

**UNIVERSITATEA POLITEHNICA BUCURESTI**  
**FACULTATEA ELECTRONICA, TELECOMUNICATII SI TEHNOLOGIA INFORMATIEI**

**Comunicarea prin  
fibră optică**  
**REȚELE DE  
CALCULATOARE**

**Conducător științific:**  
Stefan STĂNCESCU

**Studenți:**  
Claudiu COLESNICENCU  
Valentin VIȘAN  
Marian POPA

*2013*

**Fibra optică** este o **fibră de sticlă** sau **plastic** care transmite informații folosind lumina de-a lungul său.

Fibrele optice sunt folosite pe scară largă în domeniul telecomunicațiilor, unde permit transmisii pe distanțe mai mari și la **lărgimi de bandă** mai mari decât alte medii de comunicație. Fibrele sunt utilizate în locul cablurilor de metal deoarece semnalul este transmis cu **pierderi** mai mici, și deoarece sunt imune la **interferențe electromagnetice**. Fibrele optice sunt utilizate și pentru iluminat și transportă imagine, permițând astfel vizualizarea în zone înguste. Unele fibre optice proiectate special sunt utilizate în diverse alte aplicații, inclusiv **senzori** și laseri.

Lumina este dirijată prin miezul fibrei optice cu ajutorul **reflexiei interne totale**. Aceasta face fibra să se comporte ca **ghid de undă**.

Fibrele care suportă mai multe căi de propagare sau moduri transversale se numesc **fibre multimodale** (MMF), iar cele ce suportă un singur mod sunt **fibre monomodale** (SMF). Fibrele multimodale au în general un diametru mai mare al miezului și sunt utilizate în comunicații pe distanțe mai scurte și în aplicații în care trebuie transferată multă putere. Fibrele monomodale se utilizează pentru comunicații pe distanțe de peste 550 m.

Conectarea fibrelor optice una de alta este mai complexă decât cea a cablurilor electrice. Capetele fibrei trebuie să fie atent tăiate, și apoi unite fie mecanic fie prin sudare cu **arc electric**. Se utilizează conectori speciali pentru conexiuni ce pot fi înlăturate.

**Fibrele optice** sunt cilindri lungi și flexibili cu diametru de 10-100 $\mu$ m, prin care razele luminoase se propagă prin reflexii interne totale multiple pe suprafața laterală a fibrei; există și fibre optice cu gradient, caracterizate de faptul că indicele de refracție este maxim în centrul fibrei, scade treptat spre periferia ei astfel încât reflexia totală a luminii este mai complicată decât în cazul fibrelor optice simple.

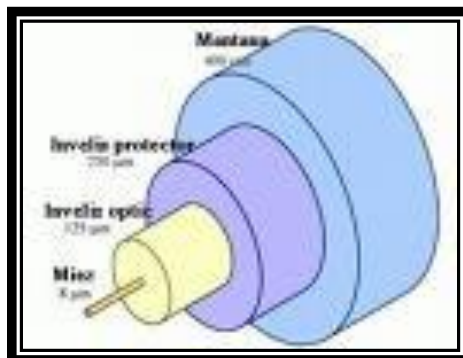
Un cablu cu fibră optică, prezentat în Figura 3, conține una sau mai multe fibre optice acoperite de o teacă sau cămașă.



Sunt aranjate în snopuri numite *cabluri optice* și sunt folosite pentru a transmite semnale de lumină pentru distanțe lungi.

Părți componente (fig. 24):

- miez (engleză *core*) - centrul fibrei prin care circulă lumina;
- înveliș optic (engleză *cladding*) - material optic care învelește miezul și care reflectă total lumina;
- înveliș protector (engleză *coating*) - înveliș de plastic care protejează fibra de zgârieturi și umezeală.



Sute sau mii de aceste fibre optice sunt aranjate în snopuri în cablu optic. Snopurile sunt protejate de învelișul extern al cablului numit îmbrăcăminte.

Propagarea radiației luminoase prin fibra optică poate fi analizată din punctul de vedere al opticii geometrice atunci când diametrul miezului fibrei optice este mare comparativ cu lungimea de undă a radiației luminoase (efectele de difracție se neglijează). Dacă diametrul miezului fibrei optice este de același ordin de mărime cu lungimea de undă a radiației luminoase, analiza trebuie făcută în cadrul opticii ondulatorii. În limbajul opticii geometrice, radiația luminoasă incidentă la limita de separare dintre **miezul fibrei** (cu indicele de refracție  $n_1$ ) și **învelișul protector** (cu indicele de refracție  $n_2$ ,  $n_1 > n_2$ ) va fi reflectată total și deci se va propaga fără pierderi de-a lungul fibrei optice, dacă unghiul de incidență  $\theta$  este mai mare sau egal cu unghiul limită  $l$ , unde unghiul limită este dat de relația:

$$\sin l = n_2/n_1$$

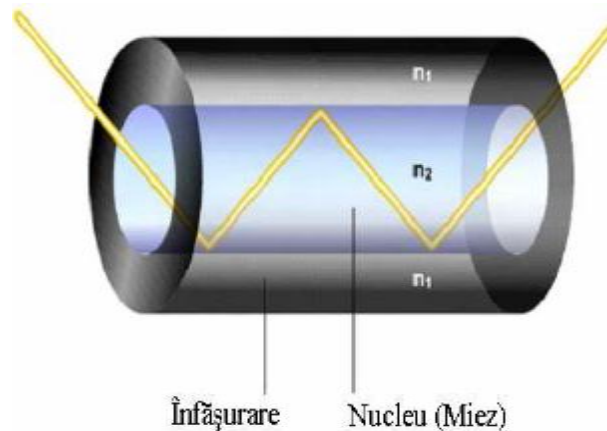


Fig. 25

Datorită faptului că este confecționat din sticlă, cablul cu fibră optică nu este afectat de interferențele electromagnetice sau interferențele cu frecvențele radio. Toate semnalele sunt convertite în impulsuri de lumină pentru a intra în cablu, și convertite înapoi în semnale electrice când părăsesc cablul. Aceasta înseamnă că un cablu cu fibră optică poate transmite semnale care sunt mai clare, ajung mai departe și au o lățime de bandă mai mare decât cablurile de cupru sau alte metale.

Să presupunem că vrei să aprinzi o lanternă într-un hol lung și drept. Pur și simplu îndreaptă lanterna spre hol- lumina circulă în linii drepte, deci nu e nici o problemă. Dar dacă holul are o curbă? Poți să pui o oglindă în colț ca să reflecte lumina. Dar dacă holul ar avea multe curbe? Ai putea să îmbraci pereții în oglinzi și să îndrepti lumina astfel încât să ricoșeze dintr-un perete în altul pe hol. Aceasta este exact ce se întâmplă într-o fibră optică.

Cablurile cu fibră optică pot atinge distanțe de mai multe mile sau kilometri înainte de a fi nevoie ca semnalul să fie regenerat. Totuși cablul cu fibră optică are un preț mai mare decât cablul de cupru și conectorii sunt de asemenea mai costisitori și mai greu de instalat. Conectorii pentru fibra optică sunt **SC, ST și LC(fig. 26)**. Aceste trei tipuri de conectori pentru fibra optică sunt half-duplex, ceea ce permite datelor să circule într-o singură direcție. Astfel, pentru comunicație este nevoie de două cabluri.

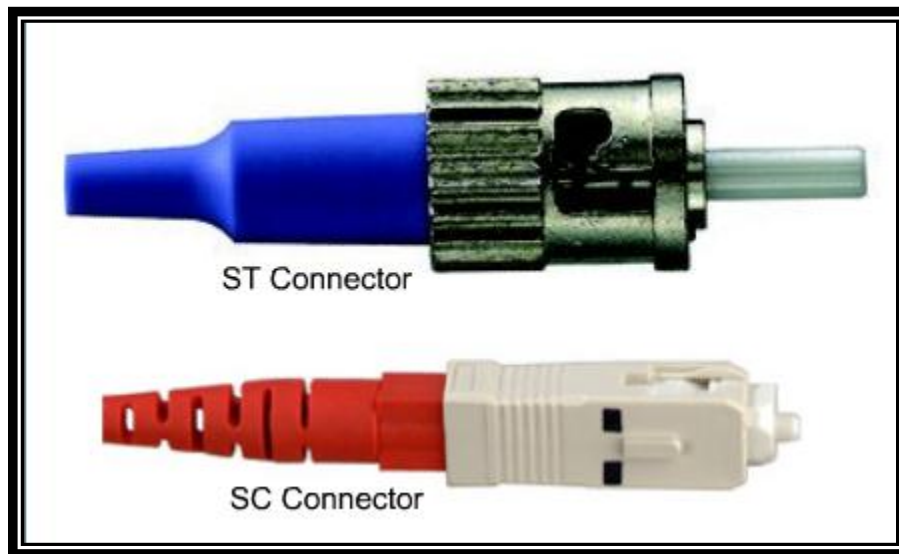


Fig. 26

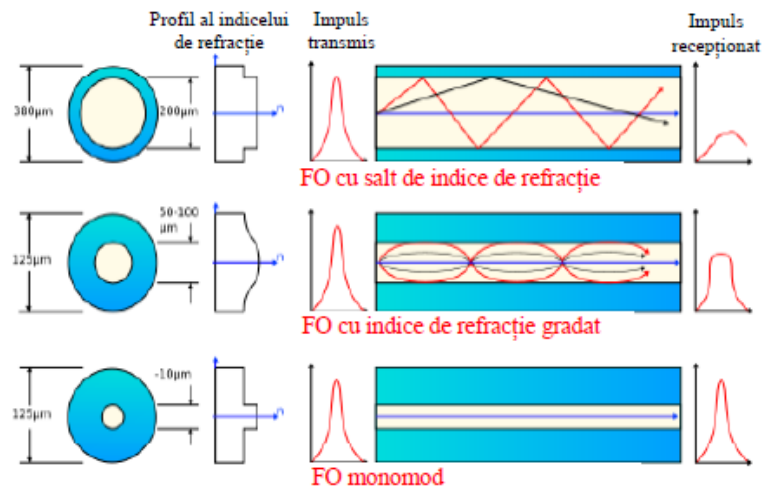
Există două tipuri de cabluri cu fibră optică (fig. 27):

- **Multimode** – Cablul are un miez mai gros decât cablul single-mode. Este mai ușor de fabricat, poate folosi surse de lumină mai simple (LED-uri) și funcționează bine pe distanțe de câțiva kilometri sau mai puțin. Fibrele optice multi-mode au miezul de 62.5 microni în diametru și transmit lumina în infraroșu de la LED-uri (lungimea de undă de la 850nm la 1300nm).

- **Single-mode** – Cablul are un miez foarte subțire. Este mai greu de fabricat, folosește laser pentru semnalizare și poate transmite semnale la distanțe de zeci de kilometri cu ușurință. Au miezul de 9 micrometri în diametru și transmit lumina de la laser în infraroșu (lungimea de undă este de la 1300nm până la 1550nm).

### Tipuri de fibre optice:

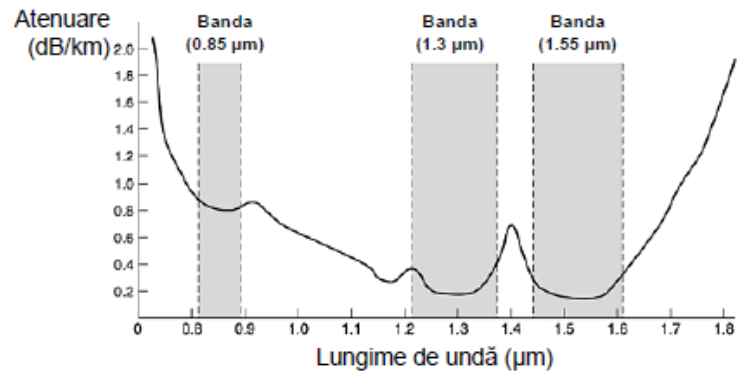
- FO multimod
  - Cu salt de indice de refracție
  - Cu indice de refracție gradat
- FO monomod



### Parametrii tipurilor de FO

Tipul fibrei optice	Diametrul miezului (μm)	Diametrul învelișului optic (μm)	Atenuarea maximă (dB/km)			Lărgimea de bandă (MHz/km)
			850nm	1300nm	1500nm	
monomod	5.0	85 sau 125	2.3			5000 @ 850nm
	8.3	125		0.5	0.25	
Multimod, indice gradat	50	125	2.4	0.6	0.5	600 @ 850nm 1500 @ 1300nm
	62.5	125	3.0	0.7	0.3	600 @ 850nm 1500 @ 1300nm
	100	140	3.5	1.5	0.9	600 @ 850nm 1500 @ 1300nm
Multimod, salt de indice	200 sau 300	380 sau 440	6.0			6

## Domeniul de frecvențe utilizat de FO



Fereastra de telecom	Valoarea $\lambda$ (în vid) [nm]	Etichete benzii	Tipul FO	Aplicatie
1	820-900		multimod	LAN
2	1260-1360	O (original)	monomod	diverse
	1360-1460	E (extended)	monomod	diverse
3	1460-1530	S (short wavelengths)	monomod	diverse
	1530-1565	C (conventional)	monomod	WDM
	1565-1625	L (long wavelengths)	monomod	WDM
	1625-1675	U (ultralong wavelengths)	monomod	WDM

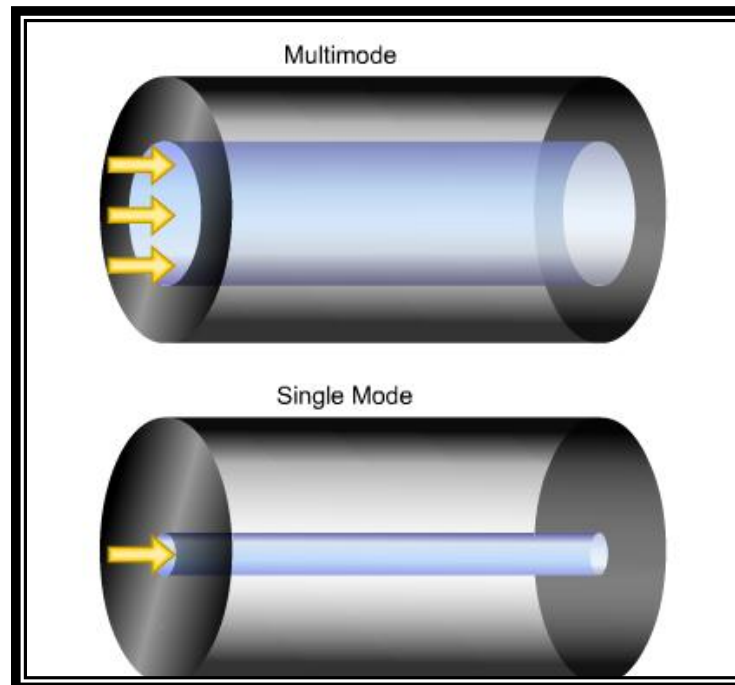


Fig. 27

Lumina într-un cablu cu fibre optice călătorește prin miez (holul) ricoșând constant de înveliș (pereții cu oglinzi), un principiu numit reflecție internă totală.

Pentru că învelișul nu absorbe nici un pic de lumină din miez, unda de lumină poate călători distanțe mari. Oricum, câteva din semnalele luminoase se degradează în fibră, în principal din cauza impurităților din sticlă. Cât de mult se deteriorează semnalul depinde de puritatea sticlei și de lungimea de undă a luminii transmise. Cele mai bune fibre optice nu deteriorează semnalul, mai puțin de 10%/km la 1550nm.

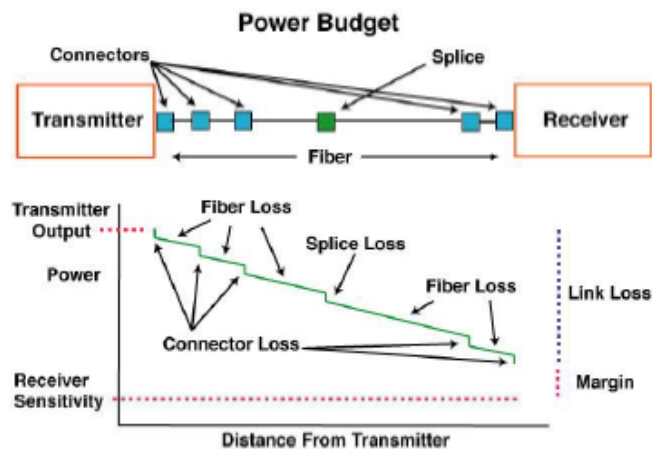
Pentru a înțelege cum sunt folosite fibrele optice în sistemele de comunicații să ne uităm la un exemplu dintr-un film din Al II-lea Război Mondial, unde 2 vapoare într-o flotă trebuie să comunice unul cu altul fără semnale radio sau pe mări agitate. Căpitanul unei nave trimite un mesaj unui marinar pe punte. Marinarul traduce mesajul în cod MORSE (puncte și linii) și folosește semnal luminos (o lampă puternică) ca să trimită mesajul celeilalte nave. Marinarul de pe cealaltă navă vede codul MORSE, îl decodează în engleză, și trimite mesajul sus la căpitan. Acum, imaginați-vă făcând asta când vasele sunt fiecare în celălalt capăt al oceanului separate de mii de mile și ai un sistem de comunicații prin fibre optice instalat între cele două nave.

## Fenomene specifice FO

- **Atenuarea [dB/km]** – scăderea intensității optice cu distanța

Exemplu: Lungimea maximă pentru FO monomod, cu atenuare=0,25dB/km, putere emisie +1dBm, prag detecție= -27dBm, pierderile de cuplaj=0.7dB, pierderile datorate curbării fibrei sunt 2dB, rezerva de receptie=3dB.

Bugetul puterii:  $P_{rec}|_{dB} = P_{em}|_{dB} - (aten + margine) \Rightarrow d = \frac{(1 - (-27) - 2 \cdot 0,7 - 2 - 3)dB}{0,25 \text{ dB/km}} = 86,4km$





- Dispersia

- Intermodală [ps/km] – lățirea impulsului optic recepționat (față de cel emis) datorită propagării pe mai multe căi;

$$(\Delta t)_{im} = \frac{t_M - t_m}{L} = \frac{n_1}{c_0} \left( \frac{n_1}{n_2} - 1 \right) = \frac{n_1^2}{c_0 n_2} \Delta \cong \frac{(AN)^2}{2c_0 n_1} = \frac{n_1 \Delta}{c_0} \quad ; \quad \Delta = \frac{n_1 - n_2}{n_1}$$

- Cromatică [ps/λ·km] - lățirea impulsului recepționat  $D(\lambda)$  datorită variației indicelui de refracție cu  $\lambda$ .

**Exp.** Pt o FO multimod cu  $\Delta=0,95\%$ ,  $n_1 = 1,45$  și  $L = 1\text{km}$  rezultă  $(\Delta t)_{im} = \frac{n_1 \Delta}{c_0} = 46\text{ns/km}$   
 Pentru o lățire cu max 50% a impulsului la recepție:  $0,5 \cdot T_b = (\Delta t)_{im} \cdot L = 46\text{ns}$

Si debitul binar maxim este:  $D_b = 1/T_b = 10.87\text{Mbps}$

**Exp.** O FO monomod cu  $D(\lambda) = 17\text{ps/nm}\cdot\text{km}$ , de lungime  $L=20\text{km}$ , cu ILD cu  $\Delta\lambda=2\text{nm}$  se poate utiliza pentru STM4 (622Mbps) și pt STM16 (2,5Gbps)?  
 Dispersia cromatică,  $\Delta T_{cr} = D(\lambda) \cdot \Delta\lambda \cdot L = 680\text{ps} \Rightarrow 200\text{ps} < \Delta T_{cr} < 0.8\text{ns}$

## Canale de transmisiune

Surse de radiație utilizate în FO

-modulație a intensității optice: ASK, OOK;

- LED (light-emitting diodes)

- radiație luminoasă necoerentă prin *electroluminiscență*;

- lărgimea spectrală a benzii 30 - 60nm;

- pentru FO multimod;

- putere de emisie tipică de -15dBm

de cuplaj mari (cca 97%);

- bandă de modulație relativ mică, 50MHz

- Dioda Laser - ILD (Injection Laser Diode)

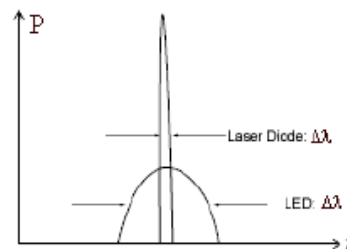
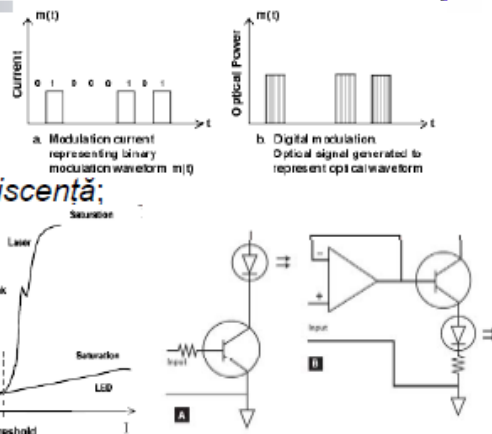
- lărgimea spectrală a benzii < 2 - 4nm;

- utilizată pt FO monomod;

- putere de emisie relativ mare, +5dBm;

- banda de modulație minimă de 1GHz;

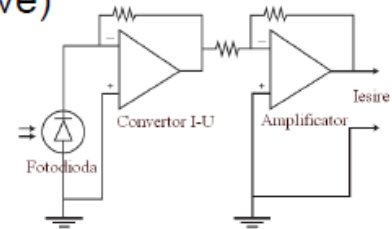
- scumpe și de viață mai mică;



## Receptori de radiație utilizate în FO (fotodetectori)

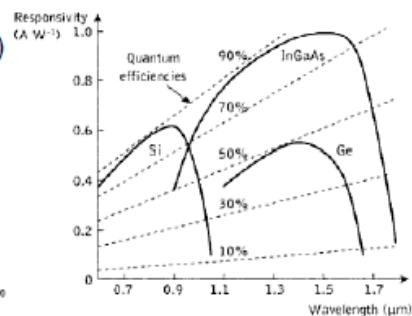
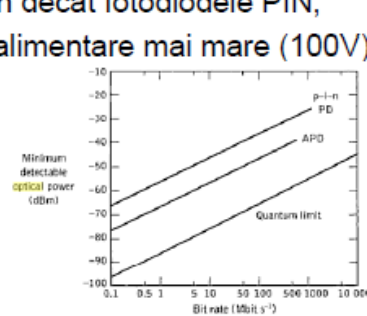
- Dioda PIN (Positive-Intrinsec-Negative)

- nu au câștig de detecție;
- maxim de sensibilit: 800-900 nm, pt Si;
- durata de viață mai lungă;



- Dioda foto cu avalanșă (AFD)

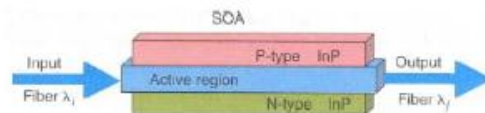
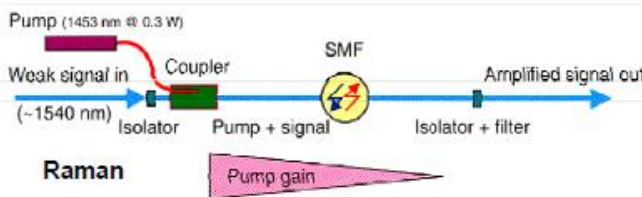
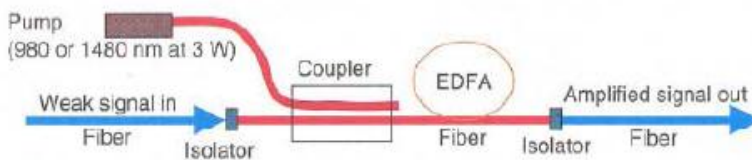
- au câștig de detecție de 15-20dB;
- utilizabile în toate ferestrele optice de emisie (850nm, 1.3μm, 1.55μm);
- timp de răspuns mai bun decât fotodiodele PIN;
- necesită o tensiune de alimentare mai mare (100V)



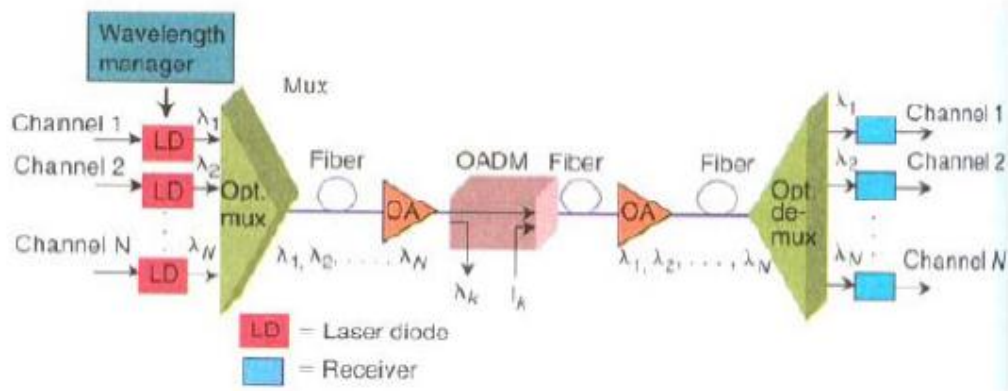
## Tehnologii noi în FO

- Amplificatoare optice (fotonice)

- EDFA (erbium doped optical amplifiers – 1550nm)
- SOA (semiconductor optical laser type amplifiers) – 1550nm;
- PDFA (praseodymium-doped fiber amplifiers -1300nm);
- Raman (pentru FO nedopată )



- multiplexare cu diviziune în lungime de undă (WDM);



## □ Caracteristici generale ale FO

- Capacitate foarte mare (cea mai mare lărgime de bandă 100-1000GHz);
- Dimensiuni și masă reduse (diametrul aprox. 1 cm față de 10-20 cm pentru cablurile electrice - coaxiale);
- se utilizează în cabluri cu mai multe perechi;
- distanță mare între repetoare (zeci km);
- imunitate la interferențele uem (EMI);
- nu radiază câmp electromagnetic;
- este vulnerabilă la distrugerile fizice;

## Conectori pentru FO

- Conector ST – FO multimod;
- Conector SC – comun. datacom, telecom;
- Conector FC – FO monomod, datacom, telecom, echipamente de măsură;
- Conector FDDI – pentru rețele FDDI
- Conector LC – panel cu mulți conectori
- Conector MT-RJ – conectare duplex (pereche)



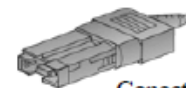
Conector FC



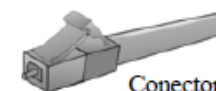
Conector ST



Conector SC



Conector FDDI



Conector LC



Conector MT-RJ

## □ Aplicații ale FO

- Joncțiuni long-haul (lungime medie 1500km, Capacitate mare, tipic 20000-60000 canale vocale);
- Joncțiuni metropolitane
  - Interconectează centrele de comutație dintr-o arie metropolitană
  - Lungimea medie 20km;
  - Capacitate de 100.000 canale vocale;
- Joncțiuni rurale (lungimi 40-150km, capacitate 500 canale vocale);
- LAN-uri de 100Mbps și 1Gbps;
- Bucle de abonat pentru servicii integrate de banda largă (telefonie, internet, TV)

## Parametrii comparativi a mediilor pentru comunicații ghidate

	<b>Domeniul frecvenței</b>	<b>Atenuarea tipică</b>	<b>Întârzierea tipică</b>	<b>Distanța între repet.</b>
Pereche torsadate (încărcată)	0 - 3.5 kHz	0.2 dB/km @ 1 kHz	50 $\mu$ s/km	2 km
Pereche torsadată (mai multe în cablu)	0 - 1 MHz	0.7 dB/km @ 1 kHz	5 $\mu$ s/km	2 km
Cablu coaxial	0 - 500 MHz	7 dB/km @ 10 MHz	4 $\mu$ s/km	1 - 9 km
Fibră optică	186 - 370 THz	0.2 to 0.5 dB/km	5 $\mu$ s/km	40 km

Un sistem de transmisie prin fibră optică este compus din:

- transmițător- produce și codează semnalele luminoase;
- fibra optică- conduce semnalele luminoase (pe distanțe lungi);
- regeneratorul optic- poate fi necesar pentru amplificarea semnalului;
- receptorul optic- primește și decodează semnalele luminoase

### **Avantajele fibrelor optice**

- rata de transfer foarte mare în raport cu celelalte tipuri de conexiune;
- mai multă siguranță - fibra optică este insensibilă la perturbații electromagnetice și este inaccesibilă scanărilor ilegale pentru interceptarea transmisiunilor;
- posibilitatea de instalare rapidă și simplă, în orice condiții, datorită greutateii reduse a cablului optic și existenței mai multor tipuri de cabluri.

## **Aplicațiile fibrelor și cablurilor optice:**

Ele sunt foarte numeroase și reprezintă mari posibilități de dezvoltare.

### **a) *Aplicațiile în rețele naționale și internaționale de comunicații.***

Fibrele optice sunt complet adaptate la transmiterea de semnale de la un punct la celălalt între centralele de comunicație. Ele permit modularea analogică din moment ce răspunsul lor este liniar pentru putere. Ele permit, mult mai bine, modularea numerică cu un impuls de lumină reprezentând simbolul "1" și cu un nivel de obscuritate reprezentând simbolul "0", de ex.

Debitele foarte ridicate permit multiplicarea cu un factor cuprins între 10 și 50 a capacității unei rețele instalate, înlocuindu-se cablurile metalice cu cele optice. Înlocuirea permite de asemenea divizarea cu un factor apropiat de nr. 20. Cablurile submarine metalice concurează deja cu sateliții de comunicații. Cablurile submarine optice pe principalele artere de telecomunicații intercontinentale, vor deveni complet indispensabile de sateliți și invers.

### **b) *Aplicațiile în rețelele locale***

În afară de rețelele mari, fibrele optice permit instalarea eficace de rețele locale într-un mediu perturbat de zgomotele electromagnetice. Astfel, în aglomerarea urbană, printr-o rețea de fibre optice comutabile la distanță, poliția rutieră poate supraveghea pe video marile intersecții, podurile etc.

Fibrele cu pierderi mici (mai mici de 1 dB/Km) sunt folosite pentru linii de comunicație pe distanțe până la câțiva kilometri. Asemenea linii pot constitui, de exemplu o legătură telefonică sigură în limitele unui oraș. Crearea unor astfel de linii de comunicație este de perspectivă, deoarece un mănunchi de fibre optice este cu mult mai subțire decât un cablu telefonic obișnuit și, în același timp, permite să se efectueze mult mai multe convorbiri telefonice decât în prezent. Diverse și foarte importante sunt aplicațiile liniilor de comunicație prin fibre optice relativ scurte. Vom da câteva exemple. Se știe că unul dintre "locurile înguste" ale calculatoarelor electronice actuale îl reprezintă sistemele de comunicare, destinate introducerii și extragerii informației, realizării comunicării dintre procesor și memorie, precum și comunicării între mai multe calculatoare. Aceste sisteme de comunicare au o

schemă complexă făcută dintr-un mare număr de conductoare, în care se induc curenți electrici de zgomet, se crează paraziți ce nu pot fi înlăturați. Aici apare o deficiență caracteristică tuturor sistemelor de comunicație electrice: imposibilitatea principală a deculpării ideale între primire și recepție (intrare și ieșire), sensibilitate la toate perturbațiile exterioare. De aceea, folosirea unui sistem de comunicare bazat pe optica fibrelor, în calculatoarele electronice moderne, are bune perspective și este de mare importanță pentru organizarea legăturii dintre calculatoare rapide.

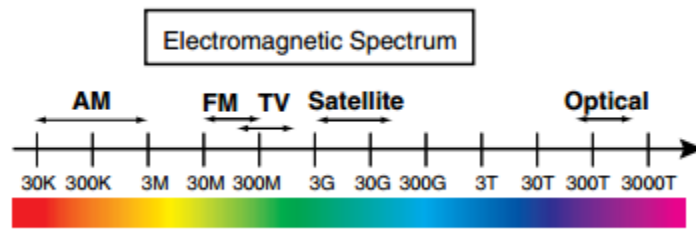
Sistemele actuale de comandă a avioanelor sunt saturate de conductoare. Înlocuirea conductoarelor cu fibre optice permite nu numai creșterea calității unui sistem de comandă, ci și reducerea masei totale a avionului.

Prin liniile de comunicație cu fibre optice se pot transmite nemijlocit imagini în mișcare fără a fi nevoie să se aranjeze cadrele după succesiunea semnalelor. În acest scop se formează cabluri din fibre optice. Principiul transmiterii imaginilor prin cabluri de fibre optice este destul de simplu. Se poate spune că fasciculele luminoase, reflectate sau emise de un element al imaginii transmise, parcurg întreaga lungime a cablului și la ieșire reconstituie respectivul element din imagine. Păstrând la ieșirea cablului o aceeași distribuție reciprocă a fibrelor ca și la intrare, se poate reconstitui imaginea existentă la înregistrare. În particular, se pot lua imagini de obiecte aflate în locuri greu accesibile. Astfel, medicii pot privi în interiorul organelor interne ale corpului uman (esofag, stomac, intestine).

**Tab. 4 - Standarde în materie de cabluri:**

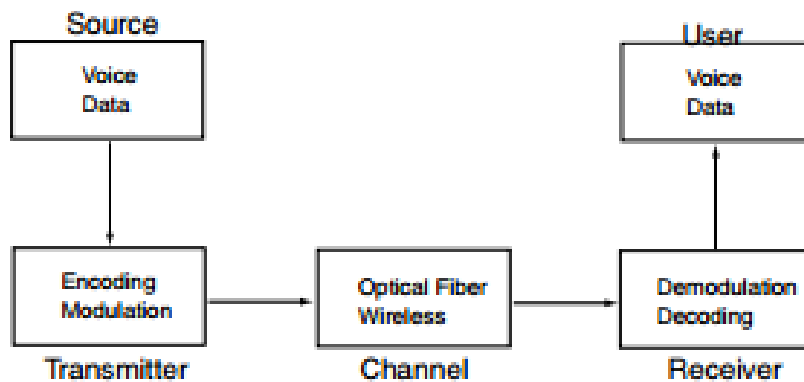
Standard	Mediu	Viteză	Lungime	Topologie
10Base2	coaxial	10Mbps	185 m	magistrală
10Base5	coaxial	10Mbps	500 m	magistrală
10BaseT	torsadat	10Mbps	100 m	stea
10BaseFL	fibră m.	10Mbps	400 m	stea
100BaseTX	torsadat	100Mbps	100 m	stea
100BaseFX	fibră m.	100Mbps	2000 m	stea
1000BaseT	torsadat	1000Mbps	100 m	stea

## Procesarea semnalelor in Fibre Optice



## Importanta spectrulu magnetic in comunicatii

### SIGNAL PROCESSING IN OPTICAL FIBERS



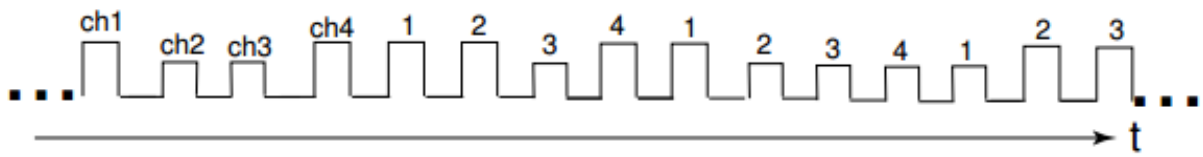
Orice semnal electromagnetici este caracterizat de amplitudine si faza.

$$E(\mathbf{r}, t) = A(\mathbf{r}, t) \exp(\phi(\mathbf{r}, t))$$

Ele fiind singurele proprietati pe care le putem modifica, pentru a trimite informatie sub forma unui semnal.

Primele sisteme ce foloseau fibre optice au aparut in 1970 si foloseau multiplexare in timp (TDM).



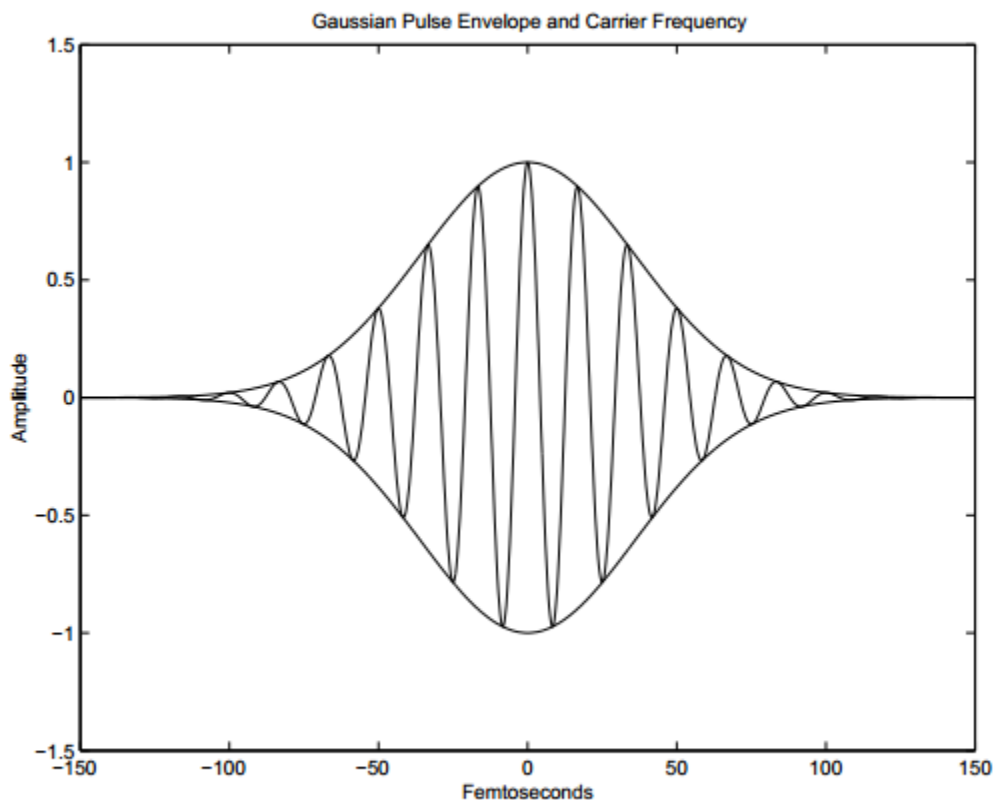


**Figure 3.** Time-division multiplexing.

Procesarea semnalelor in fibrele optice , a fost separat in doua arii separate : propagarea pulsurilor si procesarea semnalelor.

Propagarea pulsurilor poate fi exprimata

$$\mathbf{E}(x, y, z, t) = \hat{\mathbf{x}}E_x(x, y, z, t) + \hat{\mathbf{y}}E_y(x, y, z, t) + \hat{\mathbf{z}}E_z(x, y, z, t),$$



**Figure 6.** Gaussian pulse with the carrier frequency illustrated. The optical equivalent pulse has a  $10^{15}$  times higher carrier frequency than shown here.

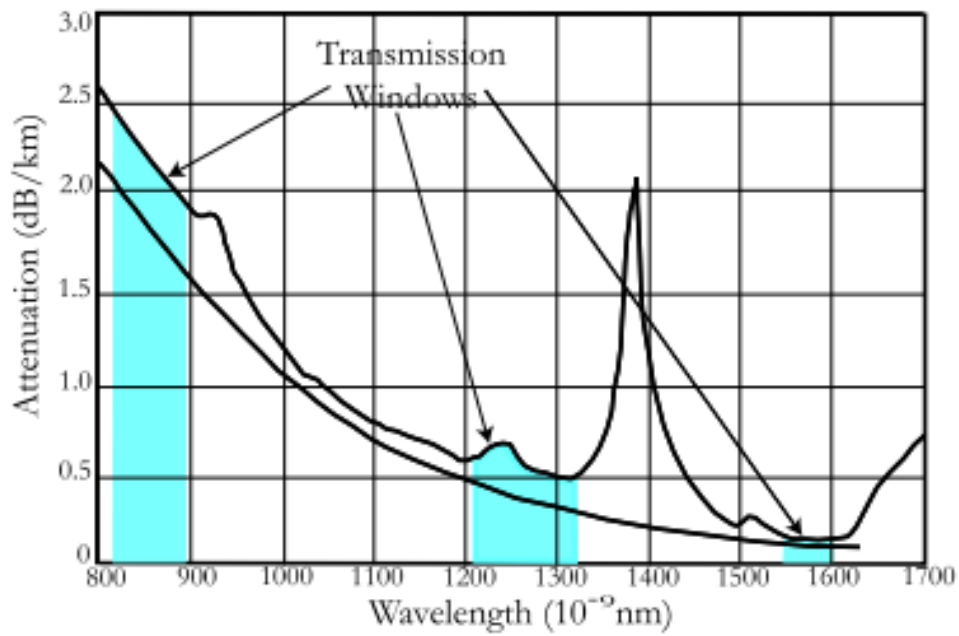


Figure 9. Absorption in optical fibers.

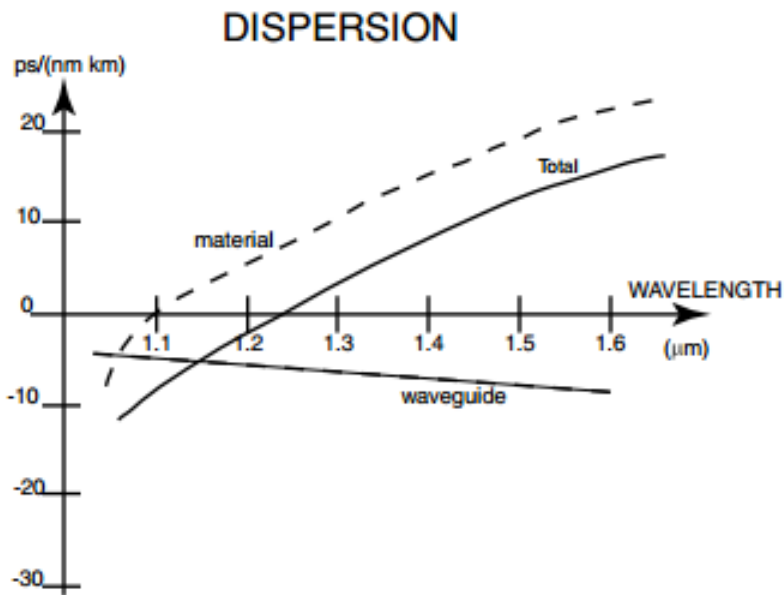


Figure 10. Dispersion in optical fibers.

## ***Biblografie***

- Tanenbaum , Andrew S - *Retele De Calculatoare 4th Edition*
- Paun, Adrian, *Curs Sistem de Comunicatii* , 2012
- Gambling, W. A., "The Rise and Rise of Optical Fibers", *IEEE Journal on Selected Topics in Quantum Electronics*, Vol. 6, No. 6, pp. 1084–1093, Nov./Dec. 2000.
- Hecht, Jeff, *Understanding Fiber Optics*, 4th ed., Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ, USA 2002 (ISBN 0-13-027828-9).
- Mirabito, Michael M.A; and Morgenstern, Barbara L., *The New Communications Technologies: Applications, Policy, and Impact*, 5th. Edition. Focal Press, 2004. (ISBN 0-240-80586-0).
- Nagel S. R., MacChesney J. B., Walker K. L., "An Overview of the Modified Chemical Vapor Deposition (MCVD) Process and Performance", *IEEE Journal of Quantum Electronics*, Vol. QE-18, No. 4, p. 459, April 1982.
- Ramaswami, R., Sivarajan, K. N., *Optical Networks: A Practical Perspective*, Morgan Kaufmann Publishers, San Francisco, 1998 (ISBN 1-55860-445-6).
- S. Haykin, *Communication systems*, 4th Edition, Wiley, New York, 2001.
- P. Bayvel, "Future high-capacity optical telecommunication networks", *Phil. Trans.R. Soc. Lond. ser. A* 358 (2000), 303–329.