

# Optik Ağ Bileşenleri-2

---

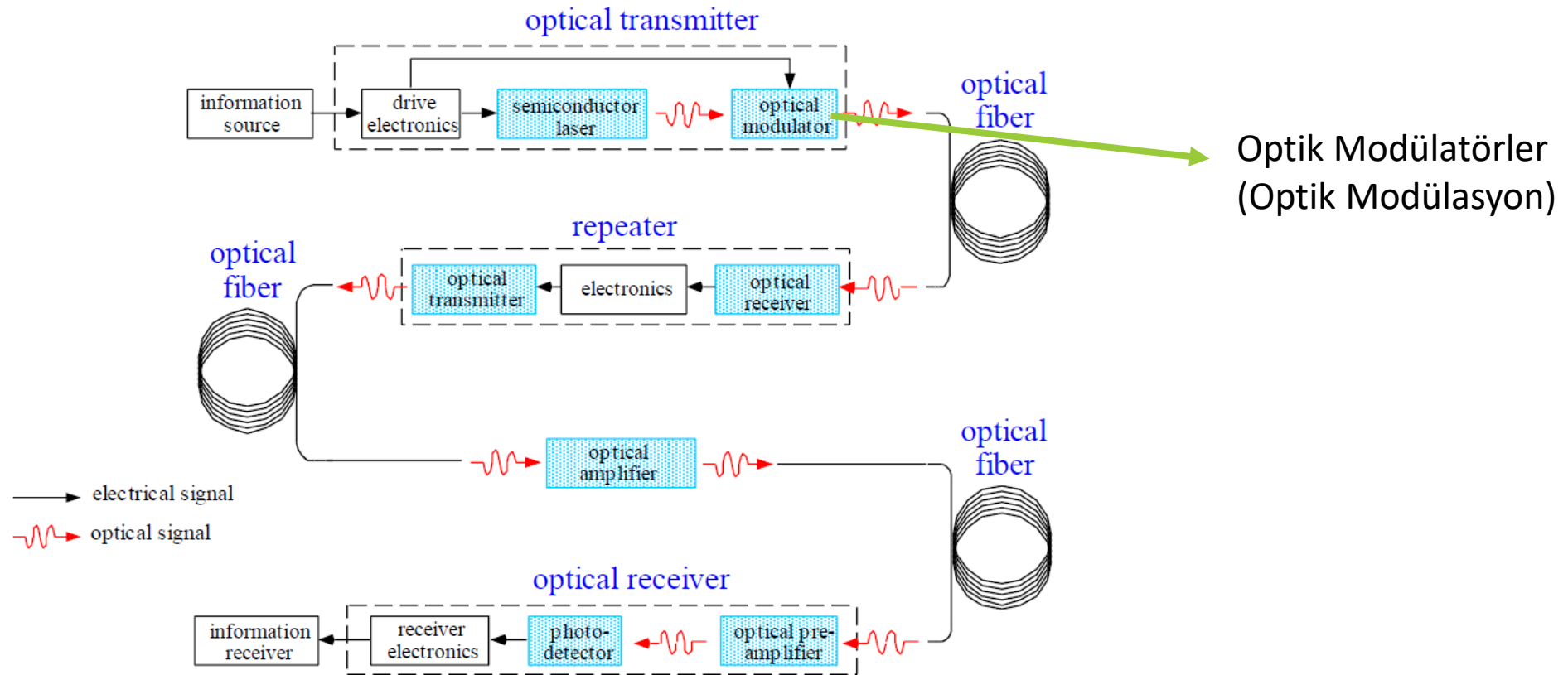
DR. ÖĞRETİM ÜYESİ ABDULLAH SEVİN

# Amaç

---

- ☐ Fiber optik ağı oluşturan bileşenleri tanımak
- ☐ Optik Fiber
- ☐ Optik İleticiler
- ☐ Optik Ayırıcı/Birleştirici
- ☐ Optik Modülatör/Modülasyon
- ☐ Optik Alıcılar ve Filtreler
- ☐ Optik Yükselticiler
- ☐ Anahtarlama Elemanları
- ☐ Dalgaboyu Çeviriciler

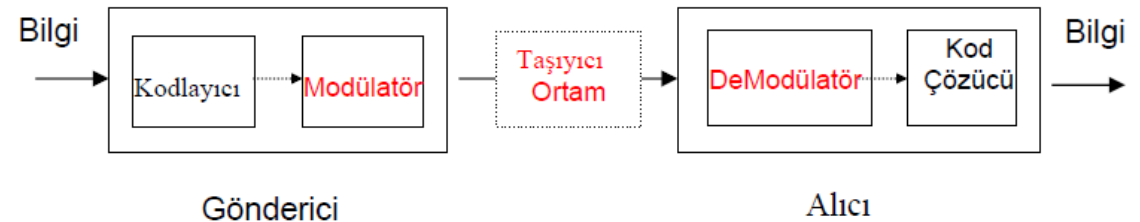
# Fiber Optik Haberleşme



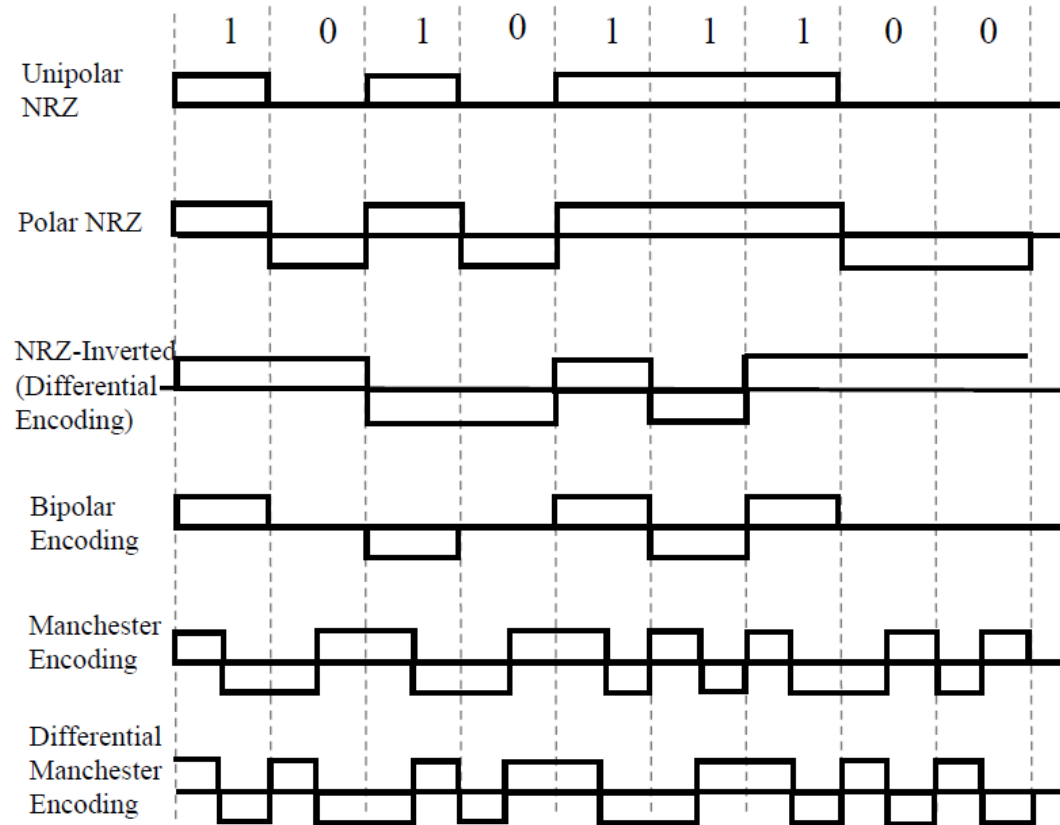
# Optik Modülasyon

□ Bilgi taşınırken yapılması gereken bilgiyi ortam koşullarından etkilenmeden en doğru bir şekilde (kayıpsız) iletmektir. Bunun için bilgi, farklı işlemlerden geçirilerek değişik sinyal formuna dönüştürülür. (Modülasyon)

1. İletilecek bilgi (ki bu sayısal veya analog olabilir) öncelikle bir kodlama işlemine tabi tutulur.
2. Kodlanan bilgi daha sonra bu bilgiyi uzak mesafelere kadar taşıyacak olan peryodik bir sinyalin (taşıyıcı sinyal) üzerine bindirilerek (modülasyon) taşıyıcı ortam boyunca iletimi sağlanır
3. Taşıyıcı ortam boyunca ilerleyen bilgiyi içeren sinyal uygun alıcı tarafından algılanır.
4. Algılanan sinyal bindirme işleminin tersi bir işlemle (demodülasyon) bilgi ve taşıyıcı sinyali ayrıştırılarak bilginin kodu çözülür



# Kodlama



Tasarım parametreleri :

»Ortalama güç, bantgenişliği (güç spektral yoğunluğu), zamanlama bilgisi, hata algılama yeteneği, basitlik, maliyet vs.

# Modülasyon Teknikleri

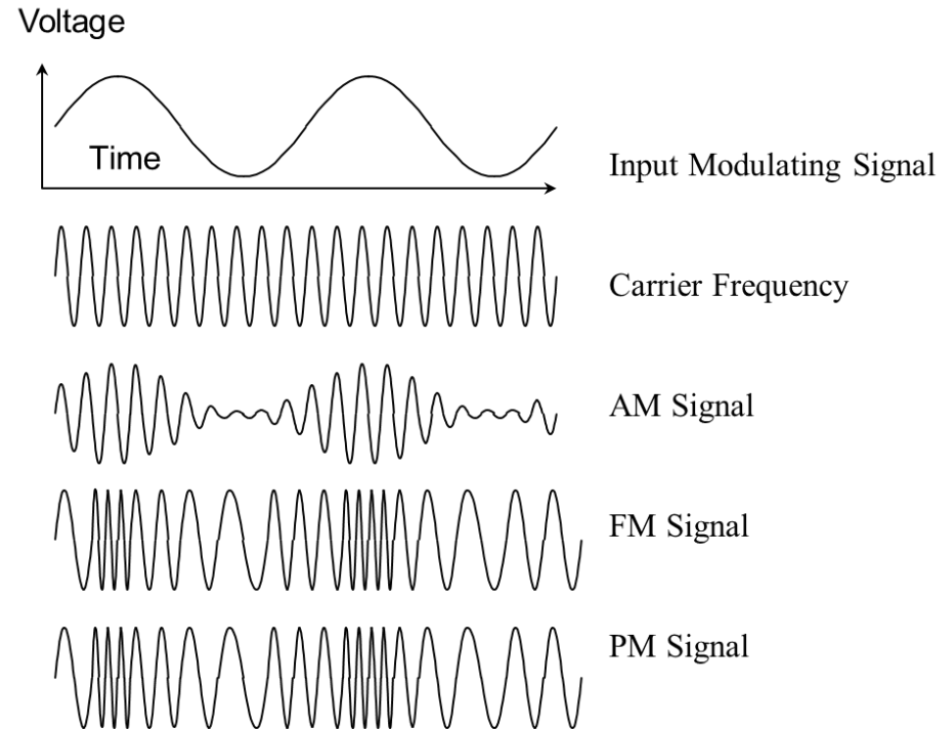
---

□ Modülasyon, bir dalga'nın değişik parametrelerini (örneğin genlik, frekans, faz gibi) kontrollü olarak değiştirerek bilgi yükleme işlemine denir. Bu işlem eğer dalga'nın;

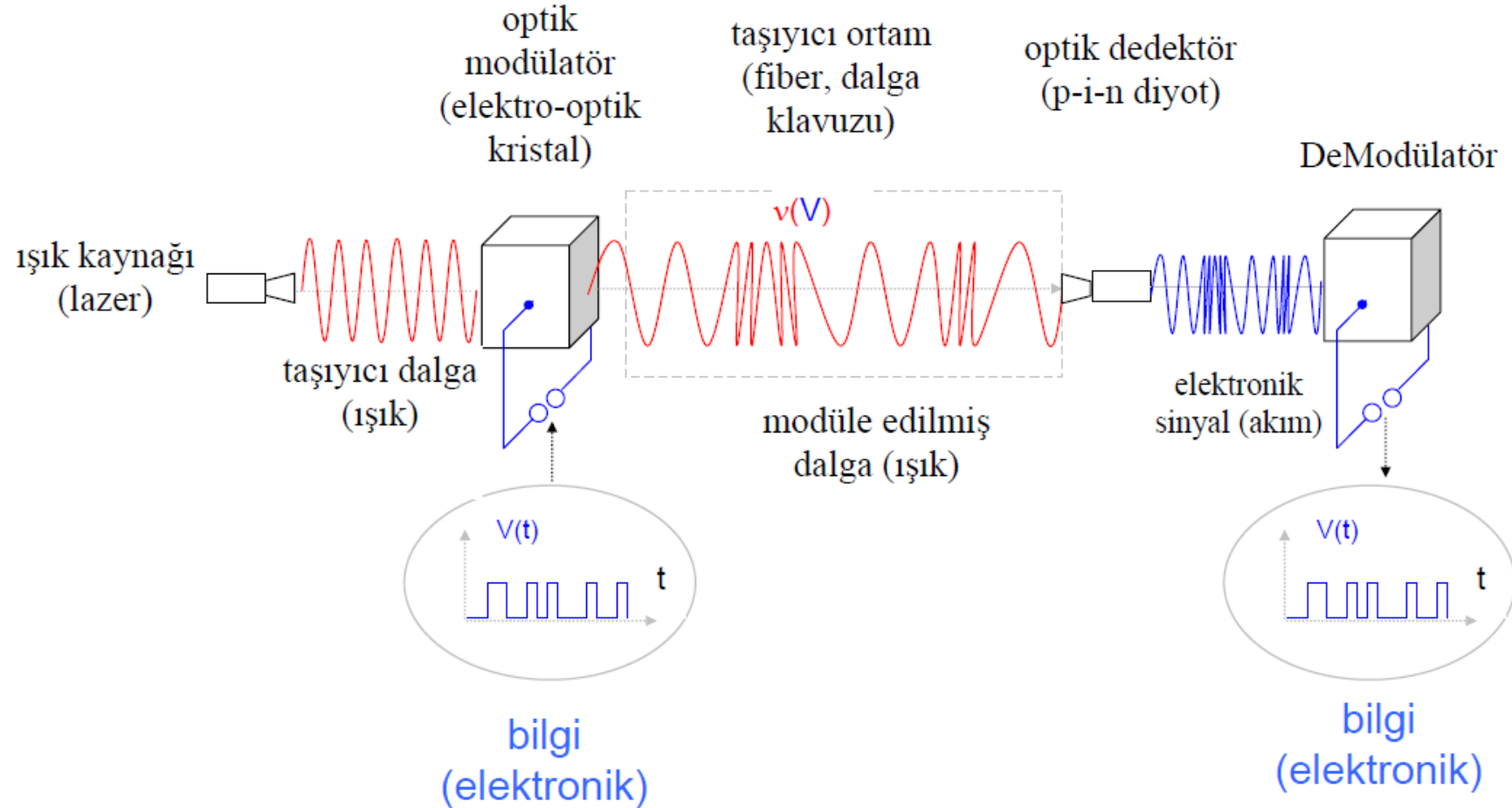
- Genliği değiştirilerek yapılıyor ise **Genlik Modülasyonu** (Amplitude Modulation-AM),
- Frekansı değiştirilerek yapılıyor ise **Frekans Modülasyonu** (Frequency Modulation-FM),
- Faz açısı değiştirilerek yapılıyor ise **Faz Modülasyonu** (Phase Modulation-PM) denir.
- Darbenin konumuna göre yapılıyor ise **Polarizasyon Modülasyonu** (Polarization Modulation-PoM) denir.

# Optik Modülasyon

□ **Modülasyon:** Modülasyon, bir dalganın değişik parametrelerini (örneğin genlik, frekans, faz gibi) kontrollü olarak değiştirerek bilgi yükleme işlemine denir.



# Optik İletişim





# Optik Modülasyon

---

□ **Optik modülatör**, bir ışık huzmesini modüle etmek için kullanılan bir cihazdır.

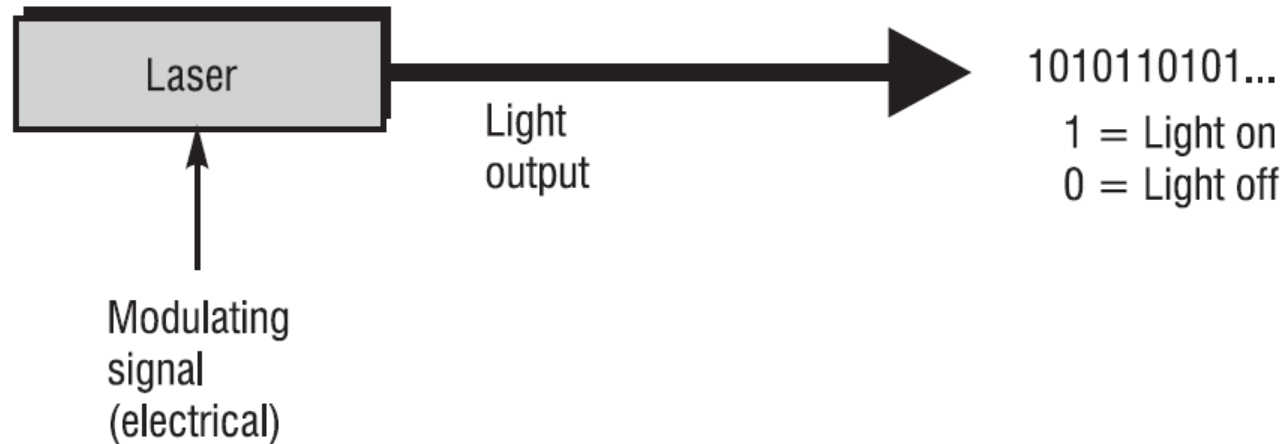
Işın boş alan üzerinde taşınabilir veya optik dalga kılavuzu (optik fiber) boyunca yayılabilir.

Modüle edilen bir ışık ışınının parametresine bağlı olarak, modülatörler genlik modülatörleri, faz modülatörleri, polarizasyon modülatörleri vb. olarak kategorize edilebilir.

Çoğu zaman, bir ışık ışınının yoğunluğunun modülasyonunu elde etmenin en kolay yolu, ışık kaynağını çalıştıran akımı modüle etmektir; (lazer diyot). Bu modülasyon türüne **doğrudan modülasyon (direct modulation)** denir. Diğer bir yöntem de harici modülasyon (**external modulation**)

# Doğrudan Modülasyon

- ❑ Doğrudan modülasyonda, cihazın çıkış gücü doğrudan giriş sürücü akımına göre değişir.
- ❑ Hem LED'ler hem de lazerler analog ve dijital sinyaller kullanılarak doğrudan modüle edilebilir.
- ❑ Doğrudan modülasyonun faydası basit ve ucuz olmasıdır.
- ❑ Dezavantajı, yaklaşık 3 GHz'den daha az limitlerle harici modülasyondan daha yavaş olmasıdır.
- ❑ (Açma/Kapama gecikmesi ve rezonans frekansı vb.. sebeplerden)



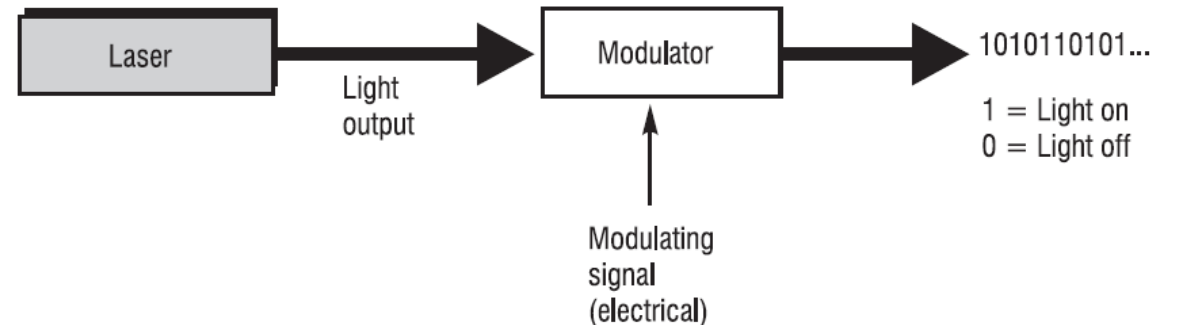
# Doğrudan Modülasyon

---

- ❑ Örnek: İkili Genlik Kaydırma Anahtarlama (Binary Amplitude-Shift Keying-BASK) –aç-kapa anahtarlama (on-offkeying/OOK) olarak da bilinir.
- ❑ Sinyal iki güç seviyesi arasında değiştirilir, düşük güç “0” bitini ve yüksek güç “1” bitini temsil eder.

# Harici Modülasyon

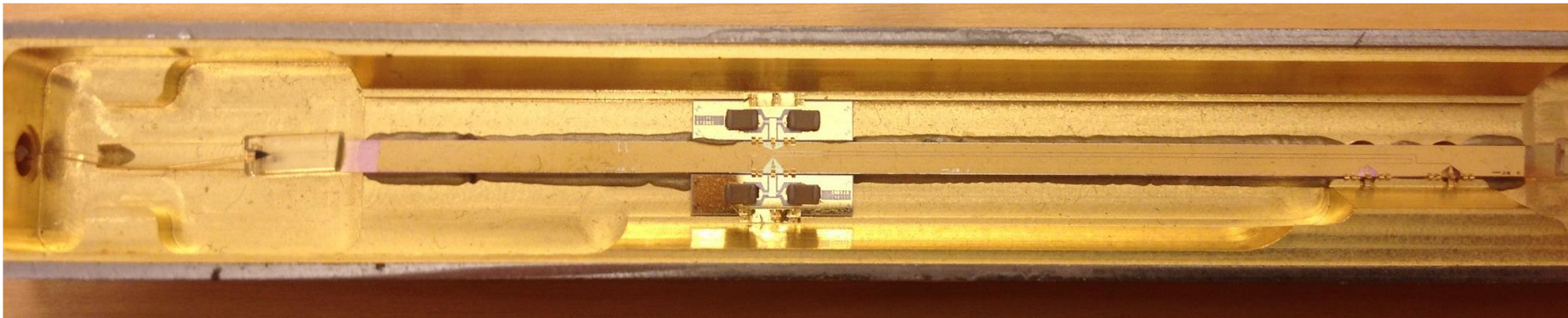
- ❑ Harici modülasyonda ışık kaynağının yoğunluğunu veya fazını modüle etmek için harici bir cihaz kullanılır.
- ❑ Harici modülasyon tipik olarak uzun mesafeli telekomünikasyon veya yüksek hızlı uygulamalarda kullanılır.
- ❑ Harici modülasyonun faydaları, çok daha hızlı olması ve daha yüksek güçlü lazer kaynaklarıyla kullanılabilecek olmasıdır.
- ❑ Dezavantajı, daha pahalı olmasıdır ve yüksek frekanslı RF modülasyon sinyalini işlemek için karmaşık devre gerektirir.



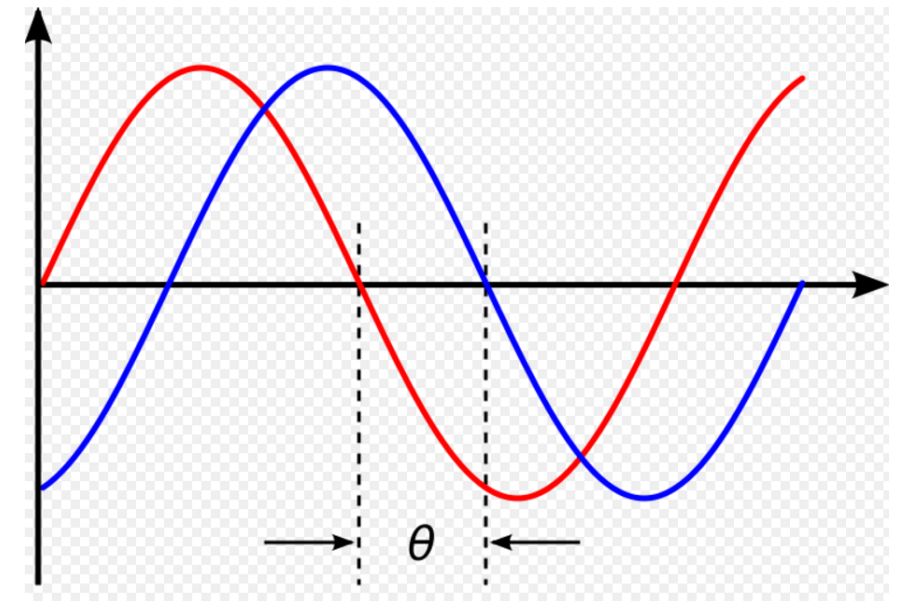
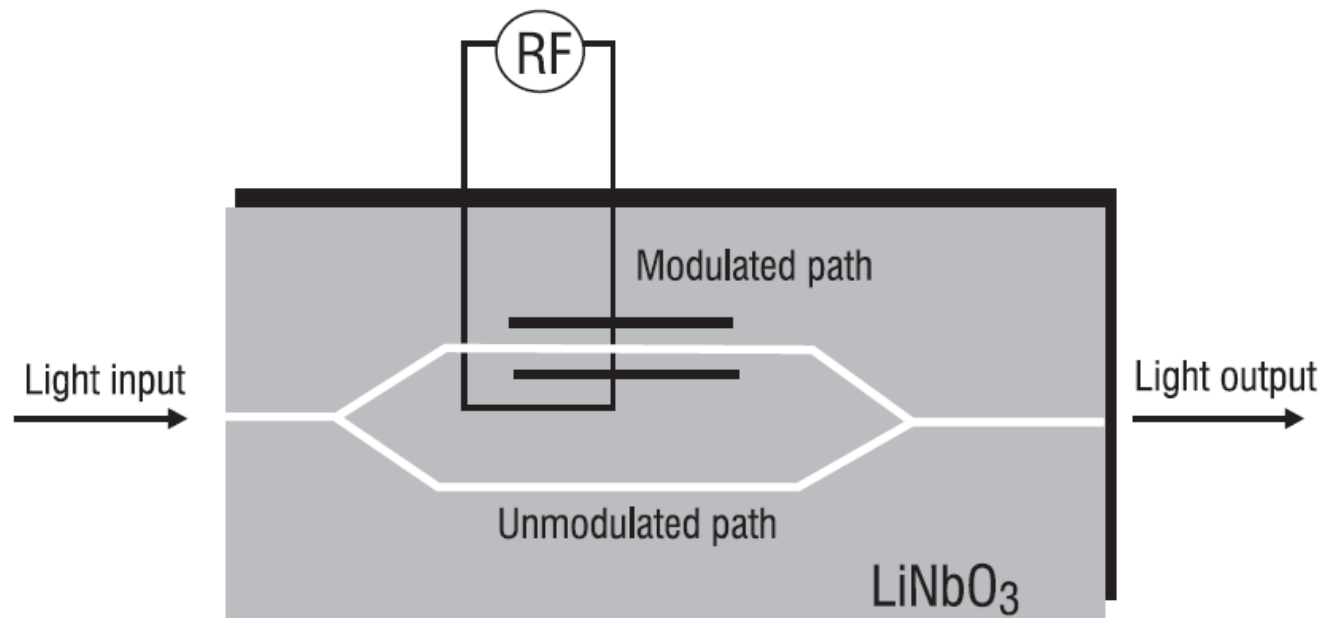
# Optik Modölatör (LiNbO<sub>3</sub>)

- ❑ Modölatöre giren ışık iki yola bölünür. Bir yol modüle edilmiş diğeri modüle edilmemiş.
- ❑ Modüle edilmiş yola yerleştirilmiş elektrotlar var. LiNbO<sub>3</sub> / Lityum Niyobat bir elektro-optik malzeme olduğundan, dalga kılavuzuna bir voltaj yerleştirildiğinde kırılma indisi değıştirilir ve uygulanan voltajın genliğı ile orantılı bir faz gecikmesine neden olur. Işık yeniden birleştirildiğinde, iki dalga birbirine karışır.
- ❑ 180 ° faz kayması ile ilişkili giriş voltajı  $V_{\pi}$  olarak bilinir.
- ❑ Faz farkı 180° olan dalgaboyları (sıfırlanır) filtrelenir.

$$\text{Phase shift} = \Delta\theta = 180^{\circ} \times V_{\text{in}}/V_{\pi}$$



# Optik Modulator (LiNbO<sub>3</sub>)



# Faz Modülasyon Teknikleri

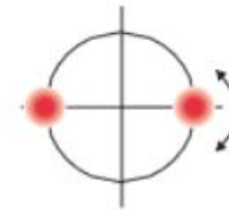
---

- **Single polarization state phase modulation (DPSK)**

Normalized phase and amplitude *at the bit center*

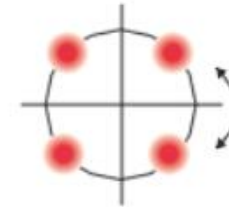
- DPSK differential phase shift keying

Baud rate = bit rate



- Differential quadrature phase shift keying (DQPSK)

Baud rate =  $\frac{1}{2}$  bit rate



- **Dual polarization state phase modulation (DP-QPSK)**

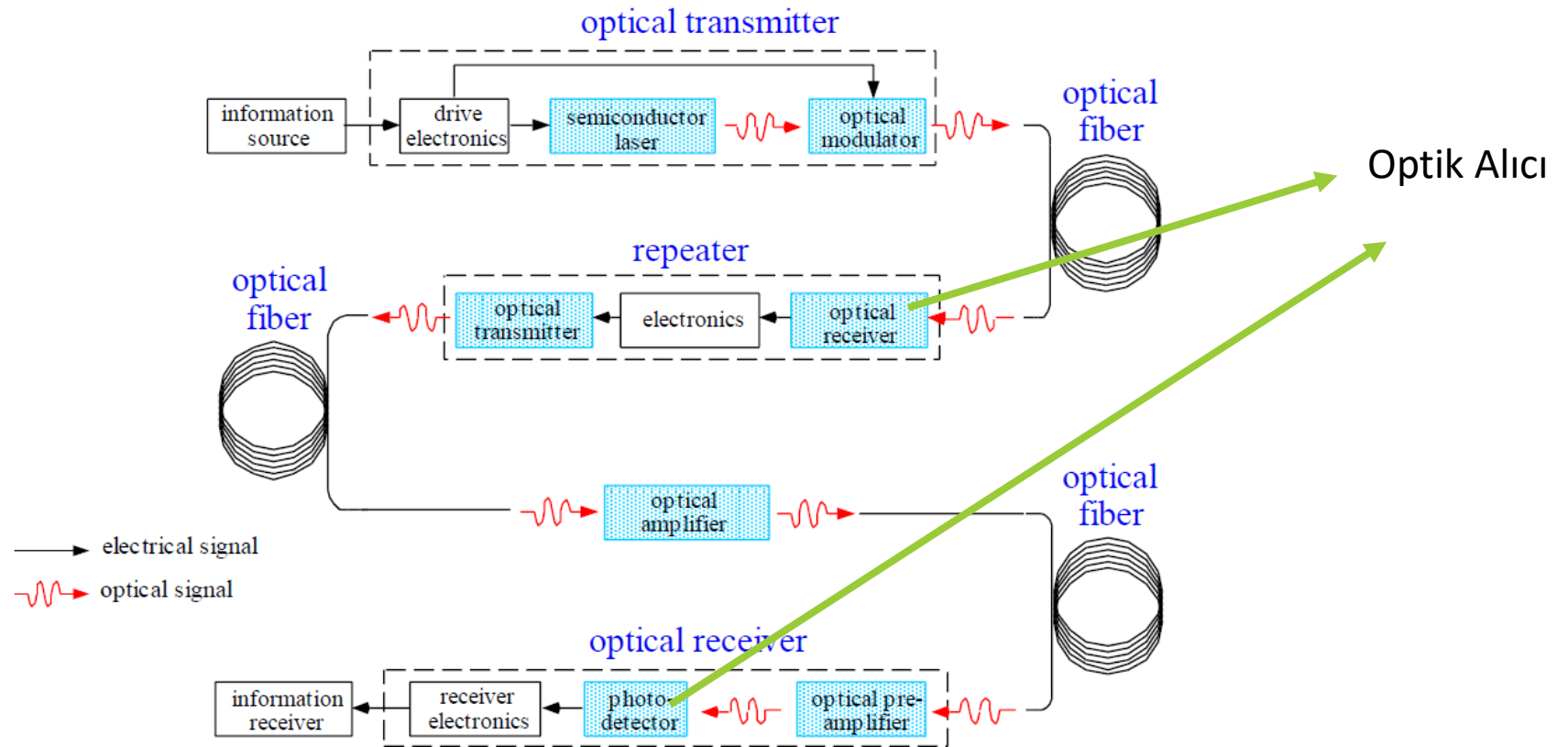
Absolute phase and amplitude at the bit center

- 3D phase constellation diagram

Baud rate =  $\frac{1}{4}$  bit rate



# Fiber Optik Haberleşme





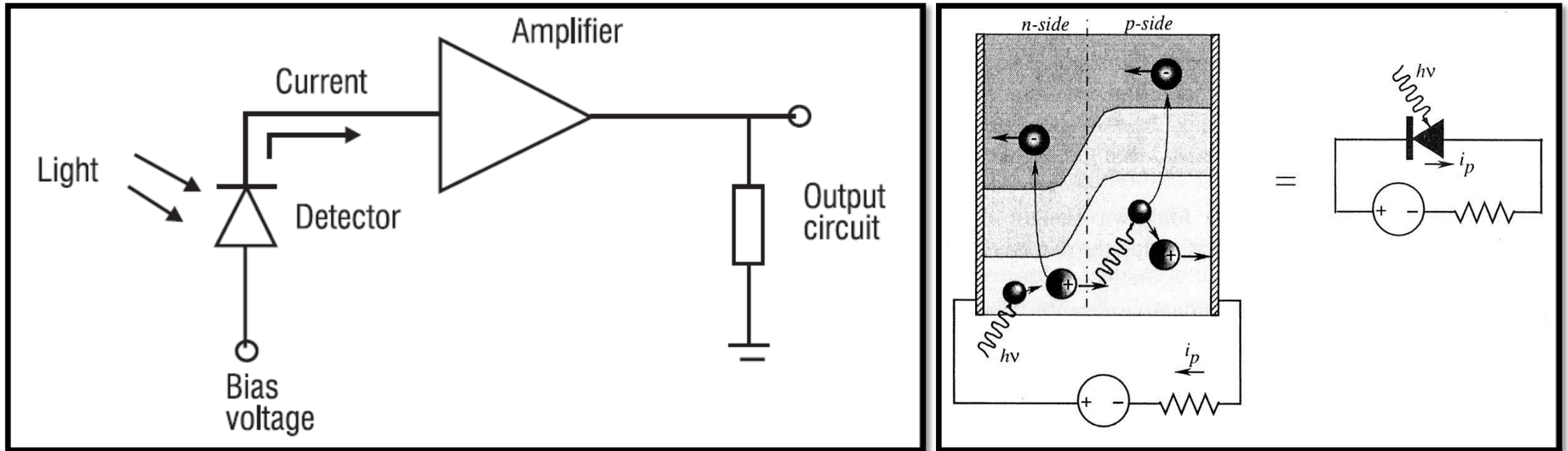
# Optik Alıcılar

---

## ☐ Direk Algılama:

- ☐ Bir foto-algılayıcı gelen foton akımını bir elektron akımına çevirir.
- ☐ Elektron akımı (elektrik akımı) daha sonra güçlendirilir ve bir eşik cihazından geçirilir.
- ☐ (Akım seviyeleri küçüktür ve yükseltme gerektirir)
- ☐ Bir bitin “0” mı “1” mi olduğu akımın bir bit süresinde belirli bir eşiğin üzerinde olup olmadığına bağlıdır.
- ☐ Bir p-n junction foto-diyotu ile yapılabilir. Yani, genlik değerine göre algılanır.

# Optik Alıcı Devresi / Foto-detektör



# Optik Alıcılar

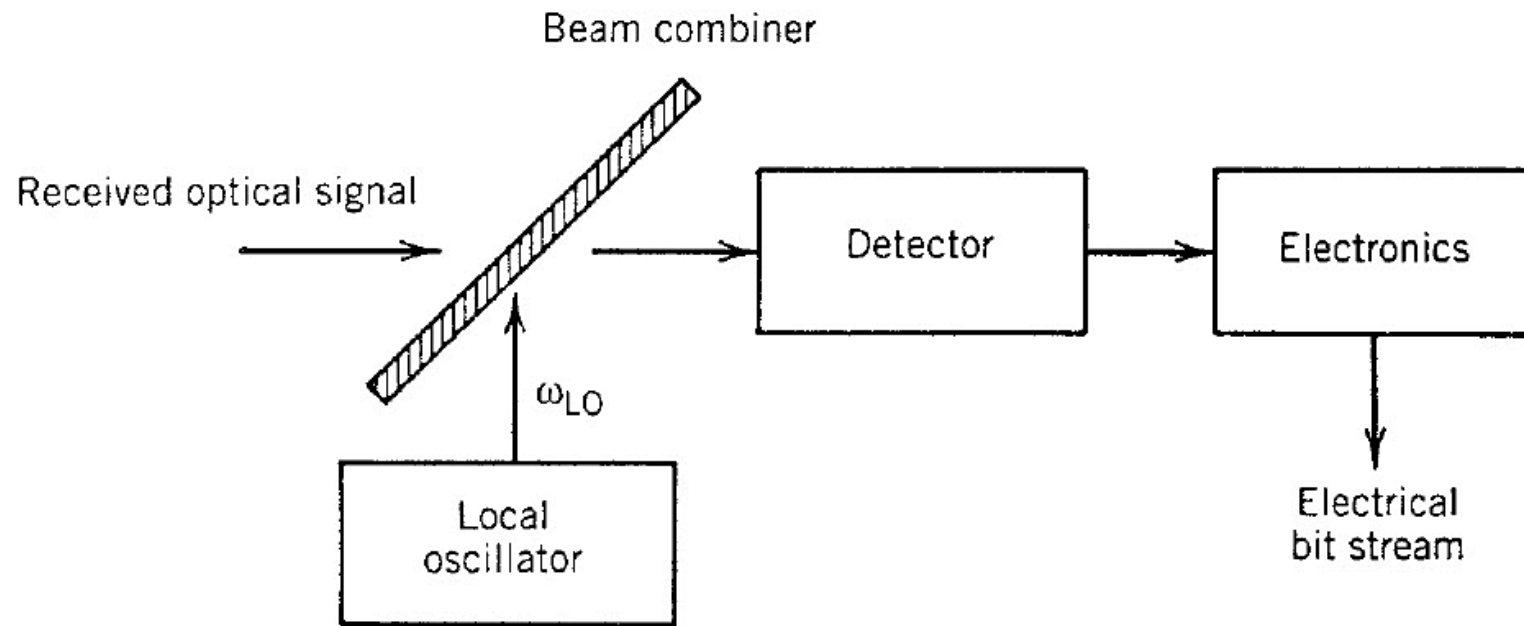
---

**Uyumlu (Cohorent) algılama: (Eğer Faz kaydırmalı bir modülasyon kullanılmışsa)**

- ❑ Sinyallerin tespitinde ve kodlamada faz bilgisinden faydalanılır.
- ❑ Alıcı, bir lazeri iç (local) osilatör olarak kullanır.
- ❑ Gelen sinyal, sinyal osilatörü (çok az farklı bir frekansta çalışan) ile birleştirilir ve fark frekansında bir sinyal oluşur.
- ❑ Bu fark frekansındaki sinyal daha sonra yükseltilir ve foto-tespiti yapılır.
- ❑ (Not: Fizikte iki dalga kaynağı eğer sabit bir faz farkları varsa ve eşit frekansa sahip ise uyumludur (Koherent))

# Foto-algilama (Photodetection)

---



**Figure 1:** Schematic illustration of a coherent detection scheme.

# Optik Filtreler

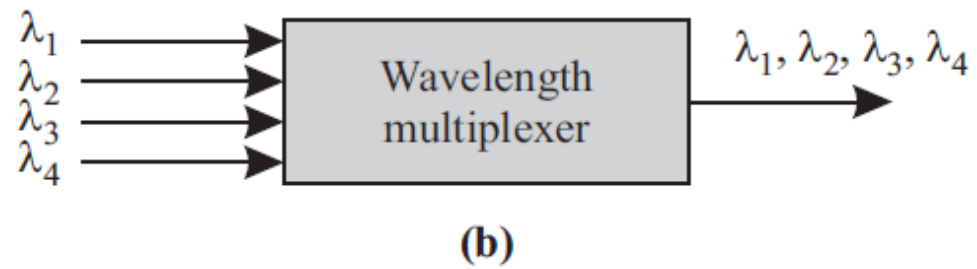
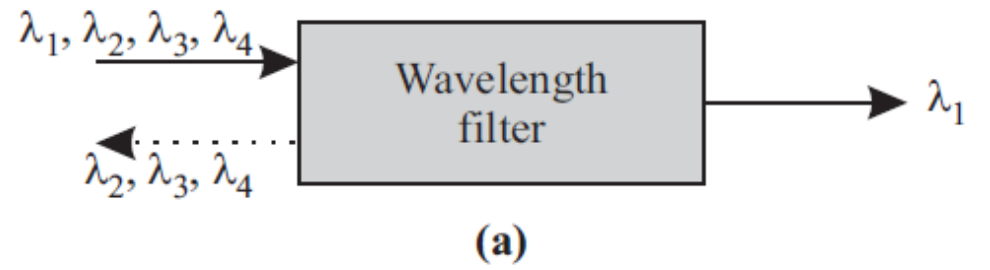
---

□ **Optik Filtre**, istenilen dalga boyunda veya fazdaki optik sinyallere izin veren veya bir dizi dalga boyunu veya fazı engelleyen bir cihazdır.

1. DWDM (**Dense wavelength-division multiplexing**) sistemlerinde dinamik dalga boyu seçimi,
  2. DWDM'de sinyal ayırma,
  3. Optik gürültü filtreleme ve optik amplifikatörde gürültü azaltma vb.
  4. Optik çoklayıcılar (Couplers/Bağlaştırıcı), bir optik fibere farklı dalga boyu bağlaştıırır ve farklı dalga boyları farklı bilgiler taşır. Alıcı uçta, istenen dalga boylarını optik fiberden ayırmak istiyorsanız,
- optik filtre kullanmak gerekir.

# Optik Filtre

---



# Optik Filtre

---

## **Ayarlanabilir Filtreler;**

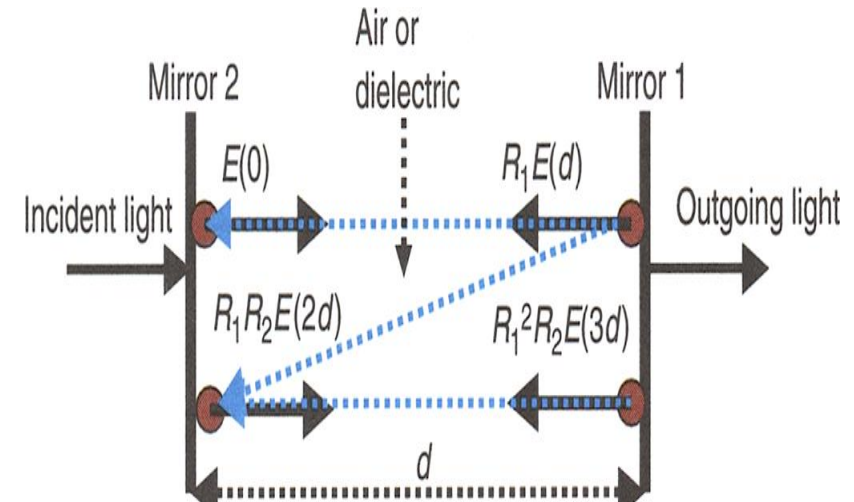
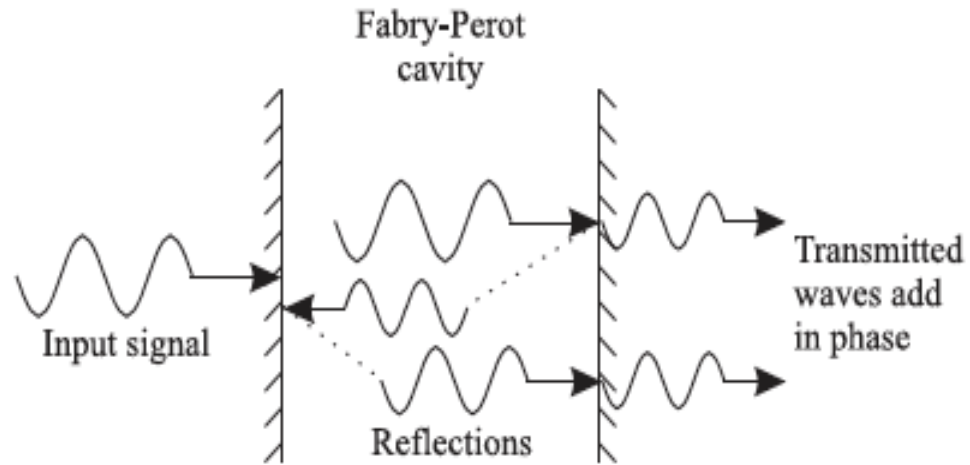
1. Etalon Filtreler : Fabry Perot
2. Mach-Zehnder
3. Akusto-optik Ayarlanabilir Filtreler
4. Elektro-optik Ayarlanabilir Filtreler
5. Sıvı-Kristal Fabry-Perot Ayarlanabilir Filtreler

## **Sabit Filtreler veya Izgaralar;**

1. Fiber Bragg Gratings
2. Thin-Film Interference Filters

# Fabry-Perot Filtre

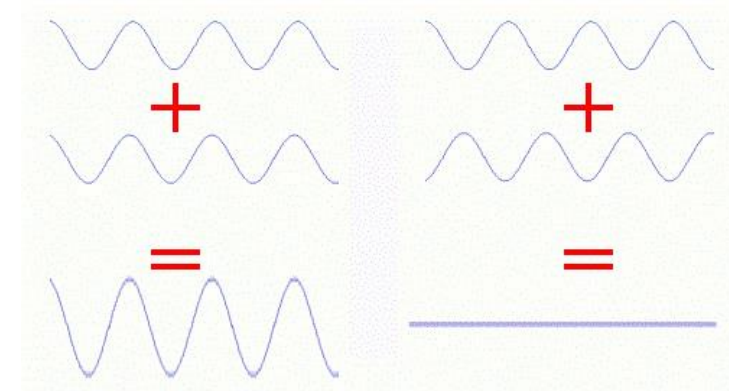
**Etalon:** İki paralel ayna ile oluşturulmuş bir boşluk. Aynalar arası mesafeler ayarlanarak tek bir dalgaboyunun yayılımı sağlanabilir. Fabry-Perot tipik bir etalon çeşidir.





# Girişim Ölçer/ Interferometers

- **Girişim** bize, enerji taşıyan iki dalga üst üste bindiğinde veya çakıştığında ne olur sorusunun cevabını vermektedir. Bu iki dalga taşıdıkları enerjiyle beraber üçüncü bir **dalga** oluştururlar ve bu oluşan dalganın oluşturduğu desen ve dalga boyu aynı, şiddeti (genliği) farklıdır. Dalgaların bu şekilde birleşmesine süperpozisyon adı verilir.
- Yapıcı girişimin anlamı birden fazla dalganın birleşerek büyük üçüncü bir dalgayı oluşturmasıdır. Bu oluşumla beraber yeni dalganın **genliğinde** bir artış olmaktadır. Yıkıcı girişim ise dalgayı çıkarmak ya da iptal etmek anlamına gelmektedir.



Yapıcı Girişim

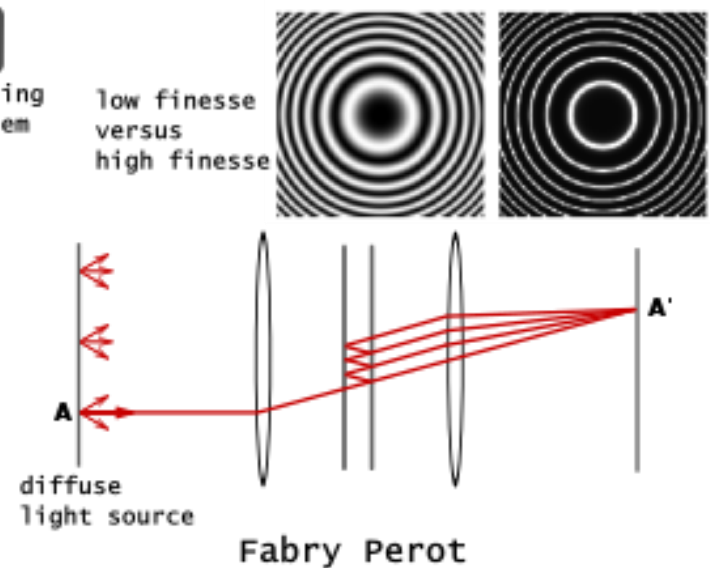
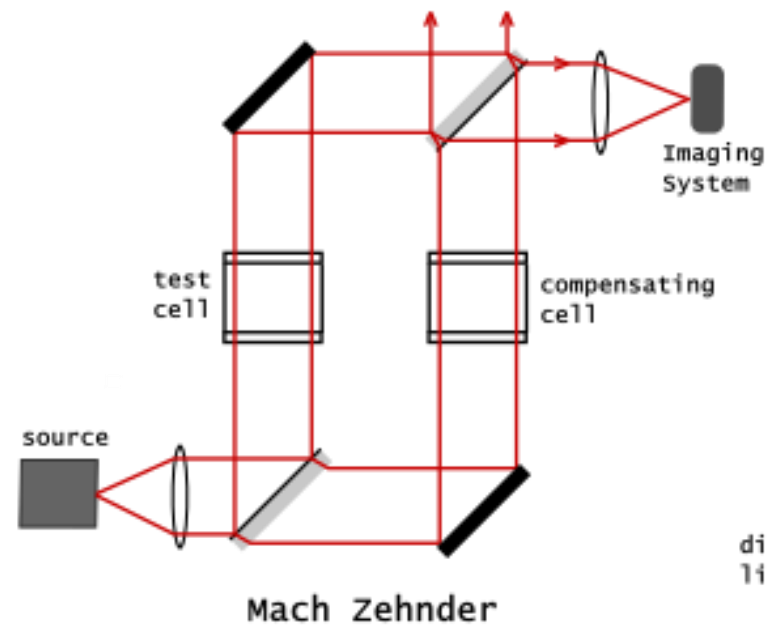
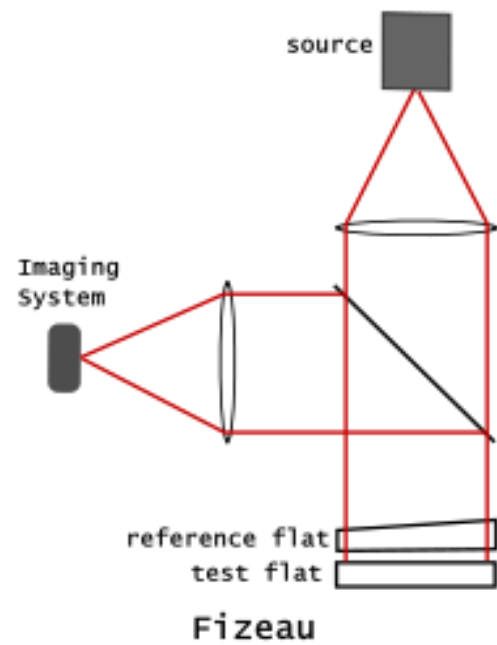
Yıkıcı Girişim

# Girişim Ölçer/ Interferometers

---

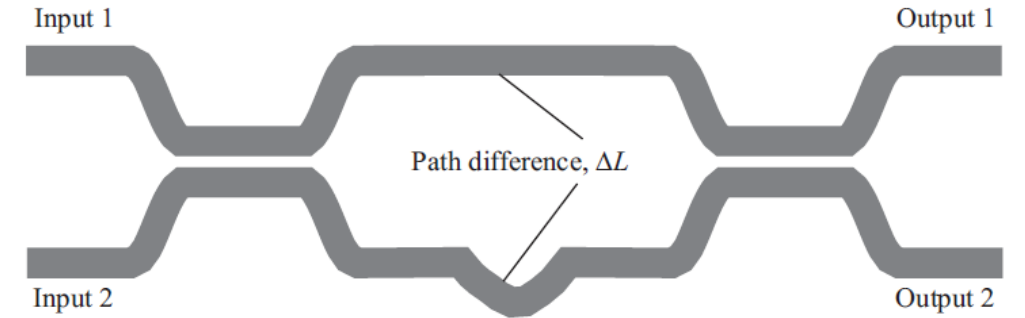
Bir dalga belirli bir fazda olabilir. Bunun anlamı eğer iki dalga aynı fazdalarsa bunları hizalayıp birlikte toplarsak oluşan yeni dalga iki kat büyük olur ve yeni bir dalga oluşur. Eğer iki dalga aynı fazda değilse bunları topladığımızda yeni bir dalga oluşmaz.

Bu aralıktaki bütün olasılıklar, eklenmiş olan inişli çıkışlı iki dalganın oluşturduğu üçüncü bir dalgayı bize sunar. Bu dalganın oluşturduğu karakteristik deseni, aydınlık ve karanlık bölgelerin görüntüsünü girişim saçaklarıyla anlayabiliriz.



# Mach-Zehnder Interferometers (MZI)

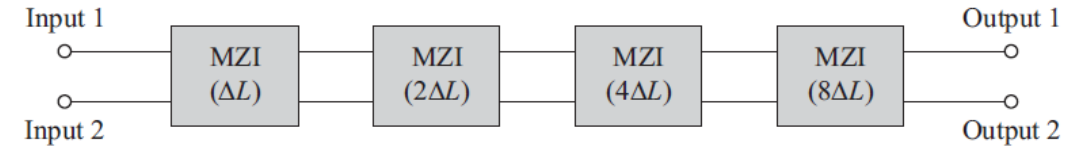
- Gelen ışığı iki dalga kılavuzuna (waveguide) böler ve sinyalleri çıkışta yine birleştirir.
- Ayarlanabilir bir gecikme elemanı iki sinyal arasında bir faz farkı oluşturur. Faz farkı  $180^\circ$  olan dalgalı boyları (sıfırlanır) filtrelenebilir.
- Seri bir MZI zinciri kullanılarak belirli bir dalgalı boyu seçilebilir. Bir koldaki optik uzunluk ayarlanarak, filtre ayarlanabilir.



(a)



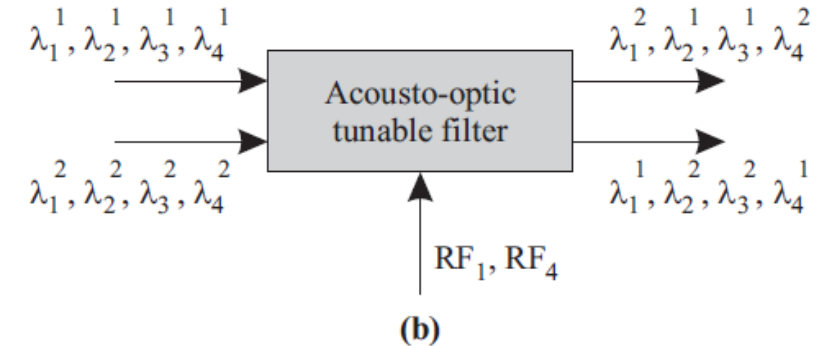
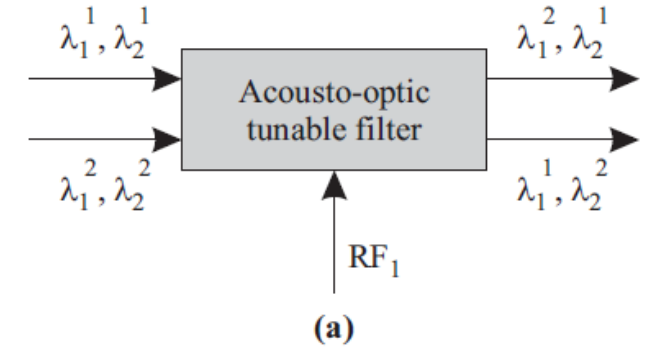
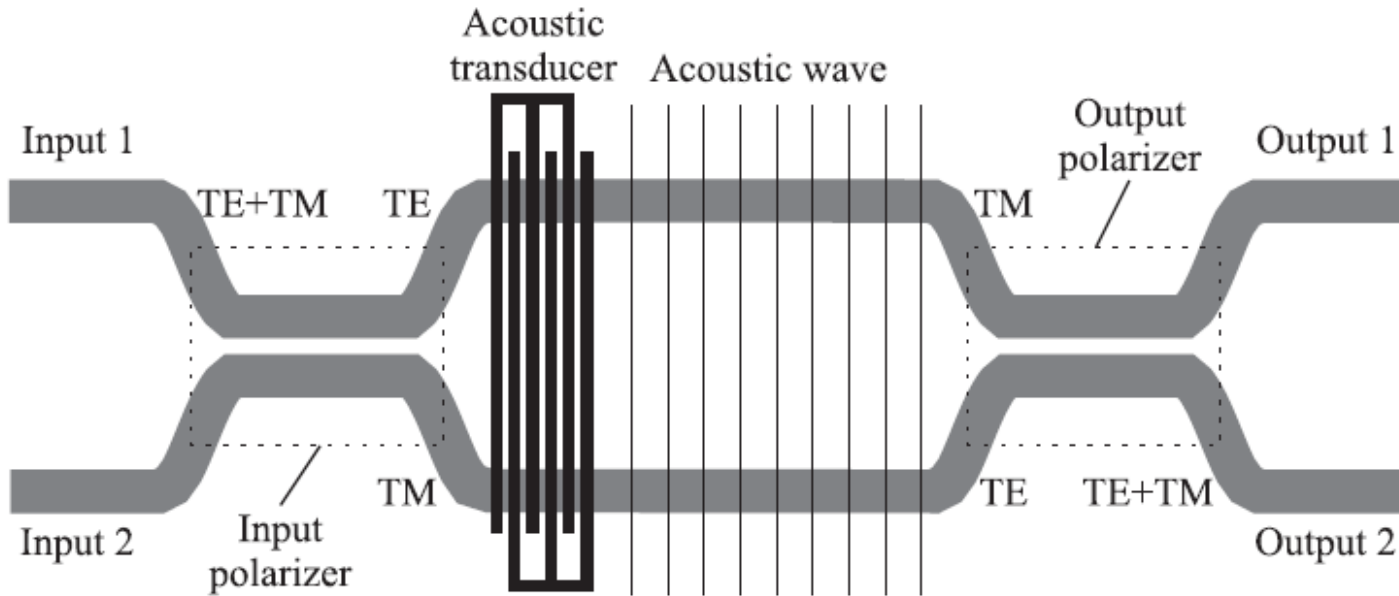
(b)



(c)

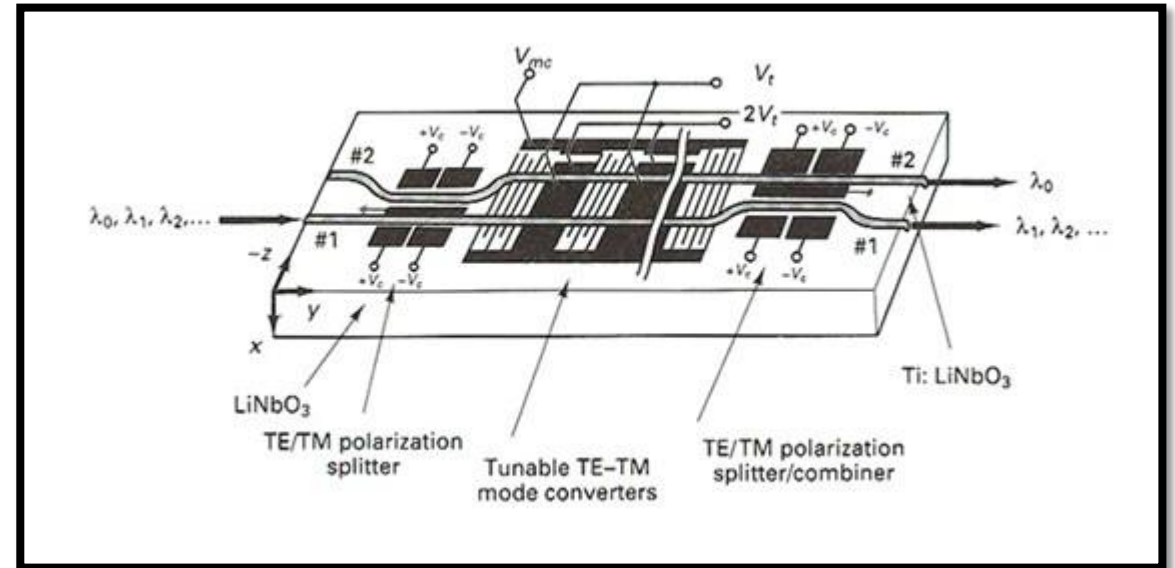
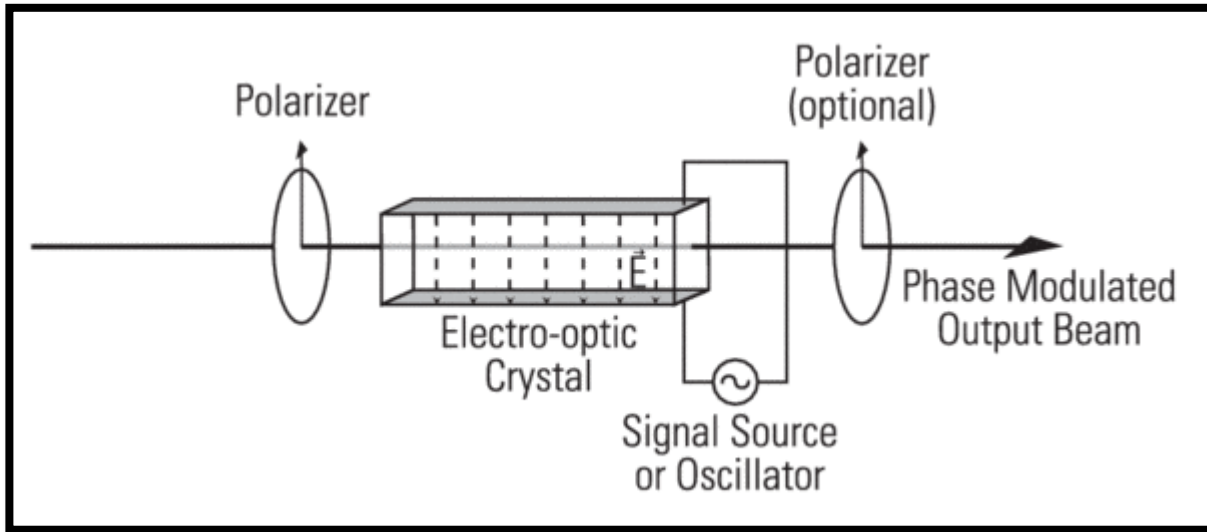
# Optik Filtreler

**Akusto-optik Ayarlanabilir Filtreler:** RF dalgaları bir kristal bir dönüştürücüden geçirilir. Ses dalgaları, kristalin kırılma indisini değiştirir ve sadece belirli bir dalgaboyunu çıkışa kırılması sağlanır.



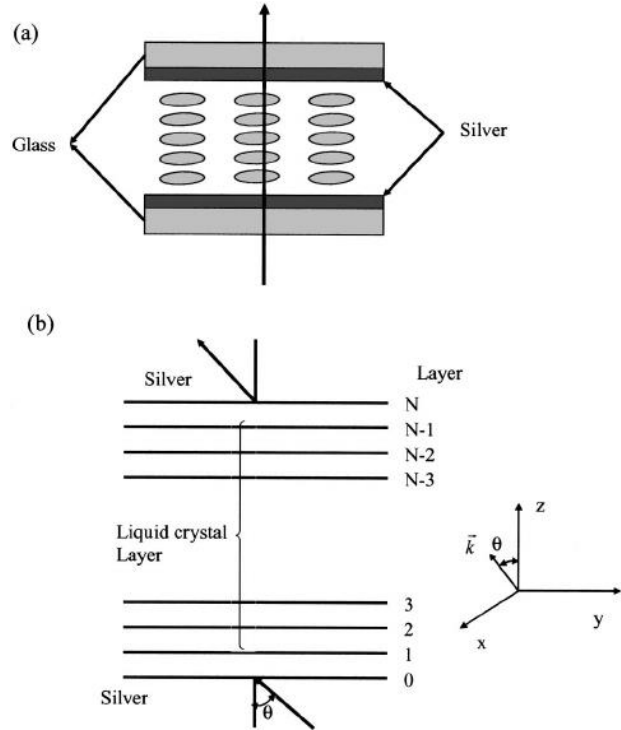
# Optik Filtreler

**Elektro-optik Ayarlanabilir Filtreler:** Kırılma indisleri, elektrik akımı ile değiştirilebilen kristaller kullanırlar.



# Optik Filtreler

**Sıvı-Kristal Fabry-Perot Ayarlanabilir Filtreler:** Bir Fabry-Perot filtresinin içi, elektrik akımı ile kırılma indisi değişen sıvı kristal ile doldurulmuştur.



# Sabit Filtreler

---

- ❑ Ayarlanabilir filtrelere bir alternatif sabit filtreler veya ızgara (Grating) cihazlardır.
- ❑ Izgara tertibatları tipik olarak tek bir fiberden bir veya daha fazla farklı dalga boyu sinyalini filtreler.
- ❑ Bu tür cihazlar, optik çoklayıcıları ve çoğullama çözücü (demultiplex) veya alıcı dizileri uygulamak için kullanılabilir.



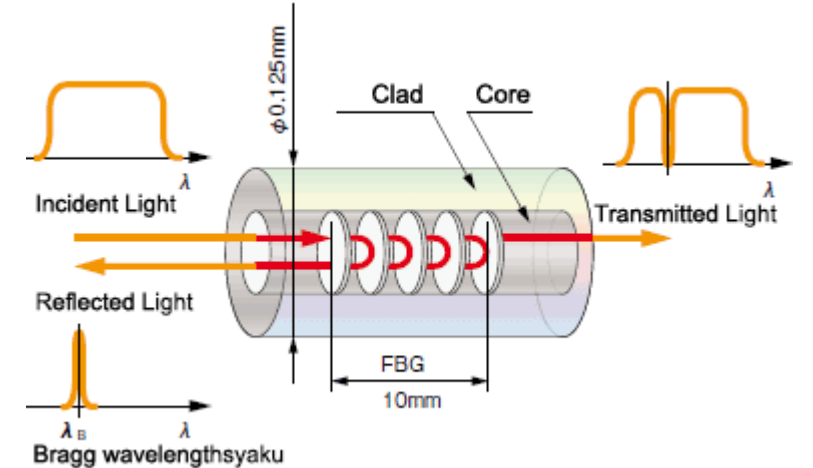
# Sabit Filtreler

## Grating Filters: (Izgara Filtreleri)

Sabit bir filtrenin bir uygulaması kırınım (diffraction) ızgarasıdır. Kırınım ızgarası, esas olarak, içine kesilmiş düz bir şeffaf malzeme tabakasıdır (örneğin, cam ya da plastik).

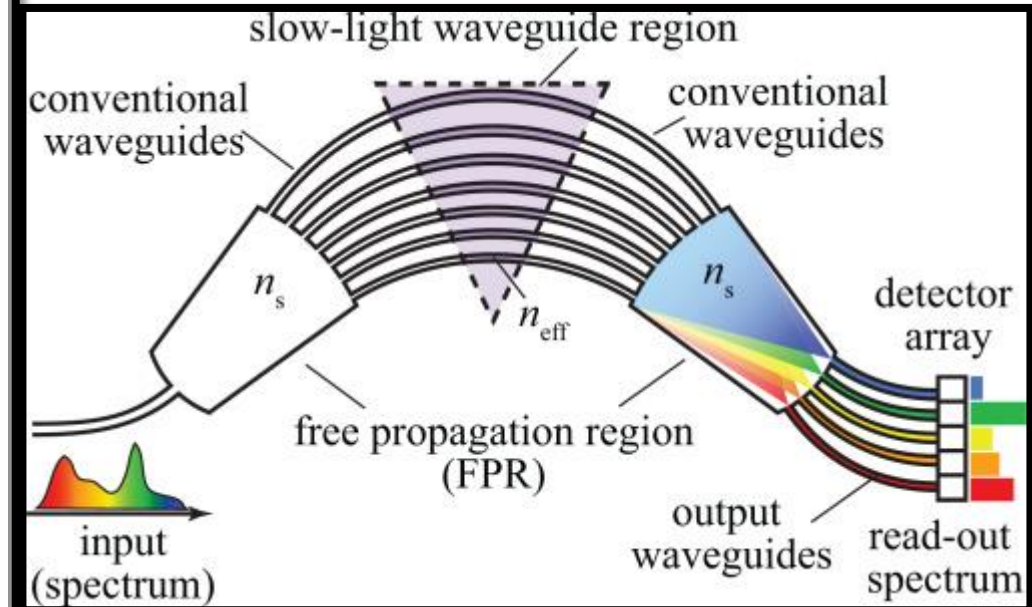
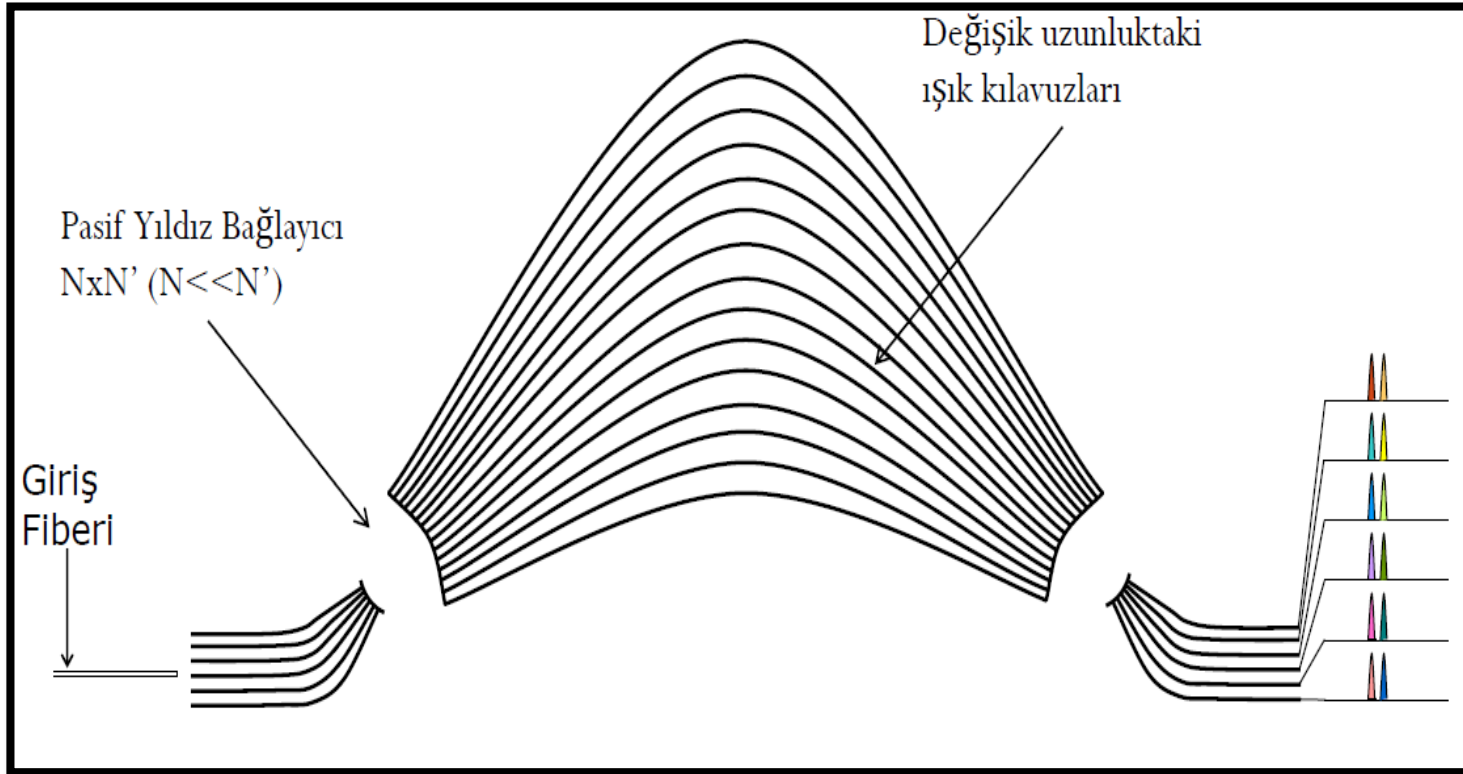
## Fiber Bragg Gratings:

Bir fiber Bragg ızgarası (FBG), belirli ışık dalga boylarını yansıtan ve diğerlerini ileten kısa bir fiber optik segmentinde oluşturulmuş bir dağıtılmış Bragg reflektör türüdür.



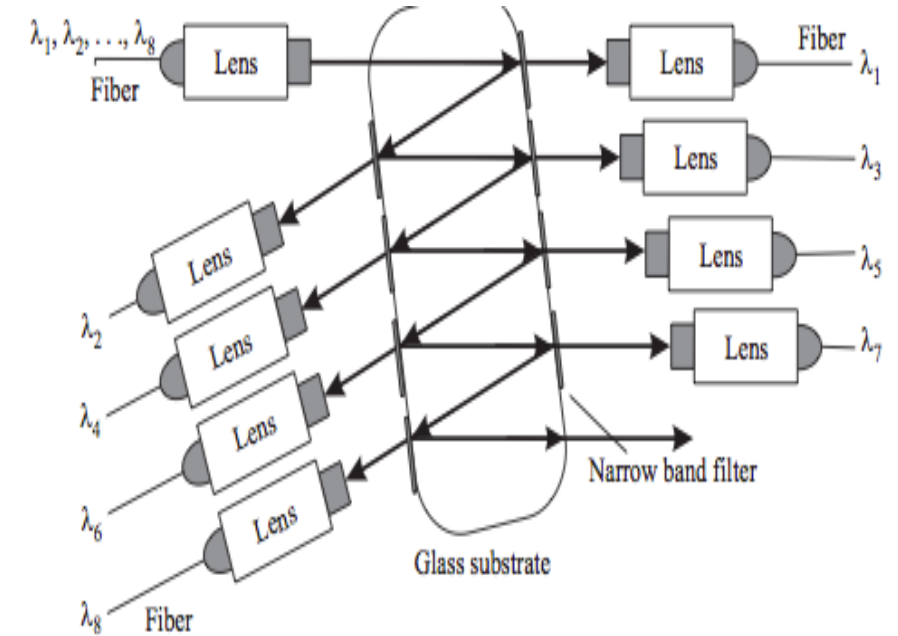
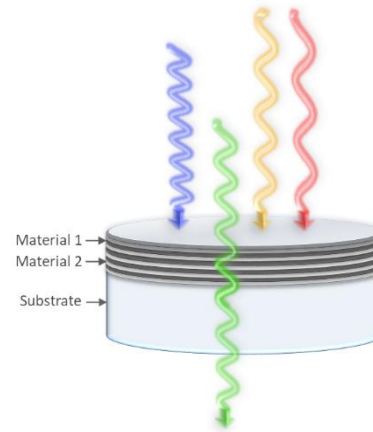
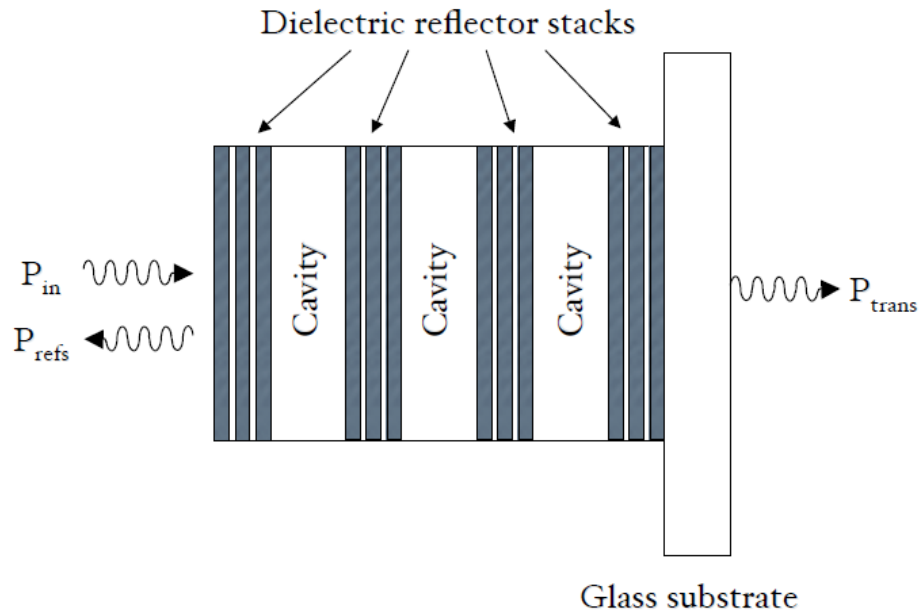
# Waveguide Grating Router(WGR)

- Işık kılavuzlarının uzunlukları öyle seçilmiştir ki (Farklı yol adıklarından dolayı farklı fazlara sahip) birleşen sinyaller sadece belirli bir çıkış portuna gider



# Sabit Filtreler

**Thin-Film Interference Filters:** İnce film optik filtreler, özel optik özelliklere sahip alternatif ince malzeme katmanlarını, optik sınıf cam gibi bir alt tabaka üzerine biriktirerek yapılır.

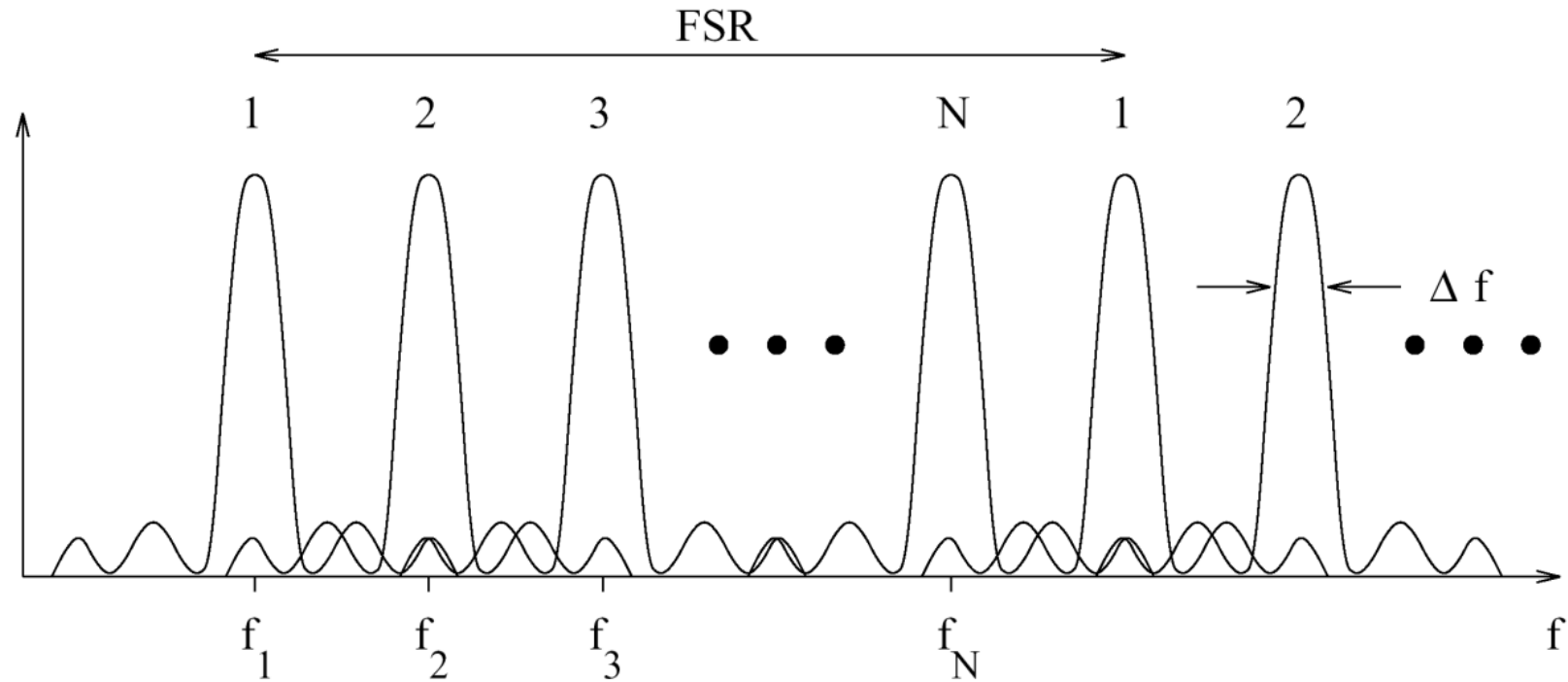


# Ayarlanabilir Filtre Karakteristikleri

---

- ❑ Ayarlama aralığı
- ❑ Ayarlama süresi
- ❑ Serbest Spektral Aralık (Free-Spectral Range): Filtreler genellikle periyodik rezonans frekanslara sahiptirler. İki rezonans frekans arasındaki mesafeye FSR denir.
- ❑ Serbest spektral aralık (FSR), bir interferometre veya difraktif optik elemanın art arda yansıyan veya iletilen optik yoğunluk maksima veya minima arasındaki optik frekans veya dalga boyundaki boşluktur.
- ❑ Fines (Finesse): Rezonansın netliğini ölçer. FSR ile rezonant tepesinin 3-dB genişliği arasındaki orandır.

# Finesse & FSR



$$\text{finesse} = \frac{\text{FSR}}{\Delta f}$$

# Ayarlanabilir Filtre Çeşitleri

---

Ayarlanabilir Alıcı (Tunable Transmitter)	Yaklaşık ayarlama aralığı (Approx. Tuning Range)	Ayarlama Zamanı (Tuning Time)
Fabry-Perot	500 nm	1 -10 ms
Akusto-optik	250 nm	~10 $\mu$ s
Elektro-optik	16 nm	1-10 ns
LC Fabry-Perot	30 nm	0,5-10 $\mu$ s

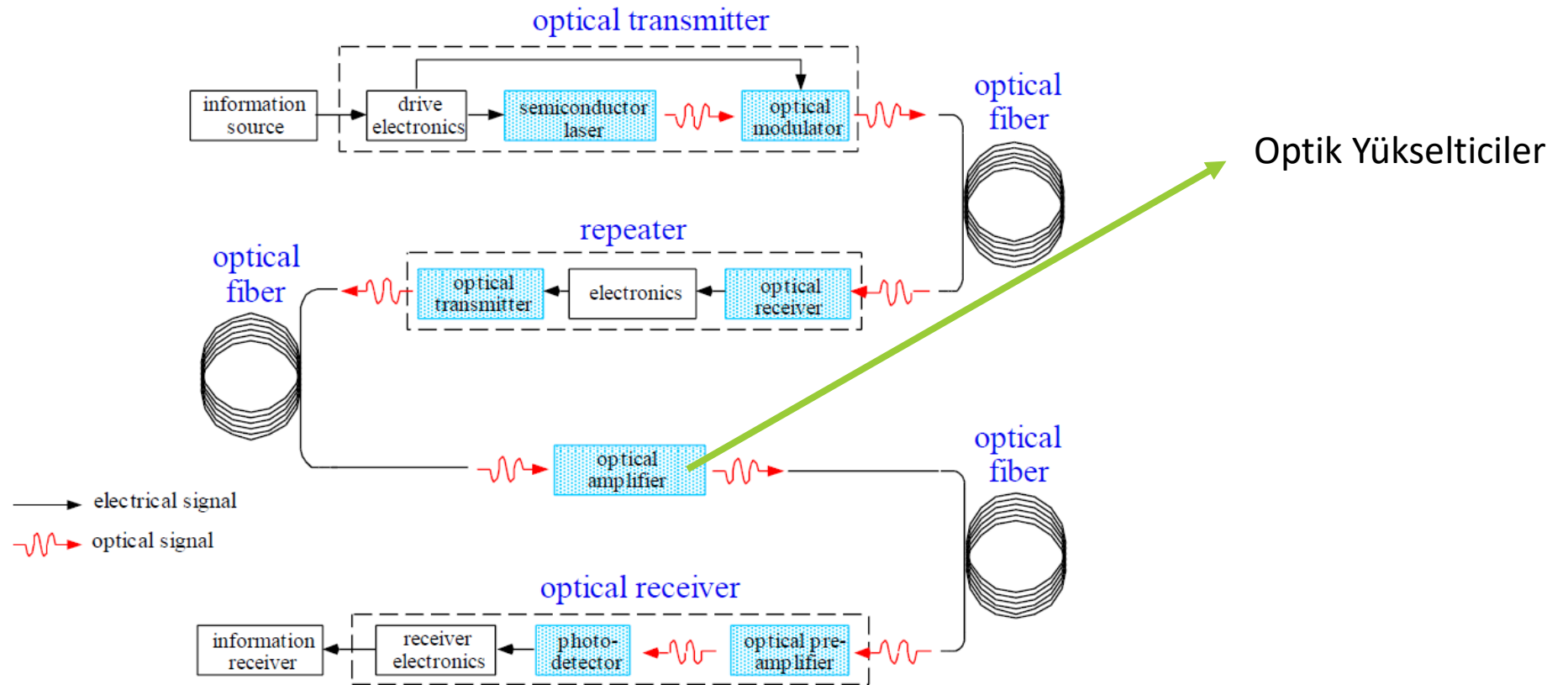
# Karşılaştırma

---

<i>Technology</i>	<i>Loss (dB)</i>	<i>Channel Spacing (GHz)</i>	<i>Crosstalk (dB)</i>	<i>Tunability</i>	<i>Maturity</i>
FBG	0.5	50	30	Yes	High
TFF	1	100	12	Yes	High
AWG	6	50	30	No	High
MZI	1	50	30	No	High
AOF	3	100	15-20	Yes	Low
DCE	5	50	30	Yes	High

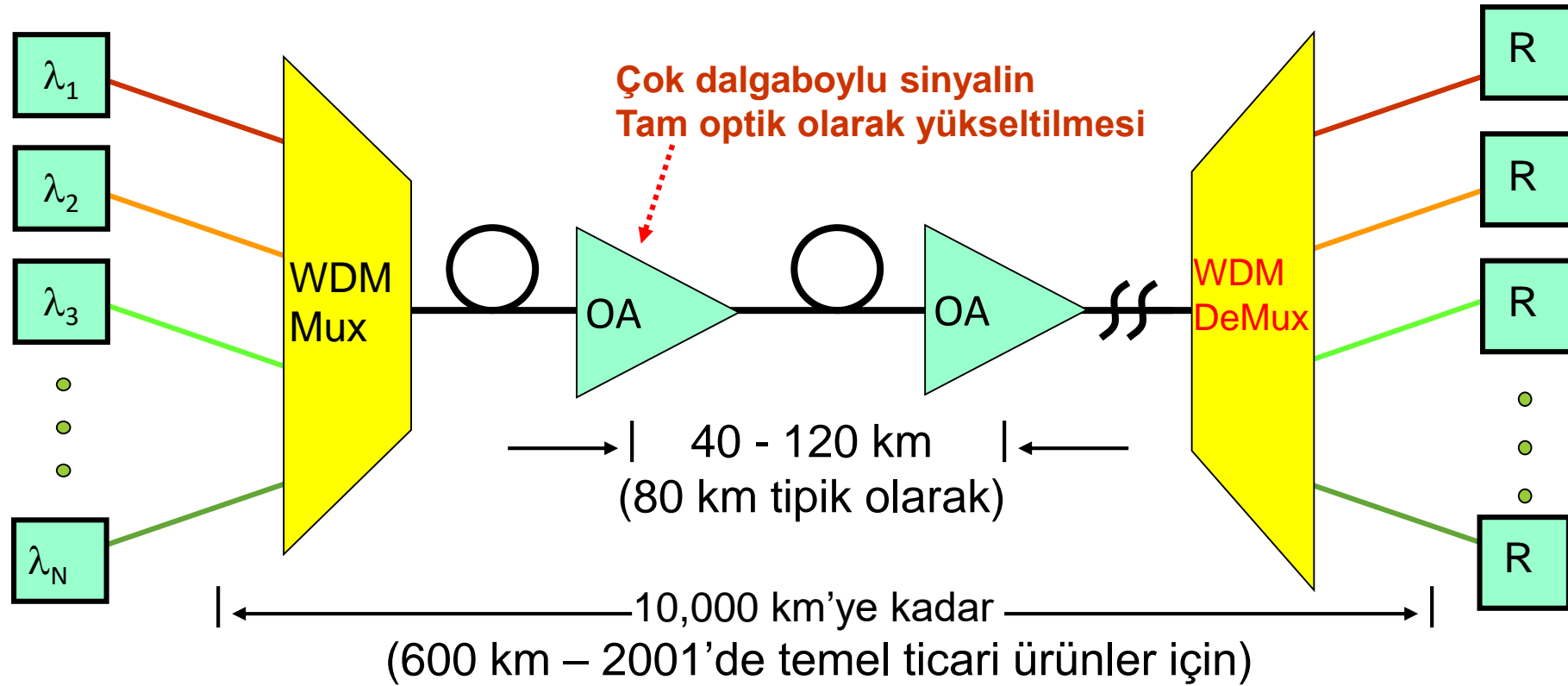
FBG = Fiber Bragg Gratings; TFF = Thin-Film Filters;  
AWG = Arrayed Waveguide Gratings; MZI = Mach-Zehnder Interferometers;  
AOF = Acousto-Optic Filters; DCE = Dynamic Channel Equalizers.

# Fiber Optik Haberleşme





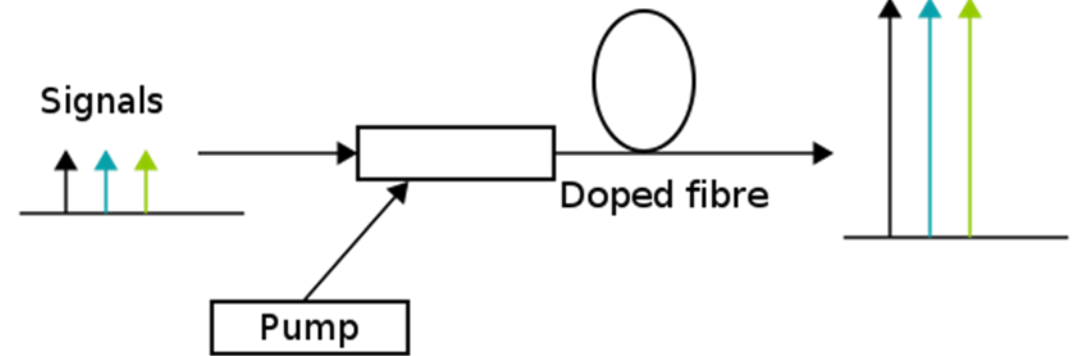
# Optik Yükselticiler / Optical Amplifiers



Alıcı-Verici arasındaki yükseltici sayısı sınırlı. ( Herbirisi gürültü eklediğinden dolayı)

# Optik Yükselticinin Karakteristikleri

- ❑ Kazanım (Gain): Bir sinyalin çıkış gücünün giriş gücüne oranı
- ❑ Kazanım Verimliliği: Kazanımı, pompa gücünün dB/mW cinsinden bir fonksiyonu olarak ölçer. (Az güçle çok iş :) )
- ❑ Kazanım Bantgenişliği: Yükselticinin etkili olduğu frekans aralığı



Source: [http://en.wikipedia.org/wiki/File:Doped\\_fibre\\_amplifier.svg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Doped_fibre_amplifier.svg)

# Optik Yükselticinin Karakteristikleri

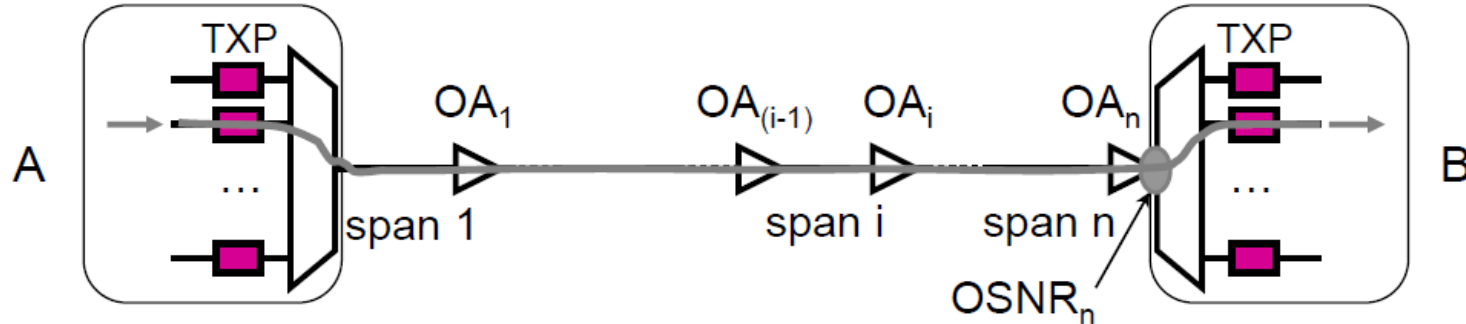
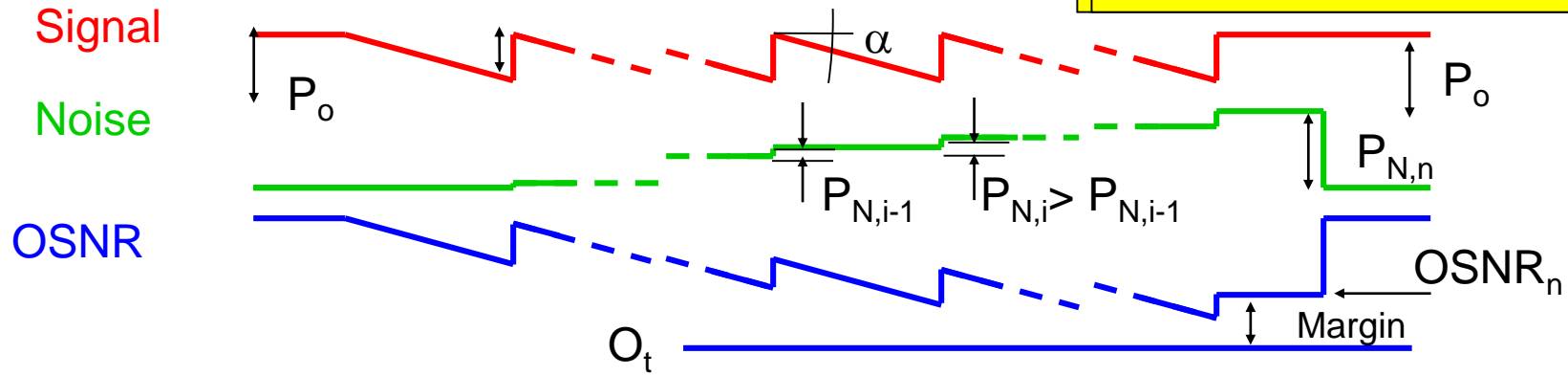
---

- ❑ Kazanım Doyumu: Çıkış gücü, belli bir noktadan sonra giriş gücü artsa da artmaz.
- ❑ Polarizasyon Duyarlılığı: Kazanımın sinyalin polarizasyonuna bağlı olması (sinyalin yatay/dikey polarizasyonları arasındaki kazanım farkı).
- ❑ Yükseltilmiş Ani Emisyon (Amplified Spontaneous Emission -ASE): Aniden yükseltmeden kaynaklanan gürültünün baskın bileşeni.

# ASE problemi ve OSNR

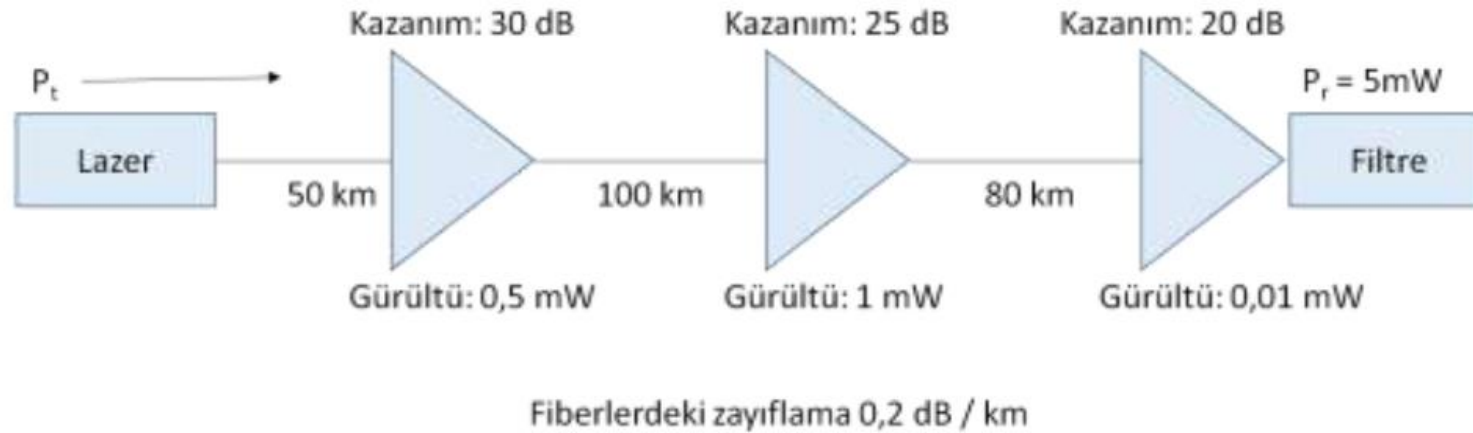
- Optik Sinyal-Gürültü oranı (Optical Signal-to-Noise Ratio - OSNR) temel kalite parametresidir.

OSNR kaliteyi koruma için belirli bir eşiğin  $O_t$  üzerinde olmalıdır.



# Örnek

- a) Eğer optik filtrenin hassasiyeti 5 mW ise lazerden çıkış gücü minimum kaç olmalıdır?
- b) Bir önceki şık da bulduğunuz çıkış gücü için OSNR kaç olur?



# Cevap

---

a) Filtreye ulaşan sinyal gücünü  $P_s$  ile gösterelim.  $P_s \geq 5 \text{ mW}$  olması gerekir ki sinyal algılanabilsin.

$$(P_s)\text{dBm} \geq 10\log(5)$$

$$(P_t)\text{dBm} + \text{toplam kazanç} - \text{toplam kayıp} \geq 6,9897 \text{ dBm}$$

$$(P_t)\text{dBm} + 75\text{dB} - 230 \text{ km} \times (0,2 \text{ dB/km}) \geq 6,9897 \text{ dBm}$$

$$(P_t)\text{dBm} + 29\text{dB} \geq 6,9897 \text{ dBm}$$

$$(P_t)\text{dBm} \geq -22,0103 \text{ dBm}$$

$P_t$  bu durumda minimum  $0,006295 \text{ mW}$  olacaktır.

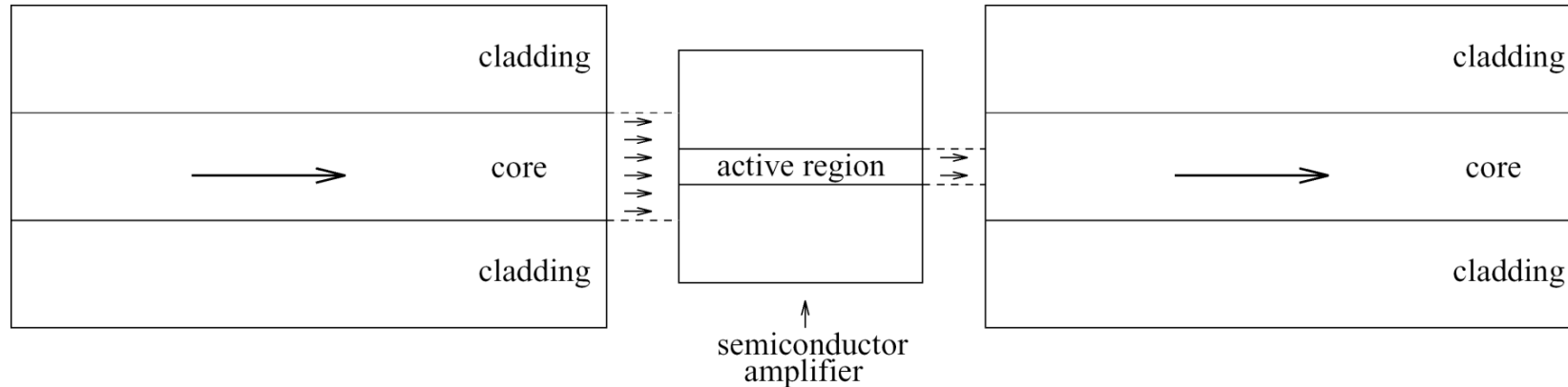
# Cevap

---

- b) OSNR'ı hesaplamak için önce alıcıya ulaşan gürültü gücünü ( $P_n$ ) hesaplamamız gerekir.
- Birinci yükselticinin çıkışında oluşan gürültü gücü 0,5 mW, yani  $10\log(0,5) = -3,0103$  dBm olacaktır.
- 100 km zayıfladıktan sonra ikinci yükselticide yükselecek ve  $-3,0103 \text{ dBm} - 100 \times (0,2) + 25 = 1,9897$  dBm,  $(10^{1,98/10})$  yani 1,58 mW'a ulaşacaktır.
- Daha sonra bu gürültüye ikinci yükselticinin gürültüsü de eklenerek ikinci yükselticinin çıkışındaki 2,58 mW,  $10\log(2,48)$  yani 4,116 dBm olacaktır.
- 80 km zayıfladıktan sonra üçüncü yükselticide yükselecek ve  $4,116 \text{ dBm} - 80 \times (0,2) + 20 = 8,116$  dBm, yani  $(10^{8,11/10})$  6,48 mW'a ulaşacaktır.
- Daha sonra bu gürültüye üçüncü yükselticinin gürültüsü de eklenerek alıcıya ulaşan gürültü gücü  $P_n = 6,49$  mW olacaktır.
- **OSNR =  $P_s / P_n = 5 \text{ mW} / 6,49 \text{ mW} = 0,7704$ , yani -1,132 dB olacaktır.**

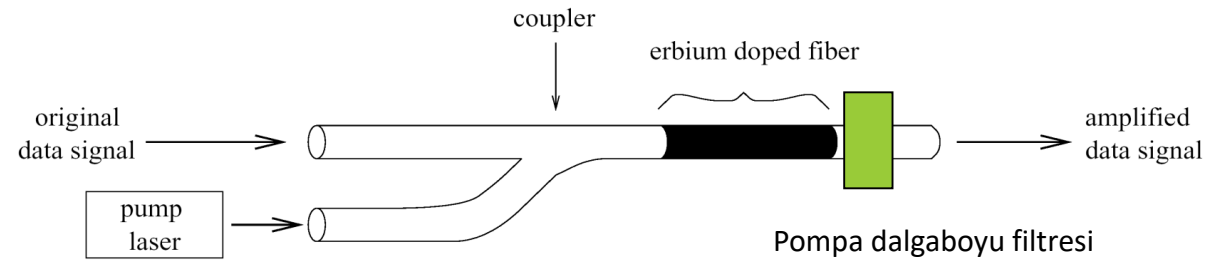
# Optik Yükseltici Çeşitleri

- ❑ Yarıiletken Optik Yükseltici
- ❑ Avantaj: Basit (Uyarılmış emisyon prensibi ile çalışır).
- ❑ Dezavantaj: Sınırlı kazanım, polarizasyon duyarlılığı

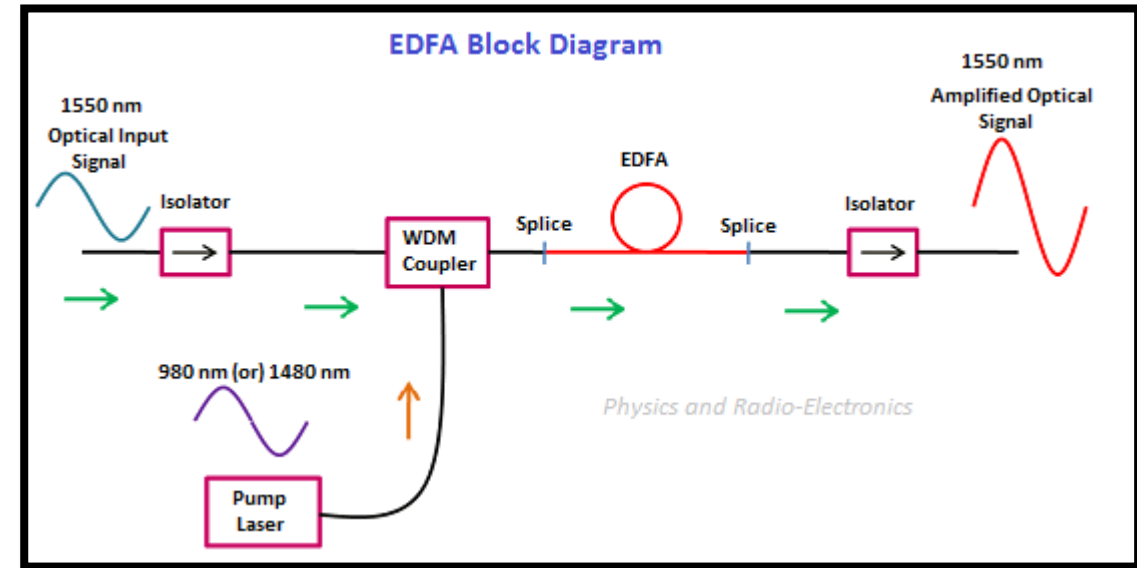
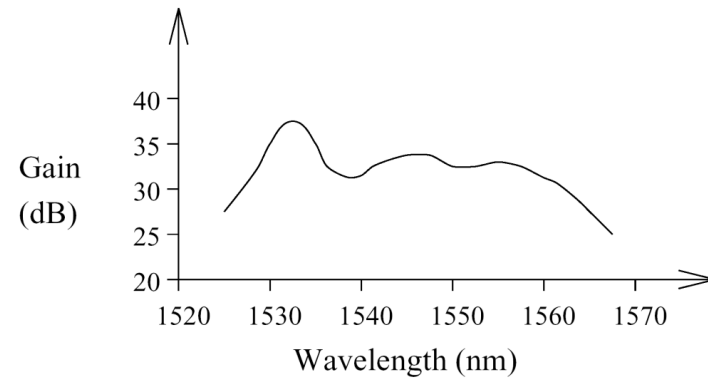




# Erbium-Dopingli Fiber Yükseltici



## ▷ Gain Spectrum of an EDFA



# Optik Yükseltici Çeşitleri

Optik Yükseltici (Optical Amplifier)	Kazanım Aralığı	Kazanım Bantgenişliği	Maksimum Kazanım
Yarıiletken	Herhangi	40nm	25 dB
EDFA	1520nm- 1560nm	35 nm	30 dB
PDFFA	1280nm- 1330nm	50 nm	30 dB

Not: Praseodymium katkılı fiber amplifikatör (PDFA), **O** bandında (~1300 nm) çalışan (nadir bulunan toprak) katkılı fiber amplifikatörlerin bir türüdür.

# Anahtarlama Elemanları:

---

İki tip anahtar vardır. İlişkisel anahtar ve lojik anahtar.

## ☐ İlişkisel Anahtarlar:

☐ Giriş ve çıkış arasında bir ilişki kurar.

☐ Bu ilişki, cihaza uygulanan kontrol sinyallerinin bir fonksiyonudur ve veri giriş sinyallerinin içeriğinden bağımsızdır.

☐ Veri-saydamlığına izin verir. Veriyi açıp bakmaya gerek yok.

☐ Devre anahtarlama için gereklidir.

☐ **Veri saydamlığı (Data transparency):** Bir iletişim sisteminin (ağın), sistem girişine sunulan bit dizisinin herhangi bir kısıtlama veya istisna olmaksızın çıkışa aktarılması

# Anahtarlama Elemanları:

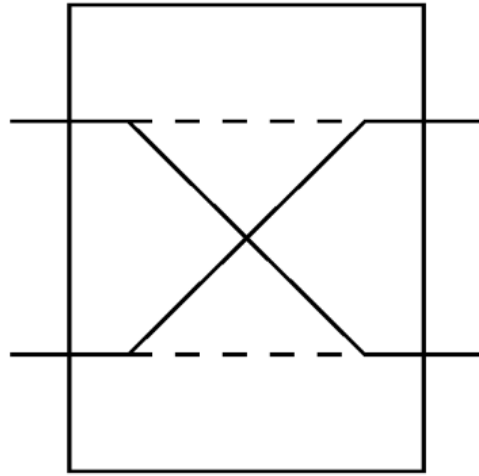
---

## ☐ Lojik Anahtarlar:

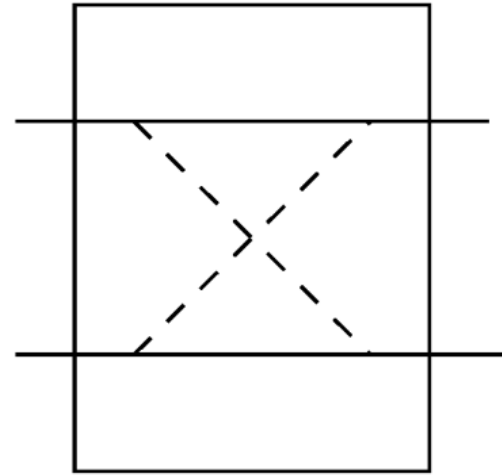
- ☐ Veri anahtarı kontrol eder.
- ☐ Sinyal bit hızından daha hızlı anahtarlama yapması ve durum değiştirmesi gerekir.
- ☐ Esneklik sağlar, ama maksimum bit hızını sınırlar.
- ☐ Paket anahtarlama için gereklidir.

# 2x2 Çapraz Bağlayıcılar (Crossconnects)

---



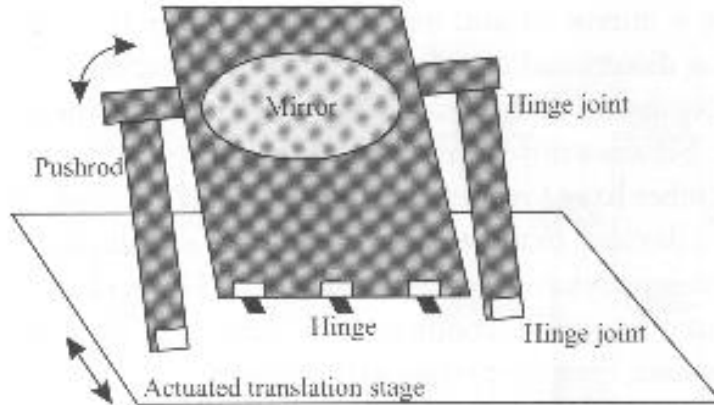
cross state



bar state

# Tam-optik Anahtarlama: MEMS

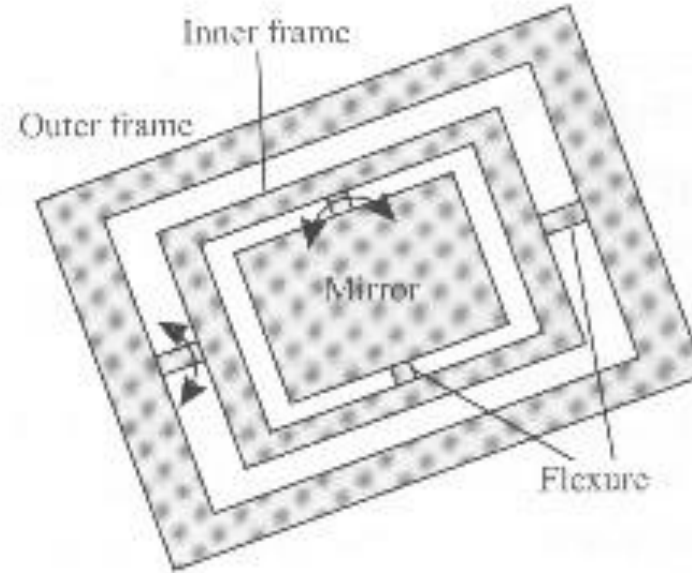
- ❑ MEMS: Micro-Electro-Mechanical Systems
- ❑ Işığın yönünü değiştirecek hareketli aynalar
- ❑ 2 boyutlu MEMS ( iki durumlu açılan MEMS ayna)
  - ❑ Durum “0”: Açılmış durum
  - ❑ Durum “1”: Düz Durum



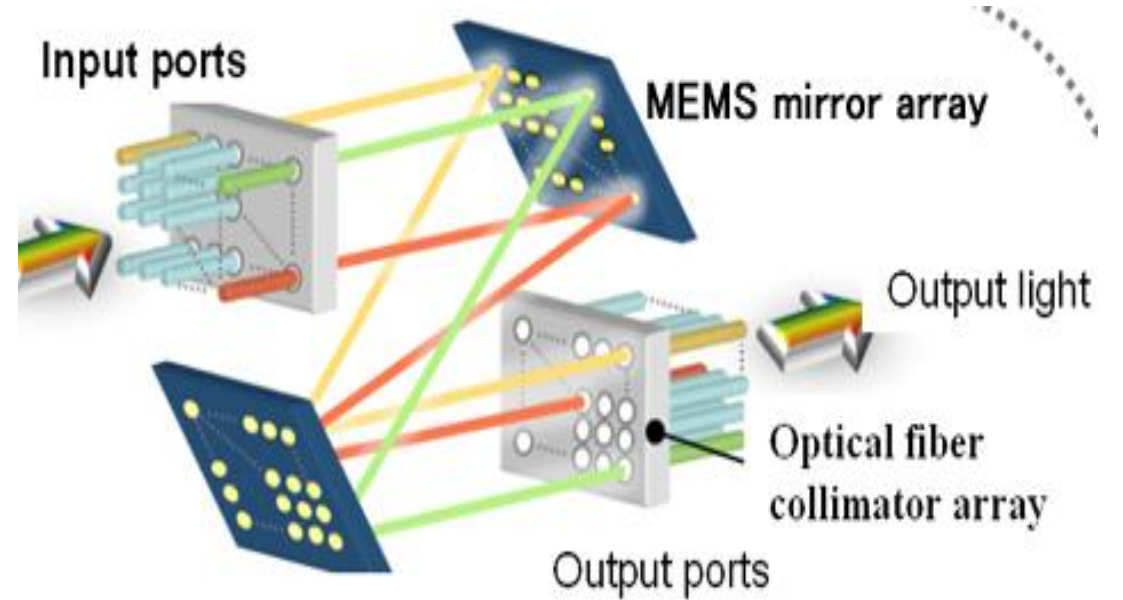
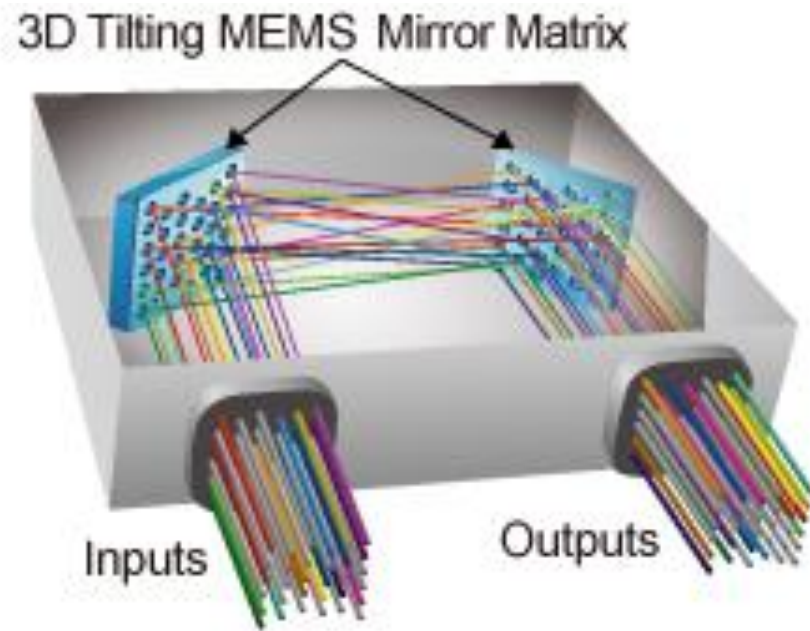
# MEMS

---

- Analog ışın-yönlendiren ayna
- Ayna, ışığı yönlendirmek için serbestçe iki eksen üzerinde çevrilebilir.



# 3D MEMS Örneği NxN Anahtar





# Diğer Tam-optik anahtarlar

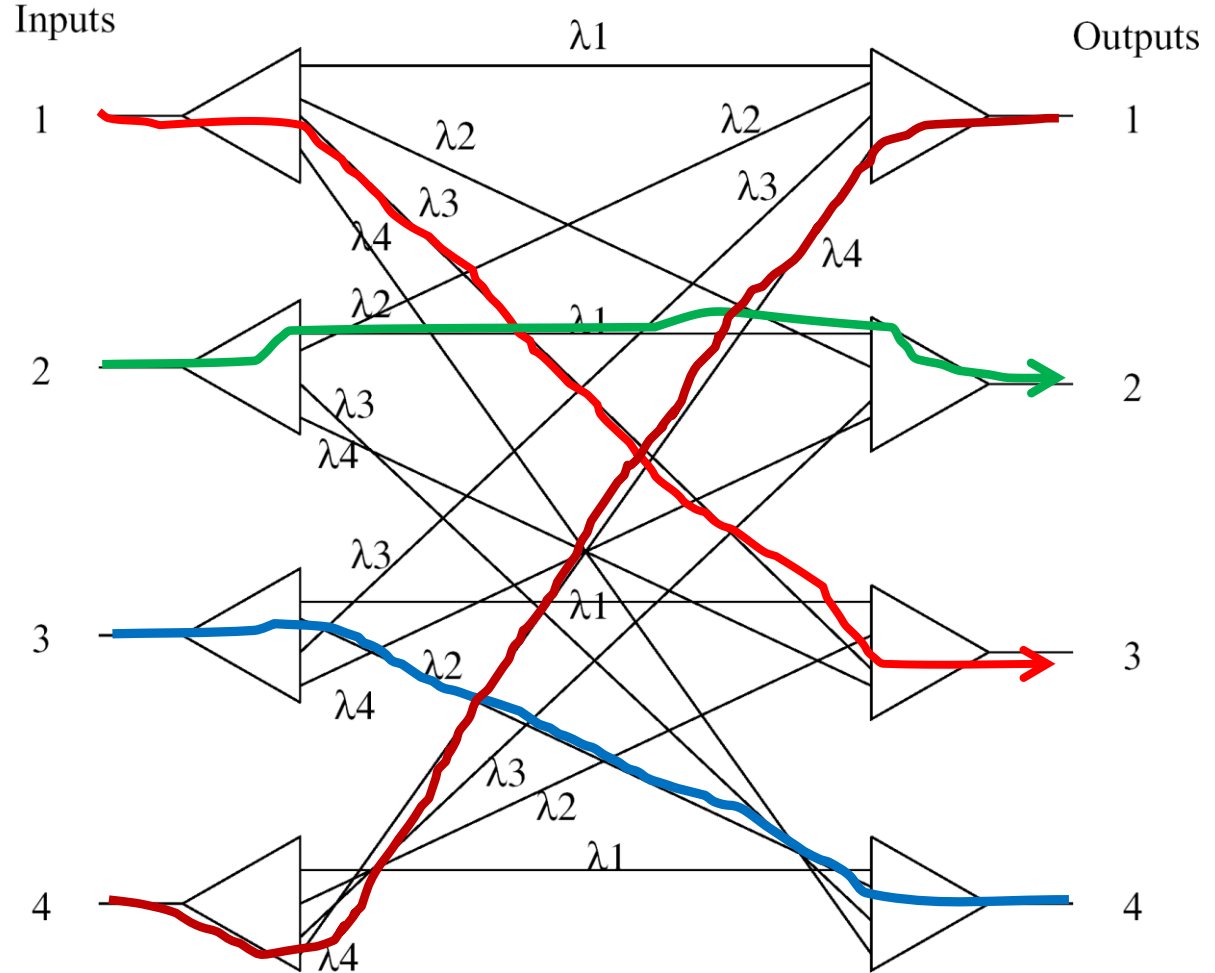
---

- ☐ Kabarcık (Bubble) tabanlı anahtarlar
- ☐ Sıvı kristal anahtarlar
- ☐ Elektro optik anahtarlar (LiNbO<sub>3</sub>)
- ☐ Termo optik anahtarlar
- ☐ SOA (Semiconductor Optical Amplifier) anahtarları
- ☐ Holografik anahtarlar

# Bir 4x4 Pasif Dalgaboyu Yönlendirici

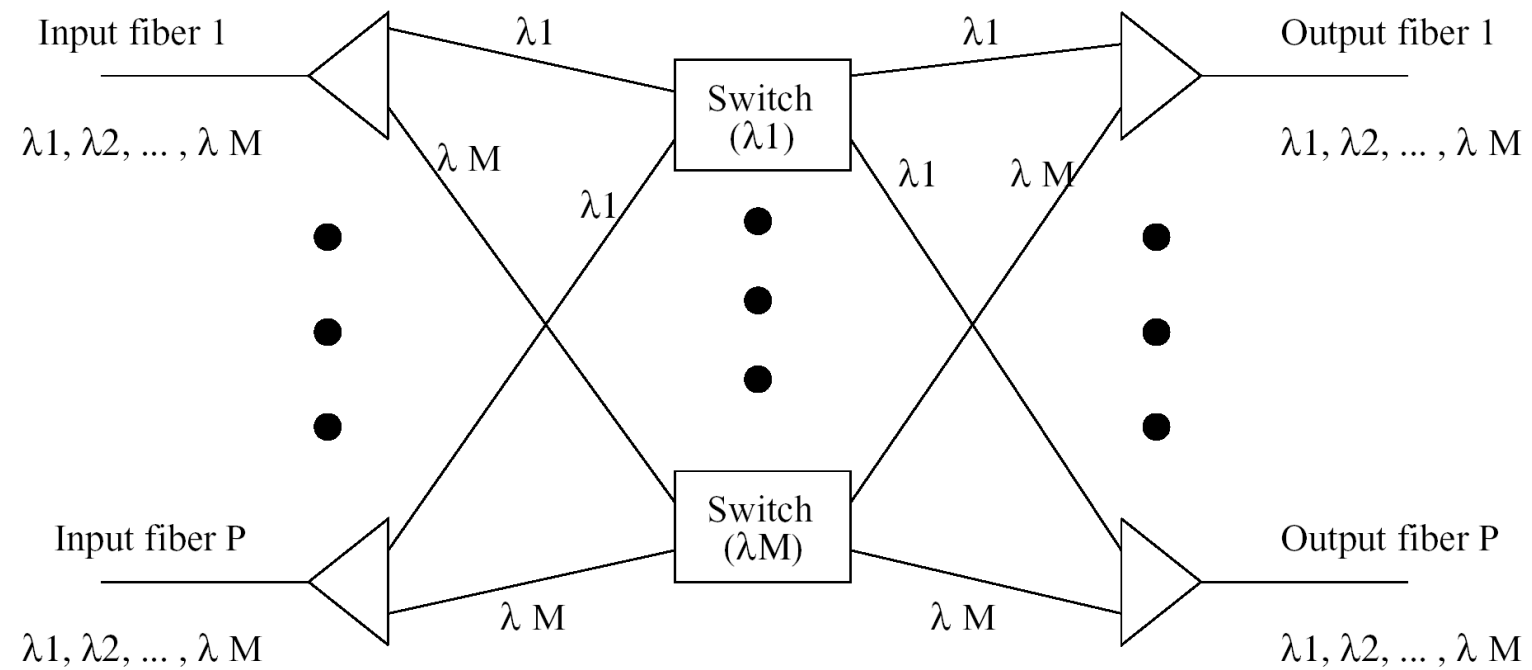
Trafik Matrisi

Giriş	Çıkış	Lambda
1	3	3
2	2	1
3	4	2
4	1	4

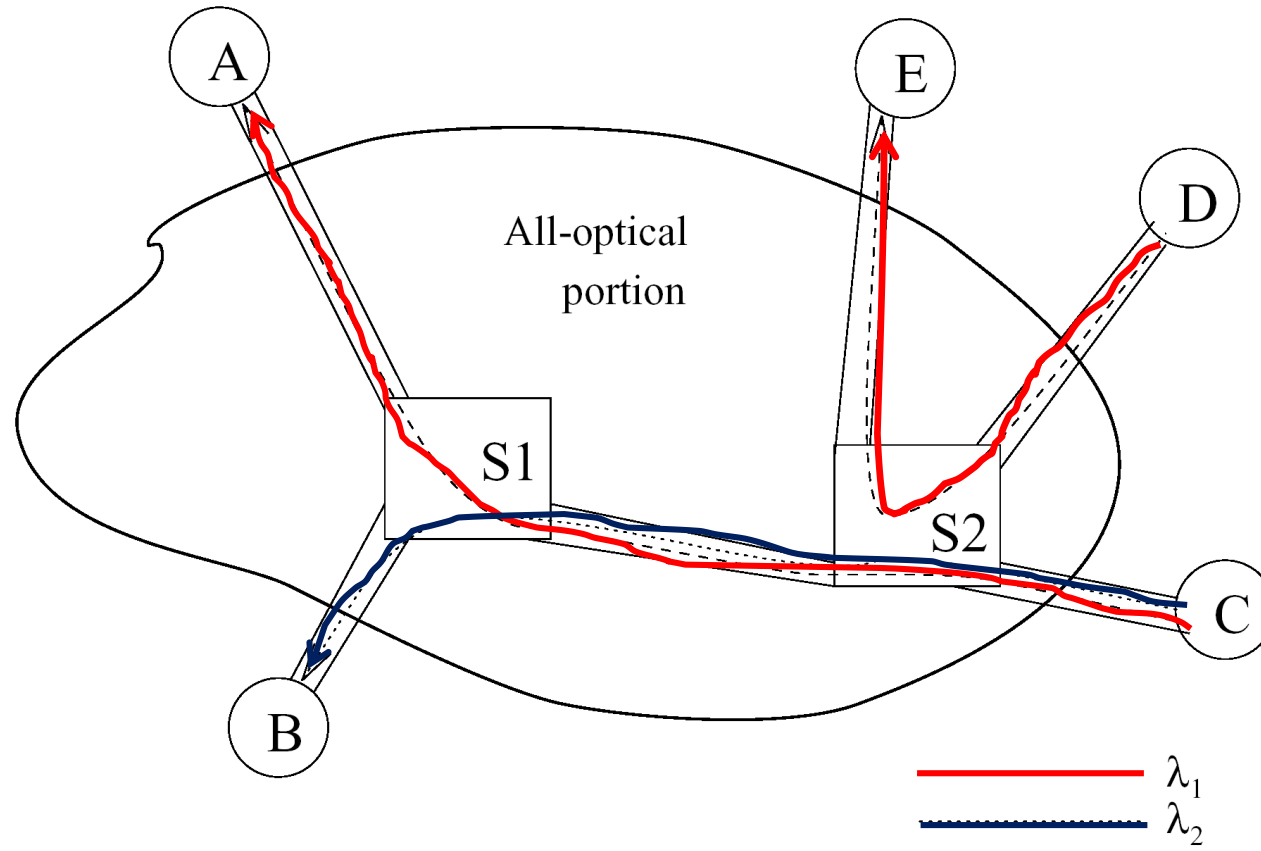


# Aktif Anahtar

---



# Dalgaboyu-Yönlendirmeli Ağ



Trafik talepleri

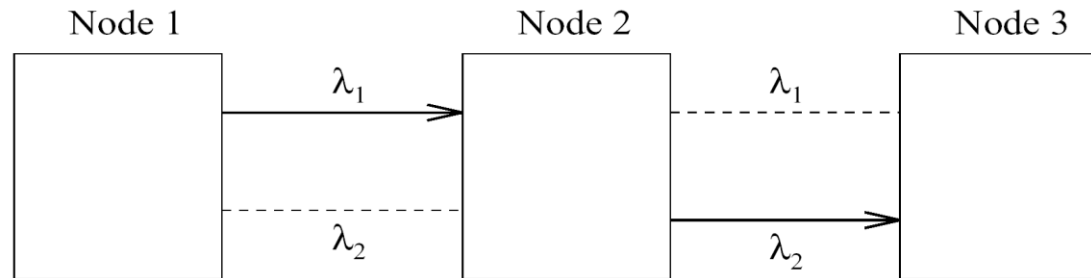
C -> A

D -> E

C -> B

# Dalgaboyu devamlılığı Kısıtlaması

---



(a) without converter

# Dalgaboyu Çevirici Özellikleri

- ❑ İdeal bir çeviri:
- ❑ Bit hızından ve sinyal formatından etkilenmez.
- ❑ Hızlı çevrim
- ❑ Hem kısa hem de uzun dalgaboylarını çevirmeli
- ❑ Orta derecede giriş gücü seviyeleri
- ❑ Gerekirse çevirmeme ihtimali de olmalı
- ❑ Polarizasyona karşı duyarlı olmamalı
- ❑ Büyük SNR

