

## Föreläsning 9, mer om fiberoptik

### Allmänt om fiberoptiska system

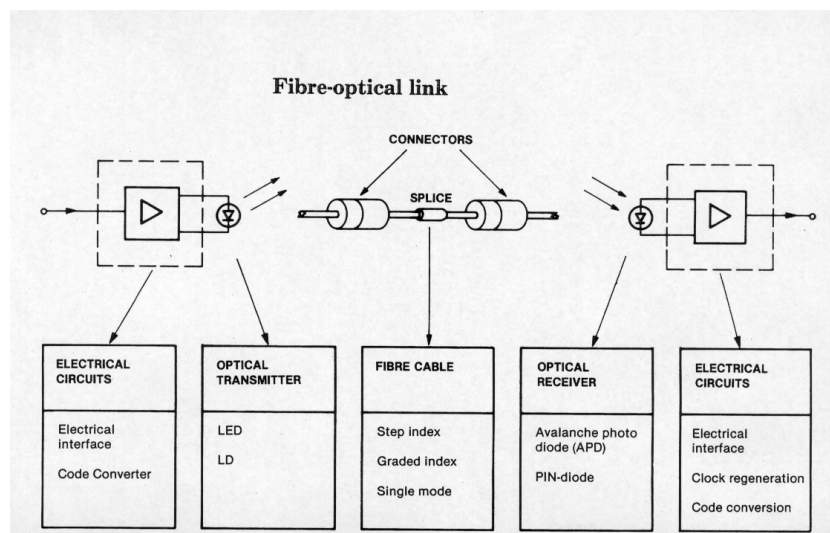
Ett fiberoptiskt system är i sin enklaste form en kommunikationslänk, som är uppbyggd av optiska fiberkablar i stället för traditionella kopparkablar. Informationen överförs normalt i digitalt, i form av ljuspulser istället för elektrisk ström. Telekommunikation är den dominerande användaren av fiberoptiken. Fiberoptiska system är generellt sett mycket billigare än traditionella lösningarna. Själva fibern väger nästan ingenting. Av ett kilo kvartsglas kan man tillverka 38 km optisk fiber.

I ett telekommunikations system kan informationen skickas över 70 km om man använder en optisk fiber. Det skall jämföras med de traditionella kopparkablarna som bara klarar ett avstånd på 2 km, innan signalen måste förstärkas. Singelmode fiber har en enorm teoretisk överföringskapacitet. För telekommunikationen ligger dagens standard runt 565 Mbit/s. En kapacitet på femhundrasextiofem ljuspulser per sekund innebär att ungefär 8000 telefonsamtal kan överföras samtidigt. I form av digital text motsvaras det av 15 000 papper i A4-format per sekund.

Utöver den enorma överföringskapaciteten har fibern andra fördelar, som tex. att den är okänslig för elektriska störningar och att den svår att avlyssna. Eftersom fibern själv inte består av något ledande material, påverkas den inte av starka elektriska eller magnetiska fält. Den är med andra ord okänslig för tex åskväder, och kan placeras i närheten av kraftledningar.

### Den fiberoptiska länken

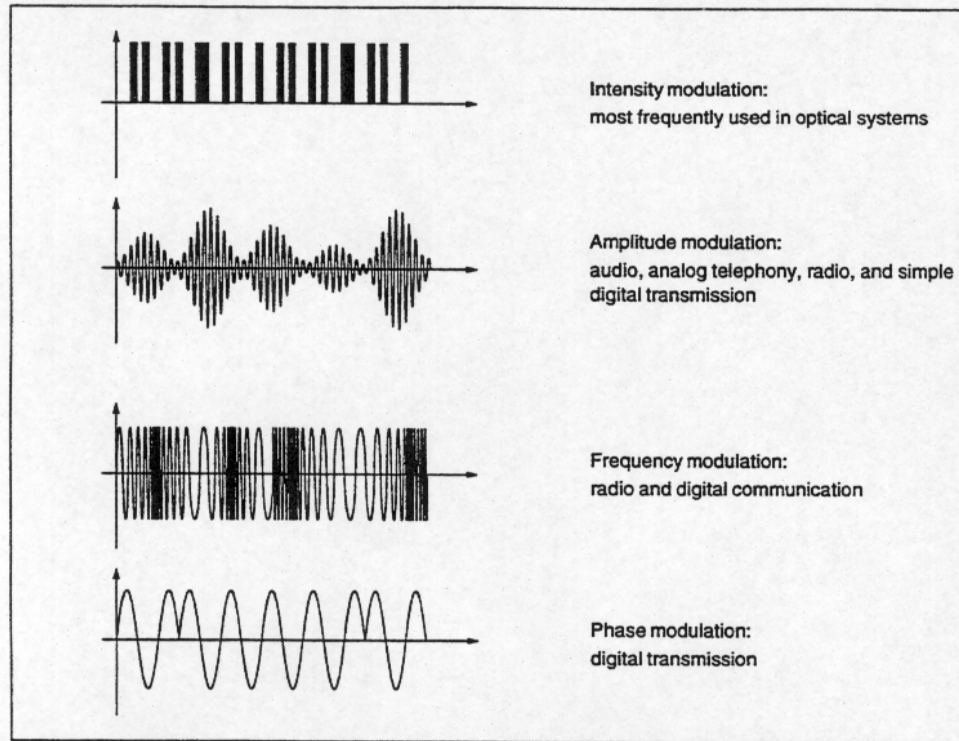
En fiber optisk länk består av en ljuskälla, en optisk kabel, och en optisk mottagare.



Ljuskällan ses ofta som den aktiva komponenten i ett fiberoptiskt kommunikationssystem. Dess huvudfunktion är att omvandla elektrisk energi (ström) till optisk energi (ljus), på ett sådant sätt att ljuset på effektivast möjliga sätt kan transporteras genom den optiska kabeln. Ett grundläggande krav för att systemet skall fungera är att tillräckligt med effekten överförs till fibern, så att man trots förluster i fiber har något som går att detektera vid detektorn. Den optiska signalen måste vara en korrekt upprepning av den elektriska signalen, för att minimera störningar. Ljuset bör ha en våglängd som motsvarar fiberns lägsta förlust och dispersion och som är anpassad till detektorns maximala känslighet.

De första halvledarlasrarna som tillverkades var gjorda i gallium-arsenid med en våglängd vid 850 nm. Eftersom de använder lågspänning och i princip direkt svara med en ljuspuls vid injektion av en strömpuls var de mycket lämpliga för optisk kommunikation. Fibern som användes var en multimod stegindexfiber och överföringsavståndet var relativt kort. Man tvingades att använda sig av en relativt hög uteffekt för att kompensera de höga förlusterna som fanns i de tidiga fibrerna. I dagens telekommunikationssystem används lasrar med våglängden i intervallen kring 1300 nm eller 1550 nm där förlusterna i fibern är om lägst. Dessa lasrar är som tidigare nämnts tillverkade i indium-gallium-arsenid-fosfid (InGaAsP).

Det finns olika typer av signalmodulering. Den enklaste, och idag vanligaste, är att helt enkelt stänga av och sätta på ljuset i enlighet med den digitala elektriska signalens ettor och nollor. Tekniken kallas (puls) intensitetsmodulation (IM). I princip kan man använda vilken som helst av de tekniker som annars används för informationsöverföring. Sådana tekniker omfattar amplitudmodulation, frekvensmodulation, och fasmodulation. Intensitets modulation påminner mycket om Morse kod, som uppfanns för telegrafan på 1800-talet.



*Fig. 114 Different types of modulation used in information transfer.*

Allteftersom pulsen transporteras i fibern kommer ljusintensiteten att minska. Den effekt som man får ut i slutet av systemet är effekten som matades in i fibern, minus summan av alla förlusterna på vägen. Intensiteten hos pulsen kan uttryckas i W, mW, eller i dBm, dvs ljusintensiteten i förhållande till 1 mW. Optiska detektorer, fotodioder omvandlar den optiska energin till elektrisk energi. Den elektriska signalen kan sedan förstärkas med hjälp av vanlig elektronik. De typer av fotodioder som används är PIN, pn-fotodioden och APD (eng. avalanche photodiode). Ljuspulsen påverkas inte enbart av förlusterna i fibern, utan också av *dispersionen*. Fenomenet har nämnts tidigare och innebär att olika våglängder färdas med olika hastighet genom fibern. Pulsen smetas ut i tiden och påverkar signalen. Hur ljuspulsen uppfattas av dioden beror på *ljusintensiteten* i pulsen, *störningen* hos ljuspulsen samt *fotodiodens känslighet*.

## Systemdimensionering

### Fiberförstärkare

Den klassiska lösningen till problemet med förluster längs en kommunikationslinje, är användandet av sk **repeaters**. En repeater består av både elektroniska och elektriska komponenter. den läser av en optisk signal, återskapar pulsen elektroniskt och överför den slutligen åter till en optisk signal, som skickas vidare i fibern.

På 80-talet blev singelmodefibern standard inom telekommunikation för våglängderna vid 1300 nm och 1550 nm. Ungefär samtidigt började man fråga sig om inte fibern kunde ges en aktivare roll i kommunikationslänken.

Southampton University i Storbritannien var först ut med **dopade fibrer**. 1987 meddelade en forskargrupp därifrån att man lyckats använda en erbiumdopad fiber som optisk förstärkare för våglängden 1500 nm.

Iden bakom en optisk förstärkare är ganska enkel. Man använder samma mekanism, *stimulerad emission*, som förekommer i lasern. Fibern dopas genom att Erbiumjoner ( $\text{Er}^{3+}$ ) tillsätts fiberkärnan. Små mängder av jordartsmetaller som Erbium påverkar inte kärnans brytningsindex. Detta medför att man inte behöver några större förändringar av designen och produktionen av fibern. Erbiumjonerna exciteras till ett högre energitillstånd genom att absorbera fotoner som skickas in i fibern. En yttre ljuskälla fungerar alltså som en pumpmekanism. När signalen sedan propagerar genom fibern, överförs energin i de exciterade erbiumjonerna till signalen genom stimulerad emission.

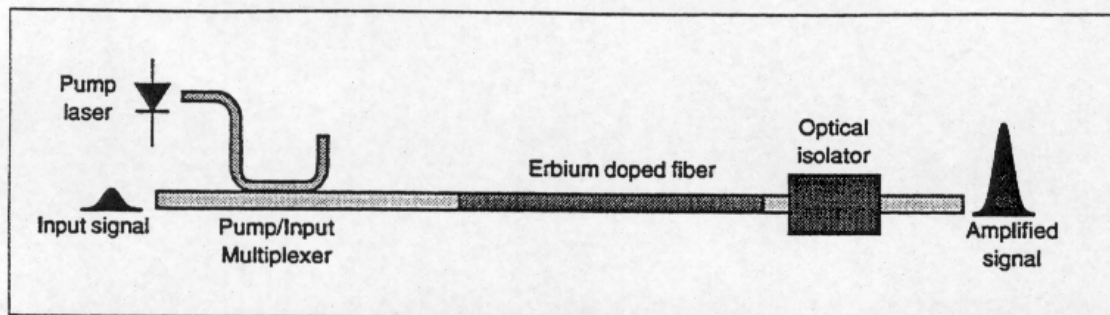


Fig. 211 A typical amplifier with erbium doped fiber

Pump ljuset förs in i fibern via en sk fiberkopplare. För att excitera Er-jonerna utnyttjas något av absorptionsbanden, 980 nm eller 1480 nm, som ger inverterad population för ett band mellan 1530 till 1560 nm.

## Utvecklingen av överföringskapaciteten

I ett historiskt perspektiv har överföringen ökat från 10 bitar per sekund och km 1850 till ca.  $10^{15}$  bit/s-km idag.

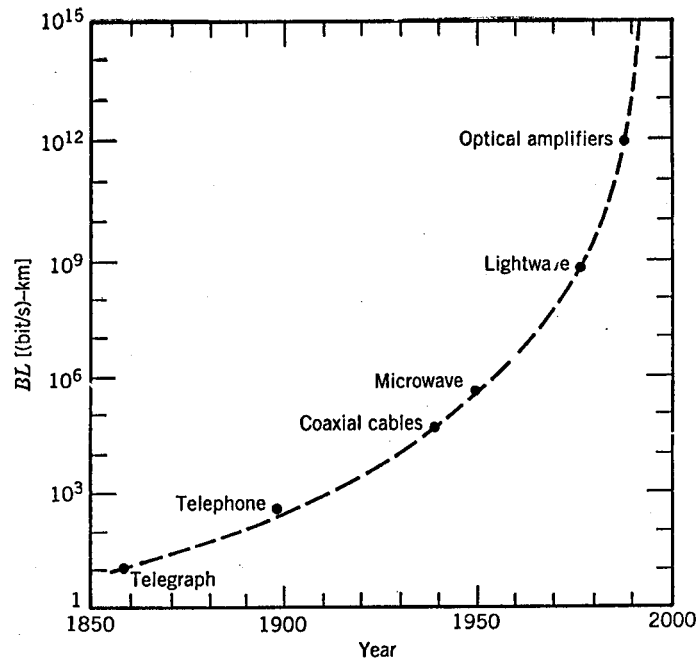


Figure 1.1 Increase in b't rate-distance product  $BL$  during the period 1850–2000. The emergence of a new technology is marked by a solid circle.

För optisk kommunikation som introducerades för 25 år sedan har redan 6 olika teknologier förändrat kapaciteten för fibrerna och två nya är på väg att slå igenom.

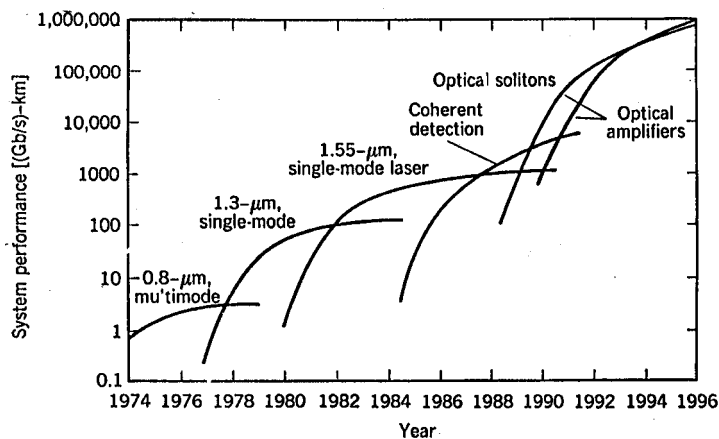


Figure 1.2 Progress in lightwave communication technology over the period 1974–1996. Different curves show increase in the bit rate-distance product  $BL$  for five generations of fiber-optic communication systems.

Det senaste är WDM överföring (våglängdsmultiplexning). I dessa system kopplas flera lasrar (10-100) med varsin individuell våglängd samman i en fiber. Varje våglängd bär sin information (en kanal), utan att påverkas av de övriga våglängderna. På utgångssidan av fibern separeras ljuset i kanaler och omvandlas till elektrisk information i detektorer och elektronik.

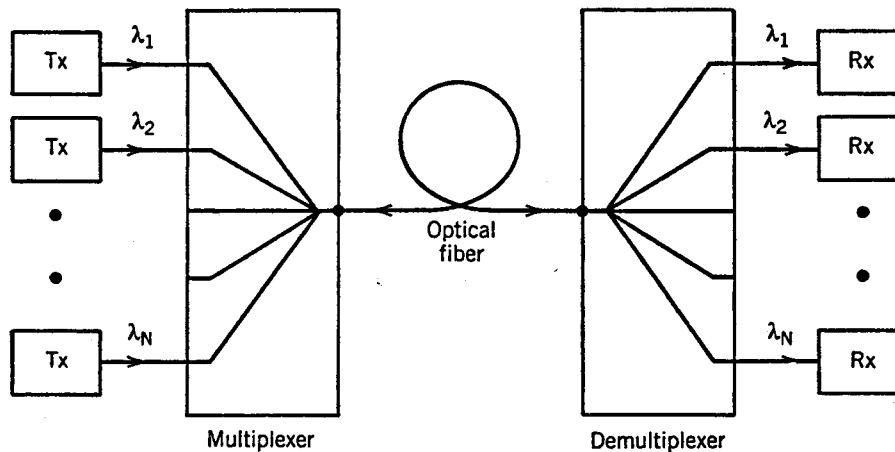


Figure 7.2 Multichannel point-to-point fiber link. Separate transmitter-receiver pairs are used to send and receive the signal at different wavelengths

Den totala kapaciteten som finns tillgänglig för överföring ges av det frekvensomfång som fibern har för transmission, tillsammans med separationen mellan kanalerna. Potentiellt finns det 15 THz vid 1550 nm och 12THz vid 1300 nm.

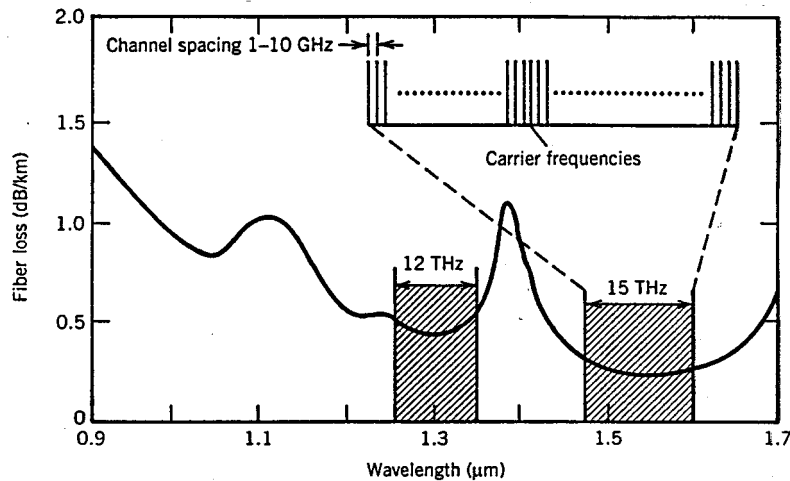


Figure 7.1 Low-loss transmission windows of silica fibers in the wavelength regions near 1.3 and 1.55  $\mu\text{m}$ . The inset shows schematically multichannel operation in the 1.55- $\mu\text{m}$  transmission window.

Det kommer att ta en mycket lång tid innan hela detta frekvensomfång behöver, eller kommer att utnyttjas. Vad som är säkert är dock att med utvecklingen av "bredbandstjänster" och internet kommer behovet av bandbredd att öka snabbare i framtiden än det har gjort tidigare, och utvecklingen av optisk kommunikation kommer att ställas inför tuffa utmaningar.

För att ytterligare höja kapaciteten gör man de optiska pulserna kortare och kortare. För att de fortfarande skall kunna innehålla ett tillräckligt stort antal fotoner för att kunna detekteras måste toppeffekten ökas i motsvarande grad (energin bevaras!). Man har funnit att man med högintensiva pulser med en viss form, s.k. solitoner kan få pulserna att bevara sin egen form vid utbredning och därmed motverka pulsbreddning via dispersion. Det sker genom s.k. icke-linjära effekter som ändrar brytningsindex för fibern momentant under pulsens utbredning och därmed kompenserar dispersionsbreddningen. Med solitoner kan man få överföringskapaciteter på tiotals GB/s över långa sträckor (1000-tals km) i varje kanal.

### ***Fiber till hemmet***

I utvecklingen av bredbandstjänster så är den ultimata lösningen att man drar en optisk fiber till hemmet och därmed tillhandahåller maximal bandbredd till var och en. I ett första skede kommer det att bli en fiber till hyreshuset eller en fiber till kvarteret. Därifrån kommer sen informationen att distribueras över andra medier som koaxialkabel, plastfiber eller via radiokommunikation.

