work is carried out by the technical Study Groups (SGs) in which representatives of the ITU-T membership develop Recommendations (standards) for the various fields of international telecommunications.

SG2 - Operational aspects

- SG2 at a Glance

SG3 - Economic and policy issues

- SG3 at a Glance

SG5 - Environment and climate change

- SG5 at a Glance

SG9 - Broadband cable and TV

- SG9 at a Glance

SG11 - Protocols and test specifications

- SG11 at a Glance

SG12 - Performance, QoS and QoE

- SG12 at a Glance

SG13 - Future networks

- SG13 at a Glance

SG15 - Transport, Access and Home

- SG15 at a Glance

SG16 - Multimedia

- SG16 at a Glance

SG17 - Security

- SG17 at a Glance

Related Groups

ITU-T SG News

- Telecommunication Standardization Advisory Group (TSAG)
- Review Committee (RevCom)
- Standardization Committee for Vocabulary (SCV)
- External Cooperation

Previous Study Periods

Terminated Study Groups

- Study Period 2009-2012
- Study Period 2005-2008

گروه مطالعاتی ۱۵: ساختار و سوالات

Study Group Structure	
www.itu.int/en/ITU-T/studygroups/2013-2016/15/Pages/structure.aspx	
GROUP STRUCTURE	
Contact	
SG15 at a glance	
Mandate and lead roles	
Structure	
Questions under study	
Management team	
Rapporteurs	
Editors	
Representatives and other roles	
Approved deliverables	
Recommendations	
Technical papers	
Implementers' guides	
Handbooks	

	TITLE
WP1/15	Transport aspects of access, home and smart grid networks
Q1/15	Coordination of access and Home Network Transport standards
Q2/15	Optical systems for fibre access networks
Q4/15	Broadband access over metallic conductors
Q15/15	Communications for Smart Grid
Q18/15	Broadband in-premises networking
WP2/15	Optical technologies and physical infrastructures
Q5/15	Characteristics and test methods of optical fibres and cables
Q6/15	Characteristics of optical systems for terrestrial transport networks
Q7/15	Characteristics of optical components and subsystems
Q8/15	Characteristics of optical fibre submarine cable systems
Q16/15	Outside plant and related indoor installation
Q17/15	Maintenance and operation of optical fibre cable networks
WP3/15	Transport network characteristics
Q3/15	General characteristics of transport networks
Q9/15	Transport network protection/restoration
Q10/15	Interfaces, Interworking, OAM and Equipment specifications for Packet based Transport Networks
Q11/15	Signal structures, interfaces, equipment functions, and interworking for transport networks
Q12/15	Transport network architectures
Q13/15	Network synchronization and time distribution performance
Q14/15	Management and control of transport systems and equipment

استانداردهای مرتبط با گروه مطالعاتی ۱۵

The screenshot shows a web browser window with the address bar displaying www.itu.int/ITU-T/recommendations/index_sg.aspx?sg=15. The page title is "ITU-T Recommendations under Study Group 15 responsibility". On the left, there is a search bar with the text "Search by number:" and a "Search" button. Below the search bar, there are links for "Others:", "Advanced search", "Provisional name", "ISO/IEC Number", "Formal description", and "Study Groups tree view". The main content area lists the "SG 15 Recommendations" with a list of series: G series, I series, L series, O series, P series, Q series, R series, V series, X series, and Y series. Each series is preceded by a plus icon.

ITU-T Recommendation ti x آفتاب x

← → ↻ 🏠 📄 www.itu.int/ITU-T/recommendations/index_sg.aspx?sg=15

Search by number:

Others:

[Advanced search](#)

[Provisional name](#)

[ISO/IEC Number](#)

[Formal description](#)

[Study Groups tree view ▶](#)

ITU-T Recommendations under Study Group 15 responsibility

- ☐ SG 15 Recommendations
 - ☐ G series: Transmission systems and media, digital systems and networks
 - ☐ I series: Integrated services digital network
 - ☐ L series: Construction, installation and protection of cables and other elements of outside plant
 - ☐ O series: Specifications of measuring equipment
 - ☐ P series: Terminals and subjective and objective assessment methods
 - ☐ Q series: Switching and signalling
 - ☐ R series: Telegraph transmission
 - ☐ V series: Data communication over the telephone network
 - ☐ X series: Data networks, open system communications and security
 - ☐ Y series: Global information infrastructure, Internet protocol aspects and next-generation networks

SDH

Synchronous Digital Hierarchy

SDH چیست؟

- سلسله مراتب دیجیتال سنکرون (SDH: Synchronous Digital Hierarchy) و معادل آمریکایی آن شبکه سنکرون نوری (SONET: Synchronous Optical Network) به نرخهای انتقال داده اطلاق می گردد که می توانند سیگنالهای دیجیتال را با سرعتهای متفاوت منتقل کنند.
- استاندارد SDH توسط اتحادیه جهانی مخابرات (ITU) مطرح و برای اولین بار در سال ۱۹۹۲ به شبکه مخابرات معرفی شد.
- SONET استاندارد است که از طرف ANSI معرفی شد.

نرخ ارسال داده های استاندارد

P D H	E0: 64 Kbps
	E1: 2.048 Mbps
	E2: 8.448 Mbps
	E3: 34.368 Mbps
	E4: 139.264 Mbps

ANSI

56 Kbps :DS0	T c a r r i e r
1.544 Mbps :DS1	
6.312 Mbps :DS2	
44.736 Mbps :DS3	

STM-x • اسم گذاری بین
المللی برای SDH است.

OC-x • اسم گذاری آمریکایی
برای SONET است.

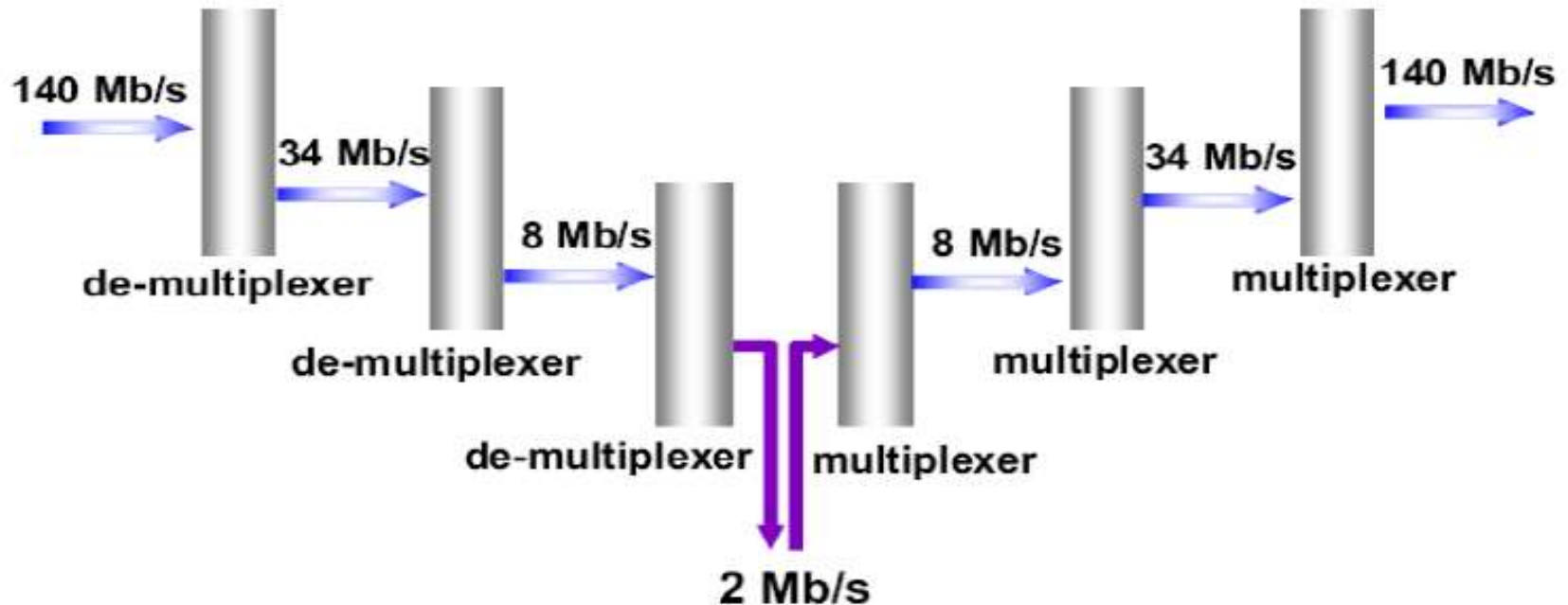
S D H	STM 0	51.840 Mbps	STS-1	S O N E T
	STM 1	155.520 Mbps	STS-3/ OC-3	
	STM 4	622.080 Mbps	OC-12	
	STM 16	2488.320 Mbps	OC-48	
	STM 64	9953.280 Mbps	OC-192	
	STM 256	39813.312 Mbps	OC-768	

معایب PDH: اینترفیسها - نگهداری و مدیریت

- اینترفیسهای الکتریکی: فقط استانداردهای منطقه ای وجود دارد: اروپایی: ۲,۰۴۸ مگابیت بر ثانیه و آمریکایی - ژاپنی: ۱,۵۴۴ مگابیت بر ثانیه فقط ۳ سلسله مراتب دارند (PDH: Plesiochronous Digital Hierarchy)
- اینترفیسهای نوری: هیچ استاندارد برای تجهیزات لاین نوری وجود ندارد. سازندگان بر اساس نظر خودشان می سازند.
- عملیات نگهداری: از نظر عملیات و مدیریت و نگهداری (OAM: Operation Administration Management) ضعیف است. برقراری مدار هم زمان بر است و هم نیاز به کار زیاد نیروی انسانی دارد.
- مدیریت شبکه: اینترفیسهای مدیریت شبکه (TMN: Telecom Management Network) استاندارد ندارد و قابلیت‌های آن برای ایجاد TMN محدود است.

معایب PDH: روشهای مالتی پلکسینگ

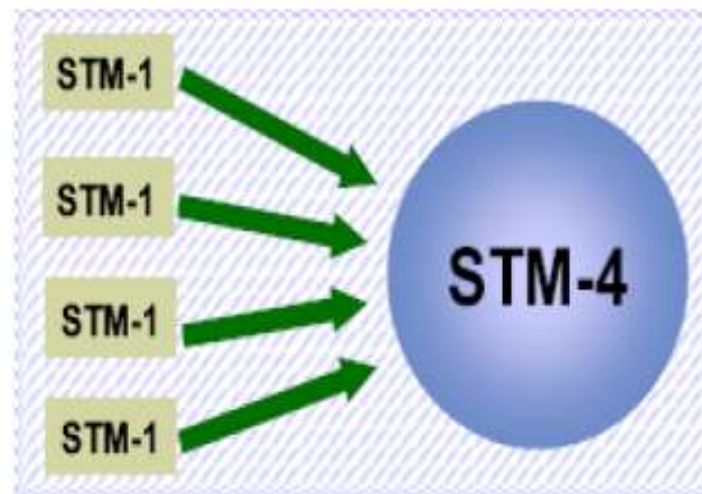
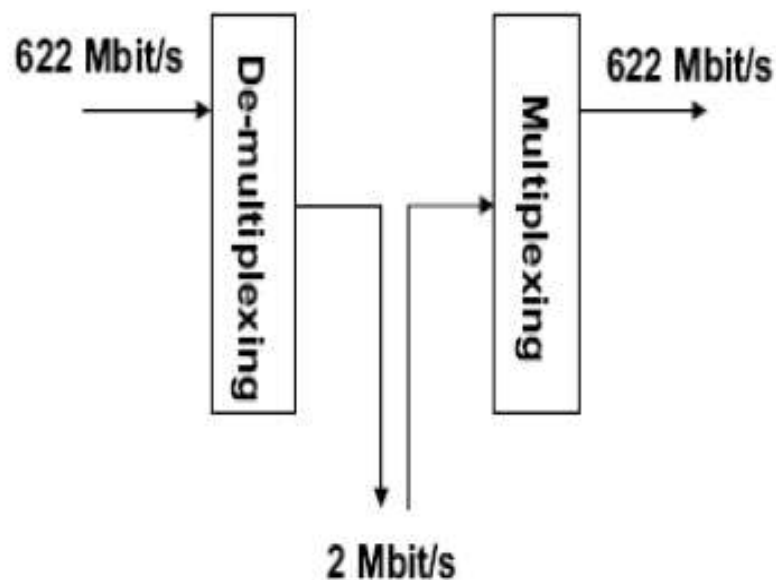
- مالتی پلکسینگ غیر همزمان: محل سیگنالهای با نرخ داده پایین تر در سیگنالهای با نرخ داده بالاتر نه قاعده مند هستند و نه قابل پیش بینی



level by level
Not suitable for huge-volume transmission

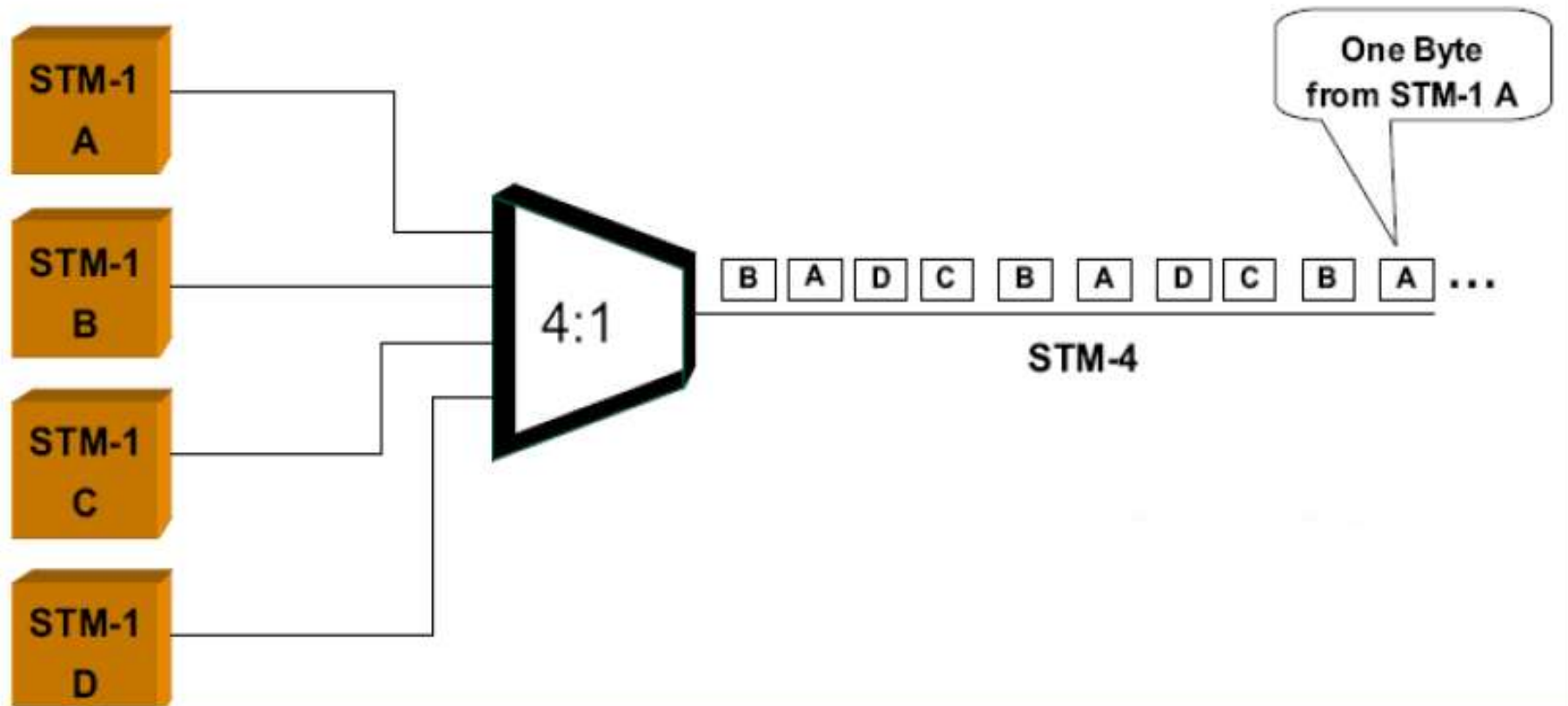
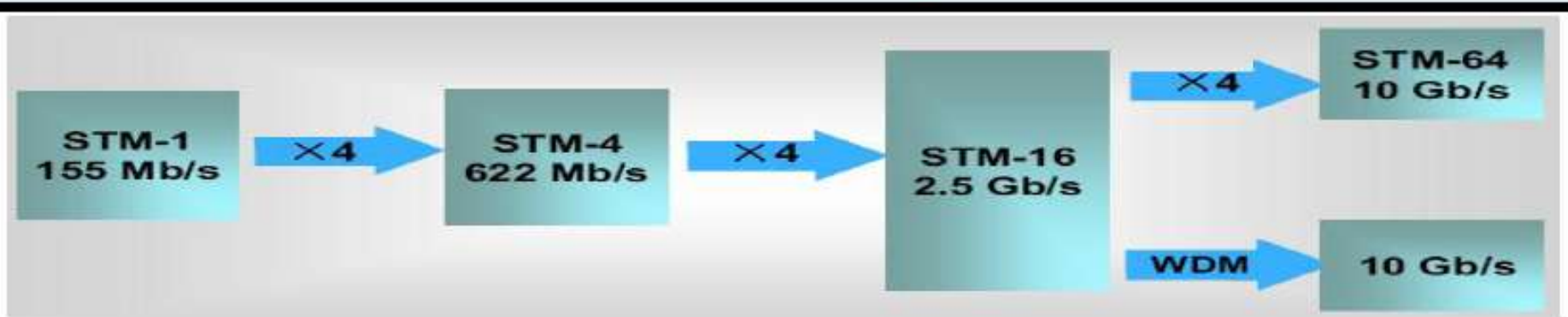
مزایای SDH: اینترفیسها و روش مالتی پلکسینگ

- اینترفیسهای الکتریکی: به همه سیگنالهای موجود PDH قابل اتصال است.
- اینترفیسهای نوری: به تجهیزات انتقال نوری سازندگان مختلف قابل اتصال است.
- نرخ داده پایه در SDH را STM-1 (Synchronous Transport Module, level 1 می نامند. نرخ های داده دیگر مضاربی از نرخ پایه هستند.



Low rate SDH High rate SDH

مزایای SDH : روش مالتی پلکسینگ Byte Interleaved



معایب SDH

1. Low bandwidth utilization ratio.

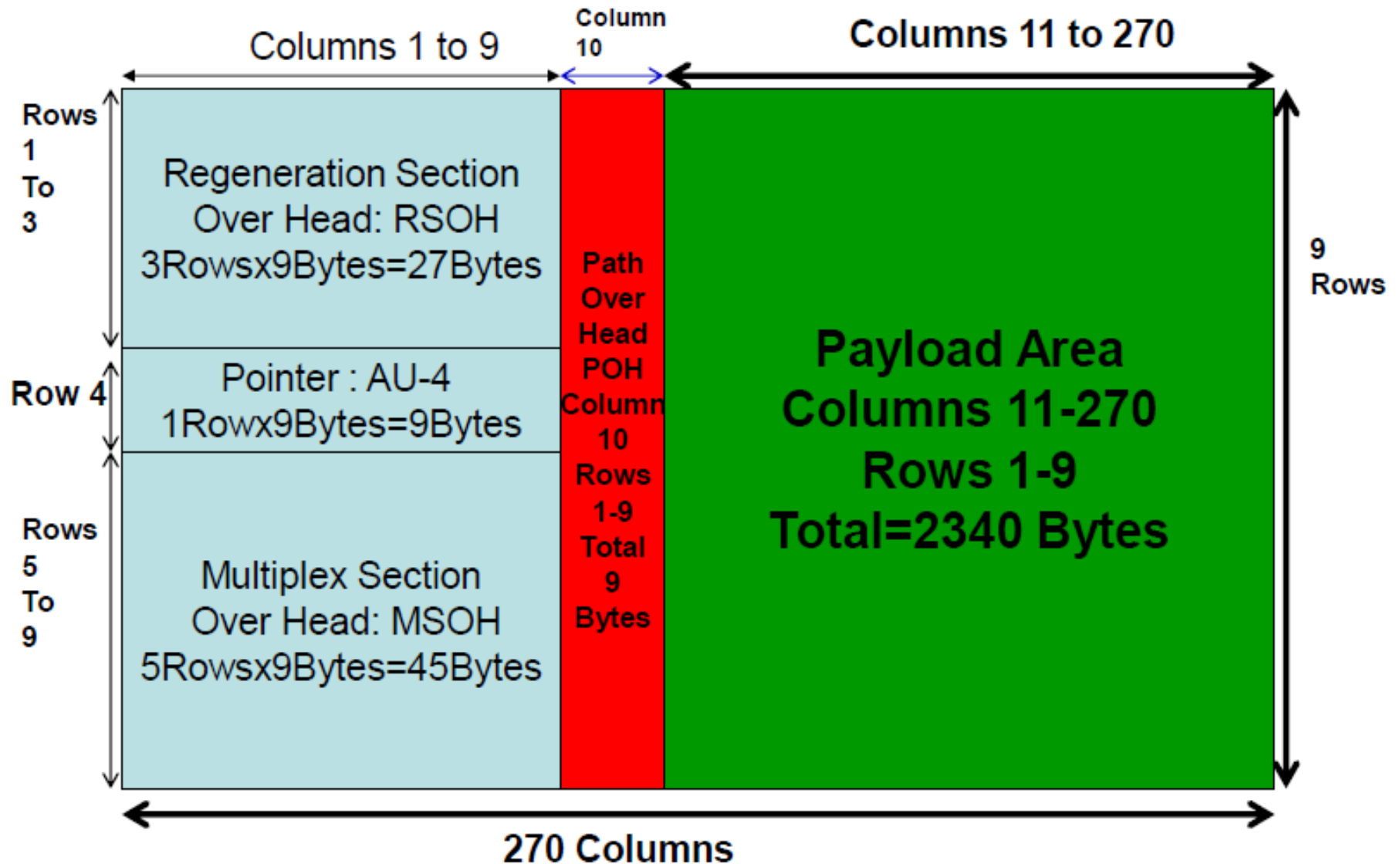
Signal	Digital Bit Rate	Channels
E0	64 kbit/s	One 64 kbit/s
E1	2.048 Mbit/s	32 E0
E2	8.448 Mbit/s	128 E0
E3	34.368 Mbit/s	16 E1
E4	139.264 Mbit/s	64 E1

**Non-Synchronous,
PDH Hierarchy**

Bit Rate	Abbreviated	SDH	SDH Capacity
155.52 Mbit/s	155 Mbit/s	STM-1	63 E1, 3 E3 or 1 E4
622.08 Mbit/s	622 Mbit/s	STM-4	252 E1, 12 E3 or 4 E4
2488.32 Mbit/s	2.5 Gbit/s	STM-16	1008 E1, 48 E3 or 16 E4
9953.28 Mbit/s	10 Gbit/s	STM-64	4032 E1, 192 E3, 64 E4

- مکانیزم تنظیم اشاره گر (Pointer Adjustment) پیچیده است
- وابستگی وسیع آن به نرم افزار، سیستم SDH را در مقابل ویروسها و یا اشکالات نرم افزاری آسیب پذیر می کند.

ساختار فریم STM-1



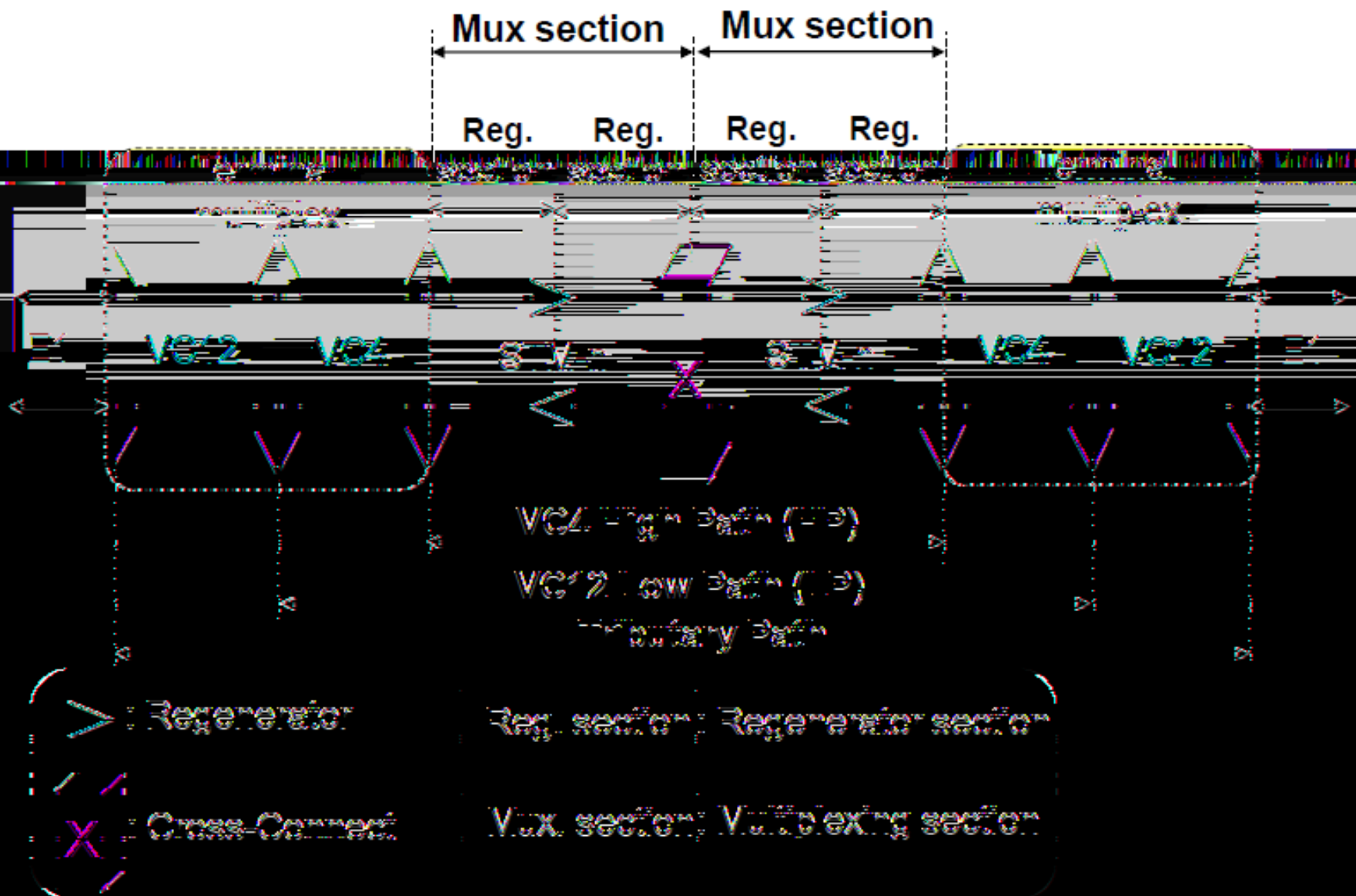
مشخصات فریم STM-1

- کل زمان یک فریم STM-1 برابر ۱۲۵ میکروثانیه است. تا بتوان ۸۰۰۰ فریم در ثانیه ارسال کرد برای رعایت حداقل تعداد نمونه های نایکوئیست
- در عمل ابتدا سطر اول بعد سطر دوم و ... نهایتا سطر ۹ام ارسال می شود.
- هر عنصر ماتریس فریم یک بایت معادل ۸ بیت است.
- در نتیجه هر بایت معادل ۶۴ کیلو بیت بر ثانیه است: $۸۰۰۰ * ۸ = ۶۴۰۰۰$
- نرخ بیت کل در نتیجه ۱۵۵,۵۲ مگابیت بر ثانیه است: $۹ * ۲۷۰ * ۸ * ۸۰۰۰ = ۱۵۵۵۲۰۰۰۰$
- نرخ بیت Payload برابر ۱۴۹,۷۶ مگابیت بر ثانیه است.
- نسبت سرباره به کل ترافیک ۳,۷٪ است (۲۷۰/۱۰)، در ATM این عدد ۹,۴٪ است (۵۳/۵)

مشخصات فریم STM-1

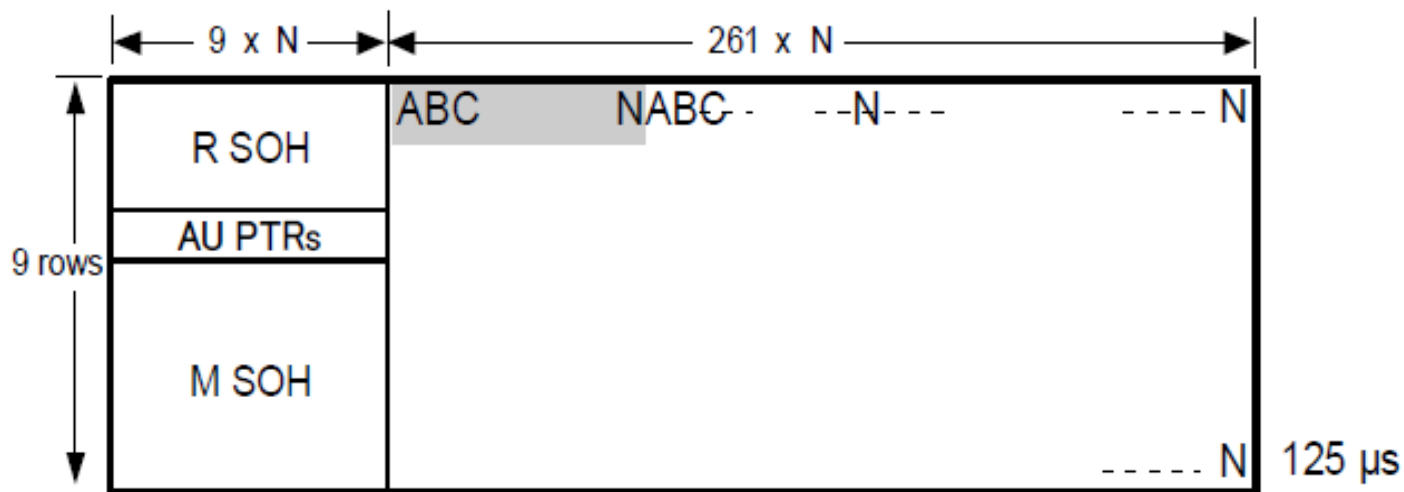
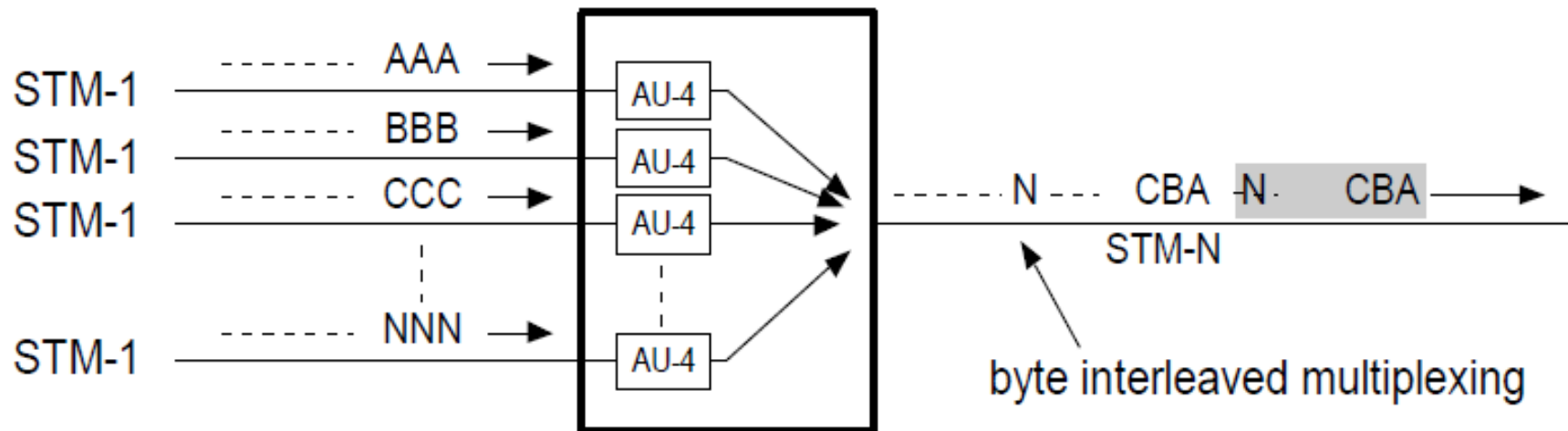
- Payload is called: C-4
- $C-4 + POH = VC-4$
- $MSOH + RSOH = SOH$
- Pointer: Start of the Payload
- No pointer movement allowed: Synchronization very important
- Between users: Path, Between Nodes: Multiplex Section, Between Repeaters: Regeneration Section

SDH Architecture basics



Byte Interleaved Multiplex and Frame Structure STM-N

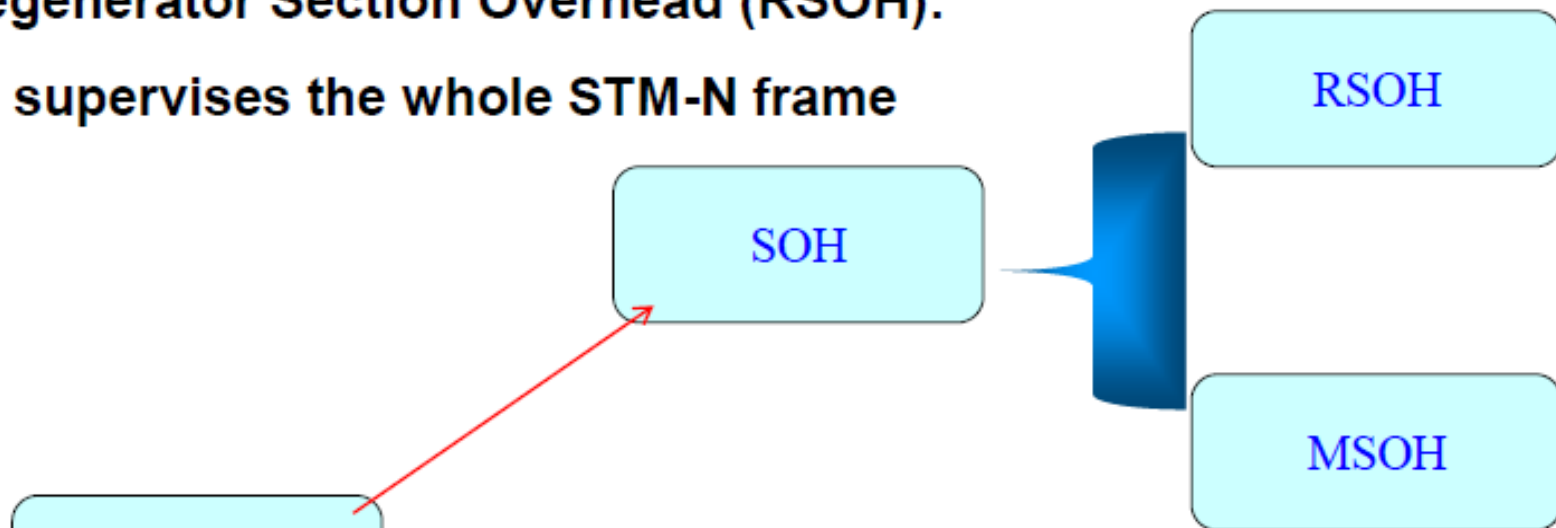
STM-1 (AU-4) → STM-N



SDH Overhead

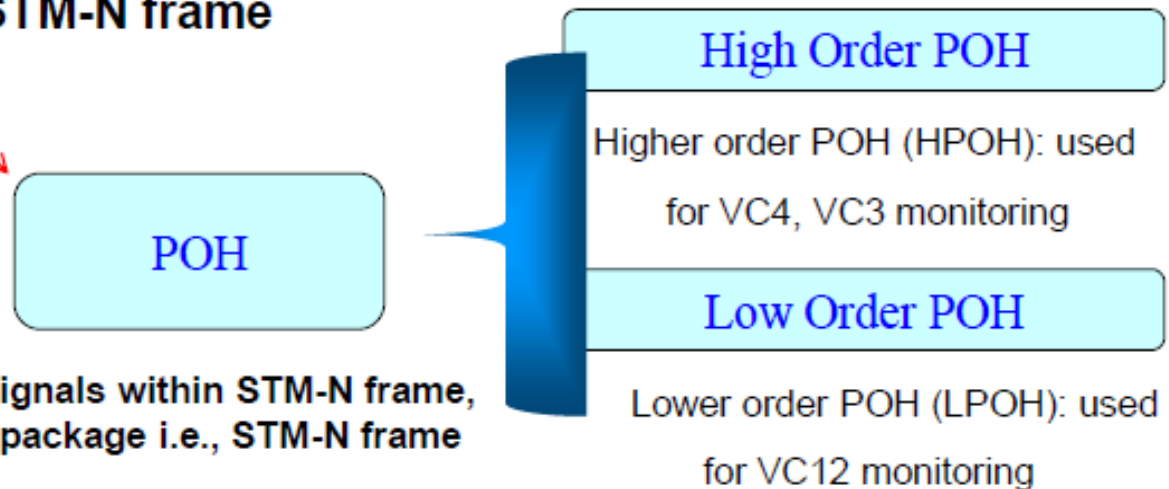
Regenerator Section Overhead (RSOH):

supervises the whole STM-N frame



Multiplex Section Overhead (MSOH): supervises each STM-1 of STM-N frame

The Path Overhead is generated only at the beginning of a path and evaluated at the end of a path.



POH monitors individual low-rate signals within STM-N frame, while SOH monitors the whole package i.e., STM-N frame

SOH

Domestic Use, Transmission Media Usage, Future Use

R S O H	A1	A1	A1	A2	A2	A2	J0	?	?
	B1	?	?	E1	?		F1	?	?
		?	?		?				
AU - PTR									
M S O H	B2	B2	B2	K1			K2		
	S1					M1	E2	?	?

9 Columns

9 ROWS

Function of SOH

Framing	(A1, A2)	
Regenerator section trace	(J0)	regenerator section connection check
Data communication channel	(D1-3) (D4-12)	regenerator section DCC, 192 kb/s multiplex section DCC, 576 kb/s
Order wire	(E1) (E2)	accessible at regenerators accessible at multiplexers
User channel	(F1)	64 kb/s clear channel
Error monitoring	(B1) (B2)	regenerator section BIP-8 multiplexer section BIP-24×N
APS signaling	(K1,2) (K2)	automatic protection switching also used as MS-AIS and MS-RDI
Synchronization status	(S1)	indication of quality level
Section status reporting	(M1)	REI (count of BIP-24×N)

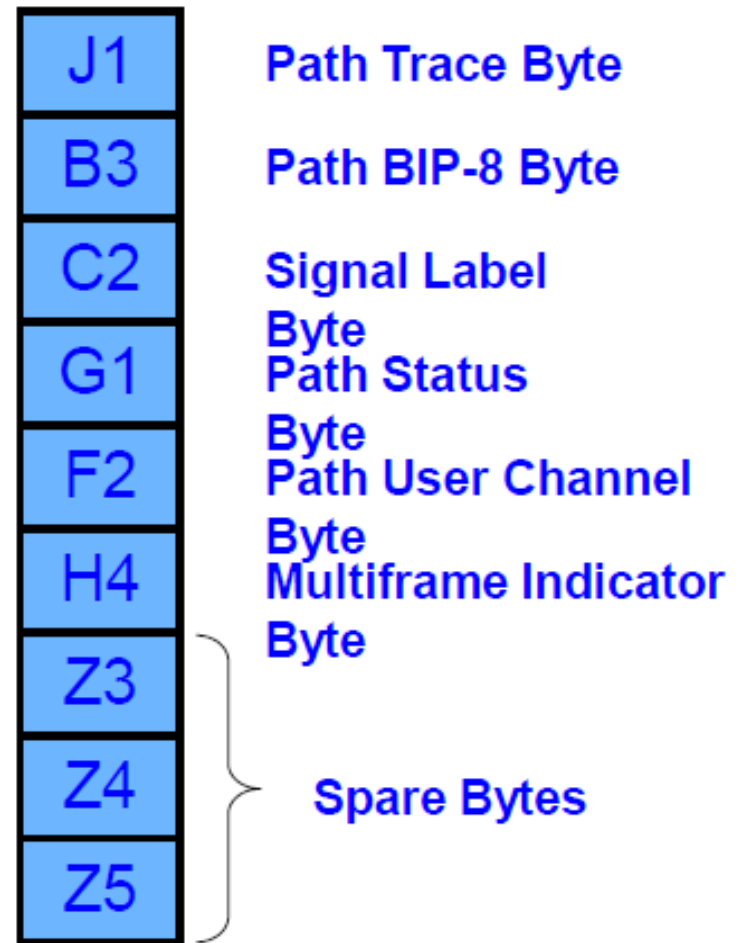
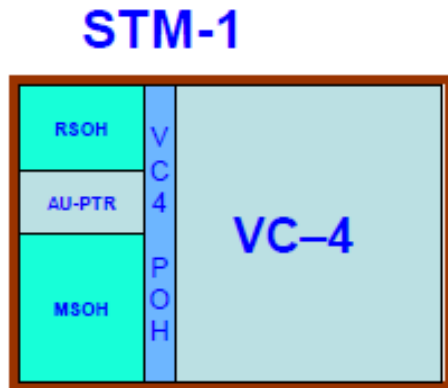
RDI ; Remote Defect Indication, (formerly FERF, Far End Receive Failure)

REI ; Remote Error Indication, (formerly FEBE, Far End Block Error)

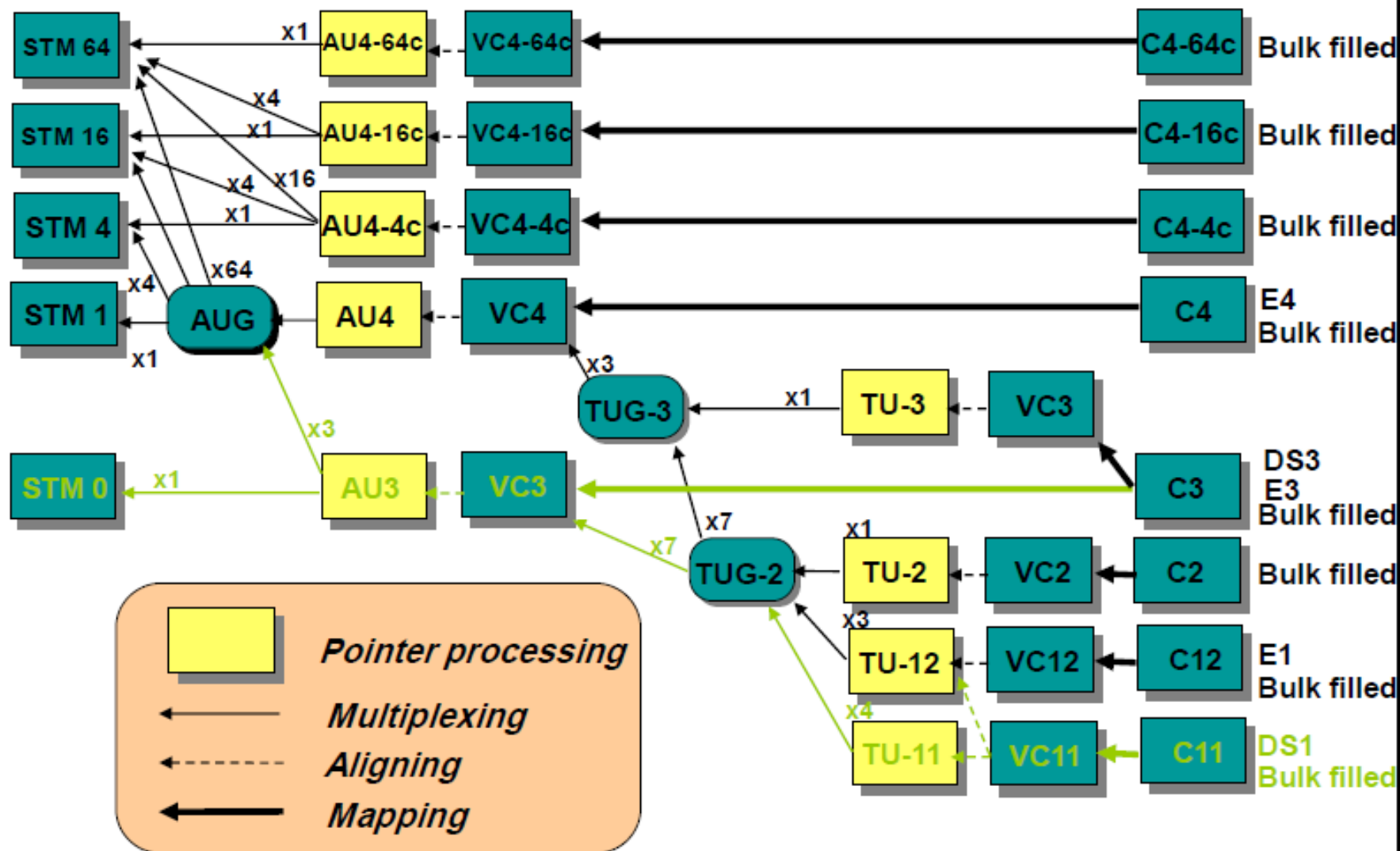
MS ; Multiplex Section

DCC ; Data Communication Channel

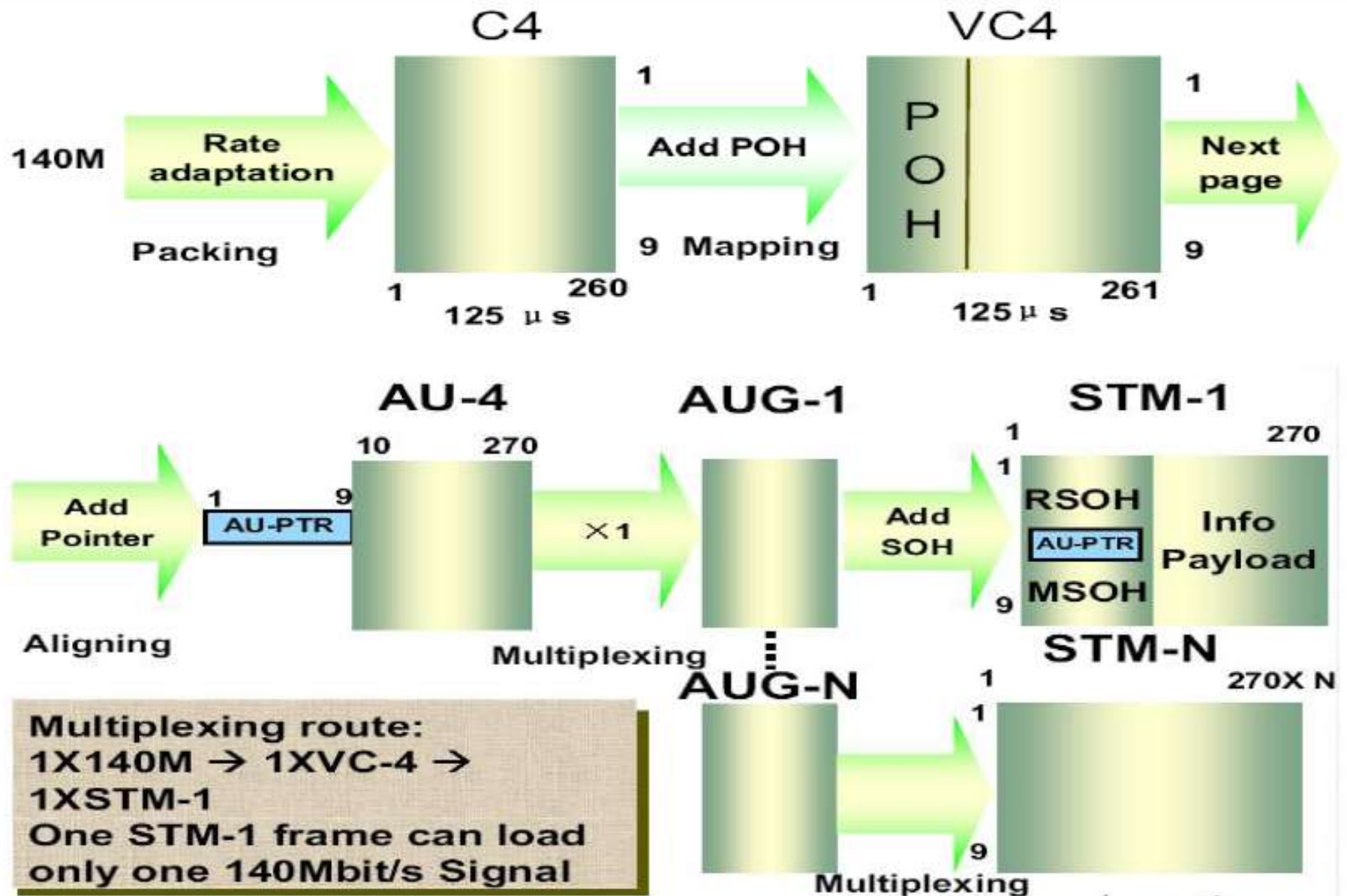
VC-4 POH



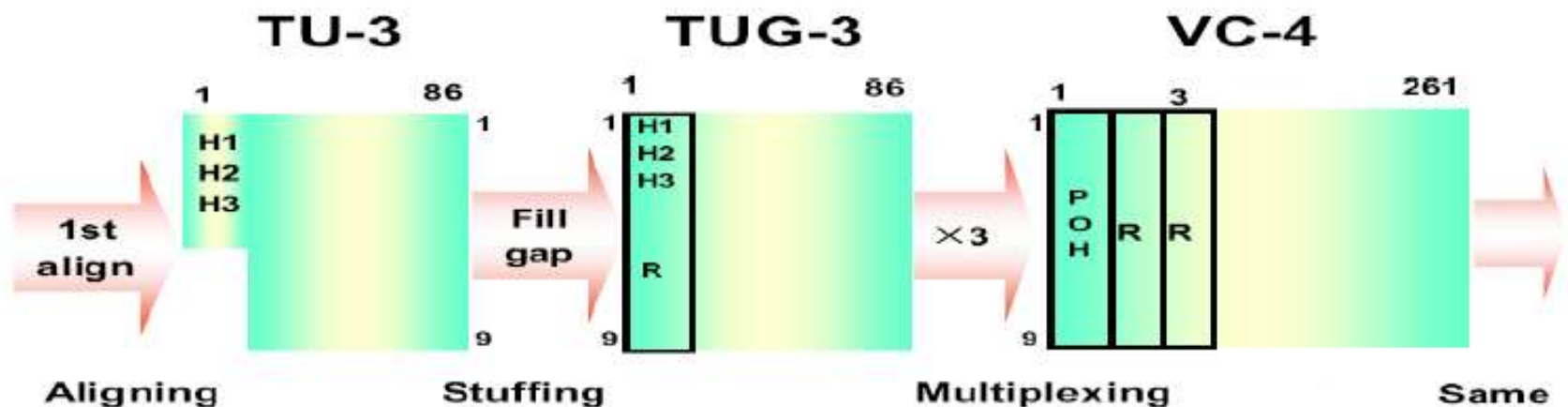
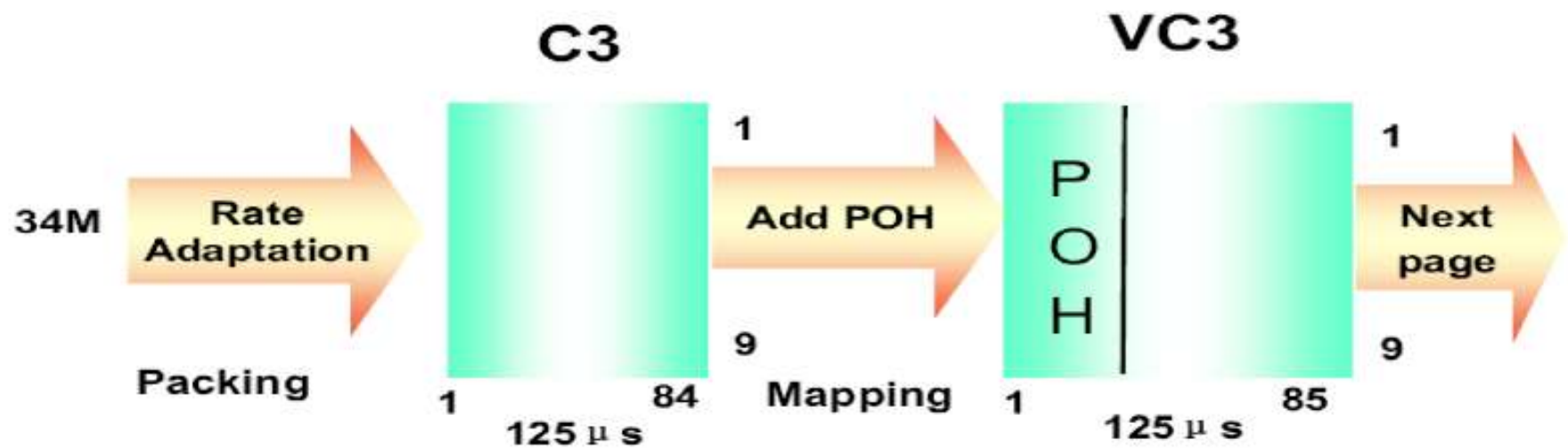
ساختار مالتی پلکس SDH



140 Mb/s to STM-N

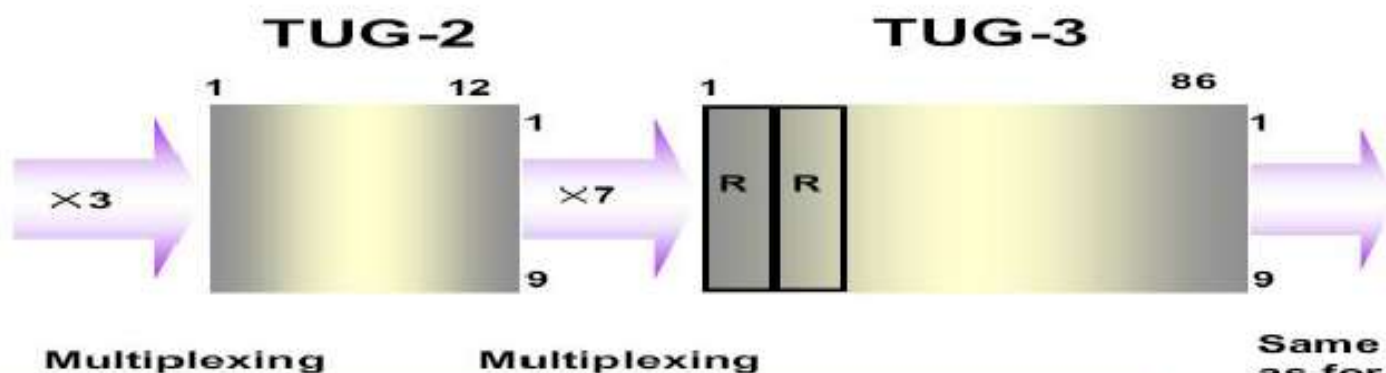
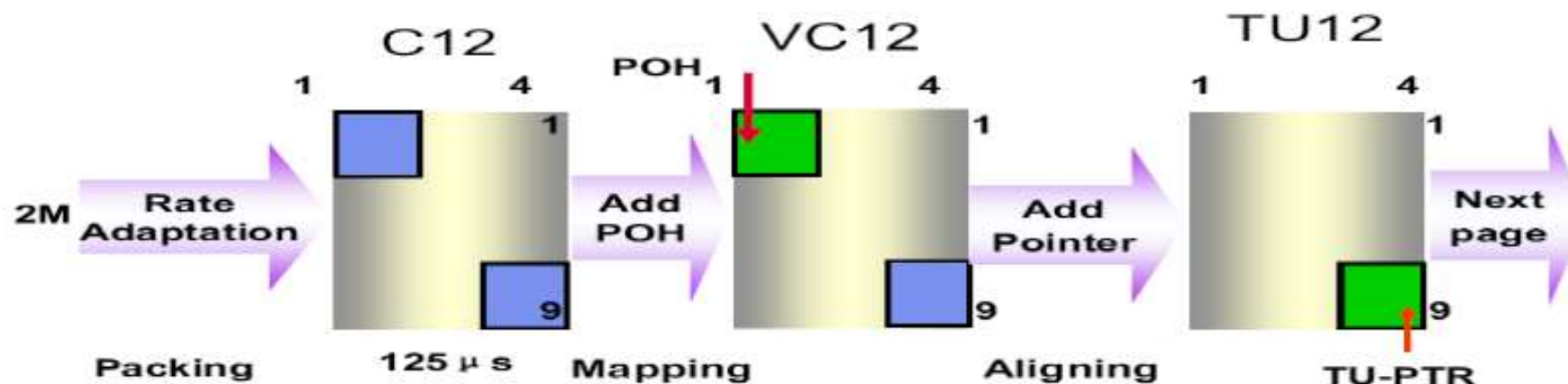


34 Mb/s to STM-N



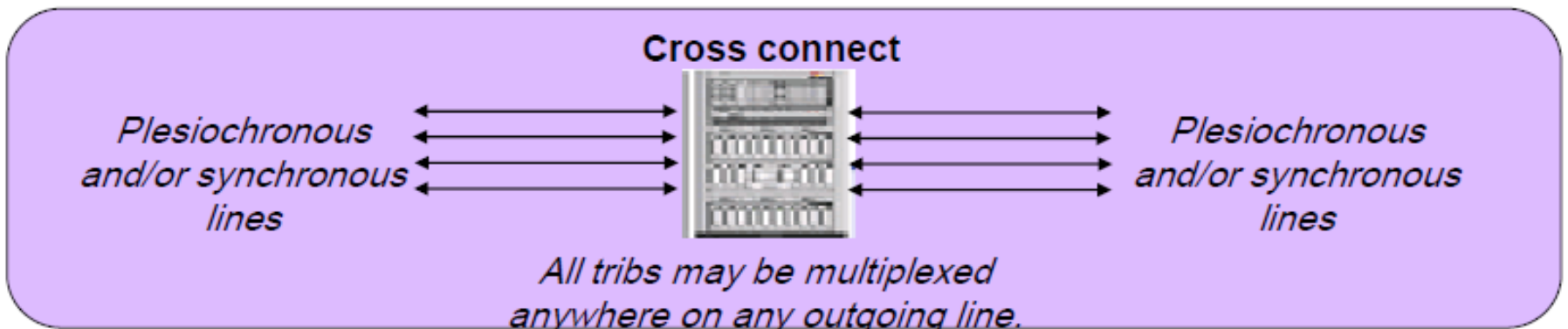
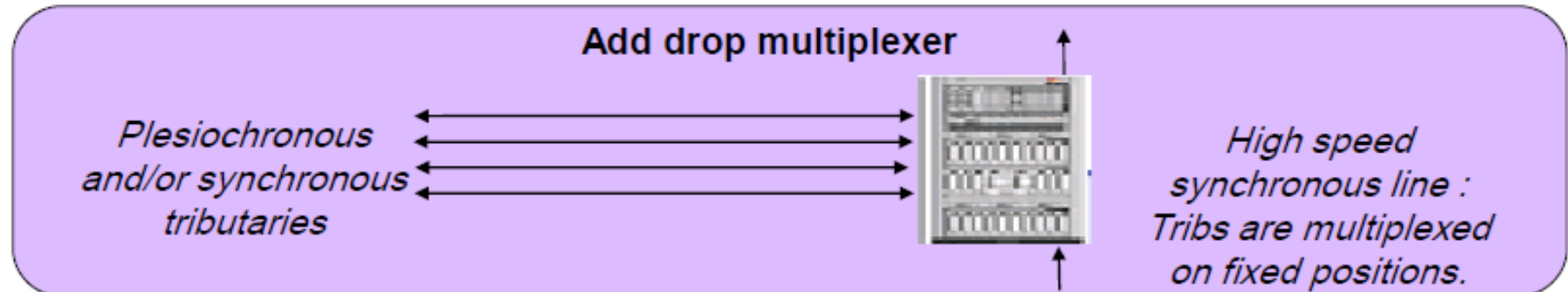
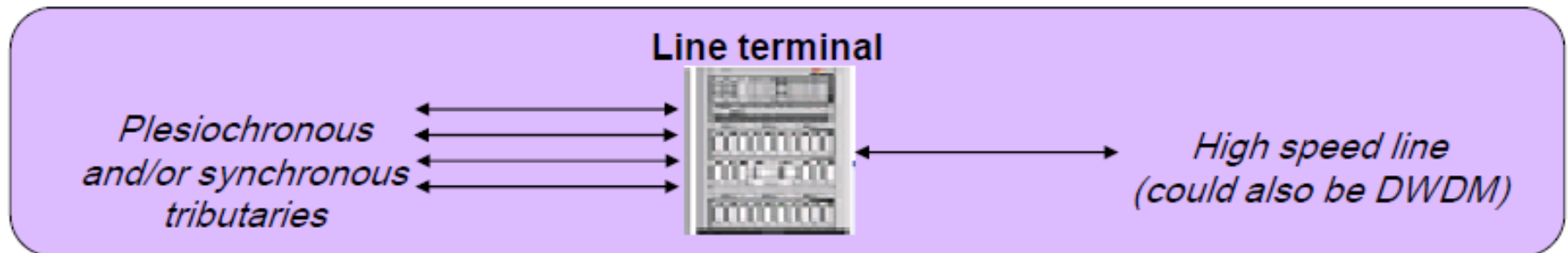
Multiplexing route: $1 \times 34M \rightarrow 1 \times TU-3 \rightarrow 3 \times TUG-3 \rightarrow 1 \times AU-4$ --- One STM-1 can load three 34Mbit/s signals

2 Mb/s to STM-N



Multiplexing route: 1X2M $\rightarrow$ 3XTU12 $\rightarrow$ 7XTUG-2 $\rightarrow$ 3XTUG-3 $\rightarrow$ 1XSTM-1 --- One STM-1 can load 3X7X3 = 63X2M Signals
Multiplexing structure: 3-7-3 structure

SDH Network Element (NE)



SDH Network Element (NE)

TM (Terminal Multiplexer)

- Two ports device: Line Port (Optical Port), Tributary Port
- Used in the terminal station of a network
- Cross-connect function: $TU \leftrightarrow LU$

ADM (Add and Drop Multiplexer)

- Three ports device: Tributary Port, Line Port West (Left), Line Unit East (Right)
- Used as an intermediate station, the most important NE type
- Cross-connect function: $TU \leftrightarrow LU (W/E), LU (W) \leftrightarrow LU (E)$

REG

- Two ports device: $LU (W) \& LU (E)$
- Used due to the long distance between Multiplexers
- O/E, Signal regenerating (recovers timing, replaces RSOH bytes, MSOH, POH & payload are not altered)
- Equivalent to ADM