

DIMENSIONAREA UNEI LEGĂTURI PE FIBRĂ OPTICĂ

Introducere

În acest capitol vom descrie cum pot fi asamblate diverse componente într-un sistem pe fibră optică. Vom prezenta mai întâi diverse topologii de rețele și apoi vom arăta cum se face dimensionarea unei legături pe fibră optică.

Mediul de transmisie

Una din cele mai importante decizii de luat în cazul planificării instalării unui nou sistem (sau înnoirea/extinderea acestuia) este alegerea mediului de transmisie. Există patru variate clasice:

- Cupru
- Fibră optică
- Microunde (releu terestru)
- Microunde (releu via satelit)

Decizia se va baza, probabil, pe următoarele considerente:

- preț: când un număr de alternative oferă aceleași performanțe tehnice, se va alege varianta cu cel mai bun raport preț/performanță
- potențialități tehnice viitoare: un mediu nou cum sunt fibrele optice oferă noi posibilități comparativ cu mediile mai vechi

Avantajele unui sistem bazat pe fibră optică, comparativ cu un sistem bazat pe cupru, sunt:

- pierderi foarte mici
- bandă foarte largă (aproape nelimitată pentru o fibră monomod)
- transmisia nu este afectată de interferențele externe, cum ar fi EMI sau EMP
- un sistem pe fibră optică nu generează interferențe
- un sistem pe fibră optică este foarte dificil de interceptat

Pe baza acestor avantaje, rețelele optice se instalează nu numai pentru comunicațiile la mare distanță, ci și pentru:

- rețele locale publice, rețele de acces
- rețele metropolitane
- rețele de date mici și medii
- rețele de televiziune prin cablu
- rețele de securitate (rețele bancare sau militare)
- rețele în medii puternic perturbate
- rețele de alarmare (senzori optici, etc.)

Topologii de rețea

O rețea de informații leagă două sau mai multe unități fizice (stații radio de bază, calculatoare, terminale, etc.). Există trei categorii de transmisii, ca în figura &.1:

- simplex (transmisie doar într-o singură direcție)
- semi-duplex (transmisie în ambele direcții, dar nu simultan)
- duplex (transmisie simultană în ambele direcții)

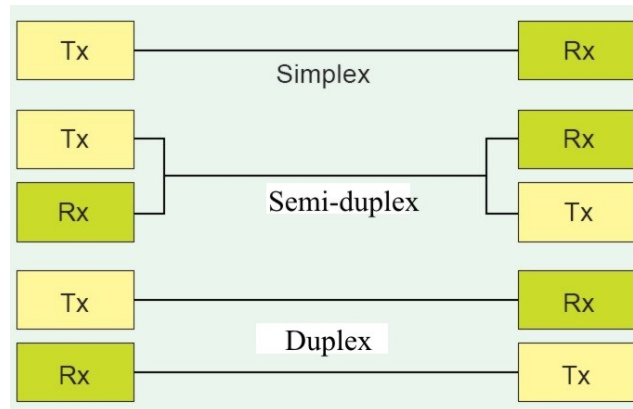


Fig. &.1. Trei metode de transmisie: simplex, semi-duplex și duplex

Construcția fizică a unei rețele este bazată pe diverse principii, ca în figura &.2:

- punct-la punct
- stea (simplă sau multiplă)
- arbore
- inel (simplu sau dublu)
- bus

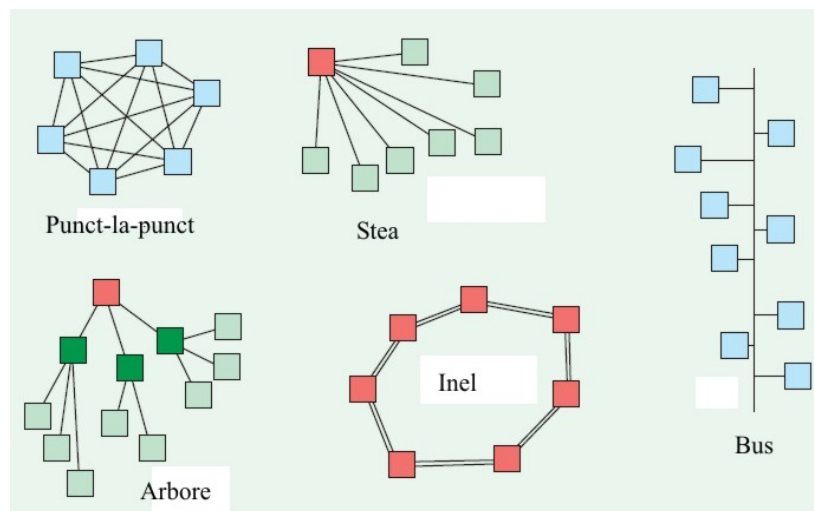


Fig. &.2. Diferite topologii de rețea

În figura &.3 este reprezentată o rețea de informații care folosește diferite topologii.

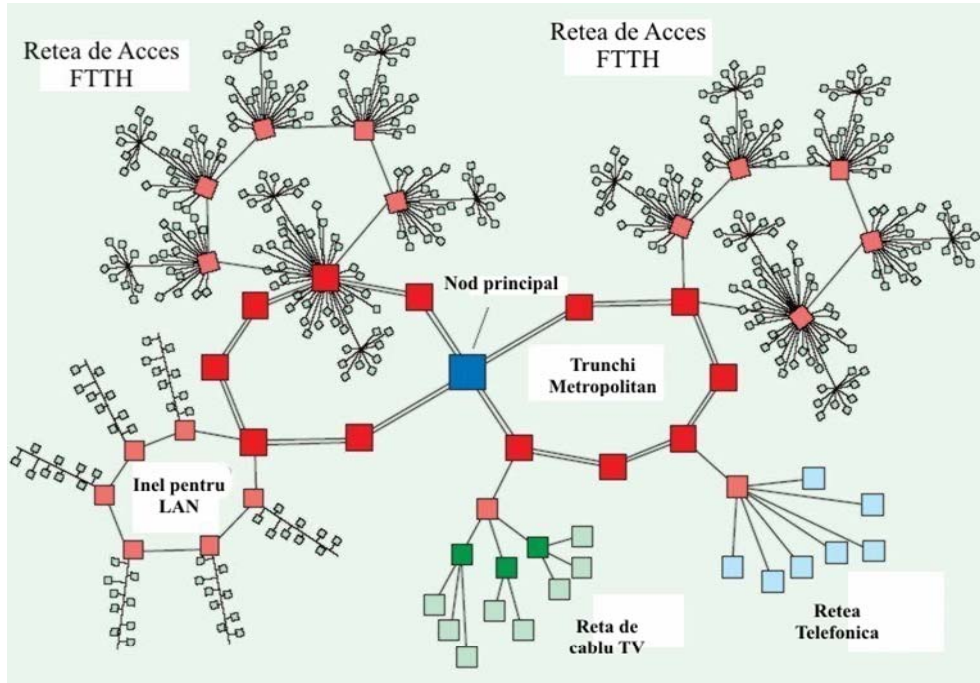


Fig. &.3. Rețea de comunicații ce folosește diferite topologii

Specificațiile unei rețele optice

În planificarea unei rețele optice, trebuie luate în considerare anumite condiții de bază: o anumită capacitate prescrisă de transmisiune (biți pe secundă), distanța de transmisiune (km) și necesarul de extindere al rețelei. În mod normal, aplicațiile utilizate într-o rețea au și o valoare maximă permisă pentru BER.

Pentru a satisface aceste cerințe de bază, trebuie evaluați alți parametri, cum ar fi:

- alegerea fibrei (multimod sau monomod, salt de indice sau indice gradat)
- lungimea de undă de funcționare a rețelei (850 nm, 1310 nm sau 1550 nm)
- tipul emițătorului (LED sau diodă LASER)
- puterea de ieșire a emițătorului (în fibră)
- tipul receptorului (fotodiodă PIN sau fotodiodă cu avalanșă)
- codul de transmisiune
- BER
- tipul interfeței (Token Ring, Ethernet, FDDI, etc.)
- numărul de splice-uri
- numărul de conectori
- aspecte de securitate
- aspecte de protecția mediului
- aspecte mecanice

Din motive evidente, trebuie depus un efort important în planificarea rețelei, înainte ca să înceapă orice activitate. Unul din factorii cei mai nesiguri este capacitatea sistemului de a suporta solicitările viitoare, cum ar fi extinderea fizică acompaniată de modificări în direcția creșterii capacității de transmisie. Poate fi un LAN pe fibră optică planificat să funcționeze pe 10 Mbit/sec și să fie upgradat la un FDDI pe 100 Mbit/sec? Se va amortiza o investiția mare în conectori, cablu și planificarea rețelei, dacă în câțiva ani este nevoie de upgrade-ul sistemului? U asemenea întrebări și încă cu multe altele de acest fel trebuie să ne luptăm înainte de a construi o rețea pe fibră optică. Există totuși câteva reguli simple, logice și raționale care trebuie urmate.

Planificarea unui sistem pe fibră optică

Într-o rețea pe fibră optică este nevoie doar de calculul bugetului de putere optică, atenuării, benzii și dispersiei. Acești factori determină dacă sistemul pe fibră optică va funcționa într-o anumită topologie, adică de la emițător la detector.

Emițătorul

Puterea optică medie care poate fi cuplată într-o fibră depinde de tipul emițătorului și de viteza de transmisie. În figura &.4 se prezintă viteza unui LED și a unui LASER.

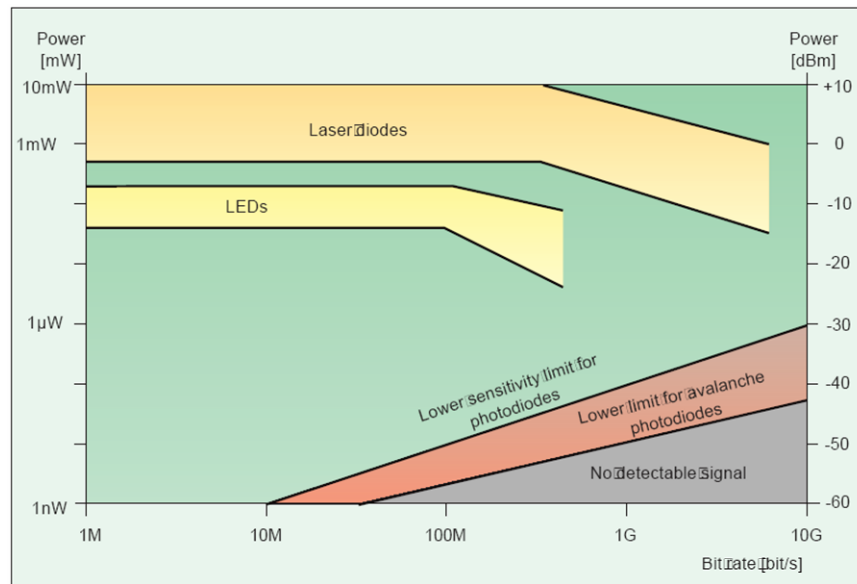


Fig. &.4 Limitele aproximative ale emițătoarelor și receptoarelor într-un sistem pe fibră optică (după firma ERICSON)

Curbele arată că, cu o diodă LASER se pot obține nivele de putere de câțiva mW, iar cu un LED se obține uzual 100 - 200 μ W. În ambele cazuri puterea emisă scade odată cu creșterea vitezei de transmisie. În general, puterea cuplată în fibră este cu 10 - 15 dB mai mică la LED decât la dioda LASER. Acesta este un factor foarte important atunci când performanțele sistemului sunt limitate de zgomotul detectorului.

Receptorul

Sensibilitatea unui receptor optic este determinată de combinația componentelor electronice care constituie capul de recepție. Puterea optică minimă detectabilă este în funcție de un anumit BER. De regulă valoarea puterii minime detectabile pentru o fotodiodă este dată în dBm, la o valoare a BER-ului de 10^{-9} .

Dimensionarea sistemului: Bugetul de puteri

Calculul bugetului de puteri într-un sistem bazat pe fibră optică este un mijloc simplu de a descrie pierderile din rețea. Bugetul de puteri este diferența dintre puterea de intrare în fibră și sensibilitatea receptorului. Dacă pierderile combinate din rețea sunt mai mici decât această valoare, atunci la receptor va ajunge suficientă lumină pentru a permite detecția. Pierderile în rețea sunt determinate de:

- atenuarea fibrei [dB/km]
- cuplajul luminii de la emițător în fibră [dB]
- tranziția de la un diametru de fibră la alta [dB]
- tranziția de la o apertură numerică la alta [dB]
- pierderile în conectoare [dB]
- pierderile în splice-uri [dB]
- ramificarea [dB]
- cuplajul între fibră și receptor [dB]

Toate sistemele pe fibră optică trebuie să aibă o margine a bugetului de puteri. Vom da în continuare două exemple pentru a înțelege calculul bugetului de puteri.

Calculul bugetului de puteri - Exemplul 1

O legătură pe fibră optică constă din următoarele:

- un emițător cu o putere cuplata în fibră $P_t = 125 \mu\text{W}$
- un receptor cu sensibilitatea $P_r = -33 \text{ dBm}$
- fibră, 3.5 km lungime, cu o atenuare $A_f = 3.2 \text{ dB/km}$
- un splice cu pierderi $A_S = 0.25 \text{ dB}$
- patru conectori, fiecare cu pierderi $A_C = 1 \text{ dB}$
- o margine de putere de $P_m = 5 \text{ dB}$

Bugetul de puteri: $P_t - P_r = -9.03 - (-33) = 23.97 \text{ dB}$

Atenuarea fibrei: $A_f = 3.5 \times 3.2 = 11.2 \text{ dB}$

Atenuarea conectorului: $A_C = 4 \times 1 = 4 \text{ dB}$

Atenuarea splice-urilor: $A_S = 1 \times 0.25 = 0.25 \text{ dB}$

Marginea de putere: $P_m = 5 \text{ dB}$

$$P_t - P_r > A_f + A_c + A_s + P_m$$

$$23.97 > 11.2 + 4 + 0.25 + 5$$

$$23.97 > 20.45$$

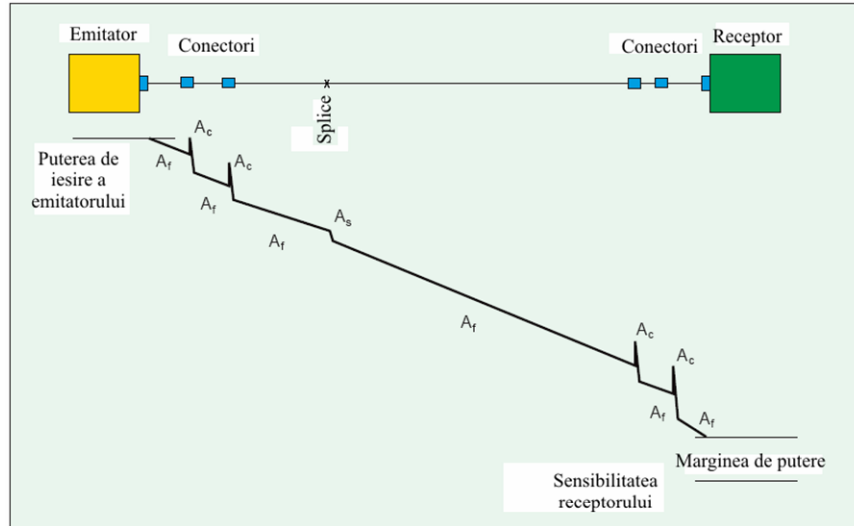


Fig. & 5. Exemplul 1: Componentele sistemului și curba OTDR

Sistemul are o margine de putere pentru a suporta și alte pierderi.

Concluzie: Instalarea va funcționa în raport cu puterea optică.

Exemplul 2

În acest exemplu, bugetul de puteri este calculat pentru o legătură pe fibră optică dintr-o rețea optică pe distanță mare. Rețeaua constă din cabluri de interior și exterior cu fibra monomod. În total se folosesc 8 cabluri cu lungimea de 6 km. Sunt cunoscute următoarele:

- emițătorul optic are o putere de 250 μ W, o apertură numerică $NA = 0.14$ și un diametru de 14 μ m .
- emițătorul este conectat la un "patch-cord" cu un diametru de 11 μ m, o apertură numerică $NA = 0.12$ și un conector cu pierderile 0.5 dB
- Patch-cordul este conectat direct la un cablu de exterior
- Cablul de exterior pentru secțiunile 1, 2, 4, 5, 6 și 8 are o atenuare de 0.22 dB/km, un diametru al miezului de 9.5 μ m și o apertură numerică $NA = 0.11$
- Cablul de exterior din secțiunile 3 și 7 are o atenuare de 0.35 dB/km, un diametru al miezului de 10.5 μ m și o apertura numerică $NA = 0.12$.
- Toate splice-urile cu pierderi mai mici de 0.15 dB
- Cuplajul la receptor este identic cu cuplajul de la emițător
- Receptorul are o sensibilitate de 200 nW, un diametru de 25 μ m și o apertură numerică $NA = 0.4$.

Sistemul este prezentat în figura &.6, în care este marcat fiecare punct în care sunt necesare calcule. Litera se referă la calculele ce urmează

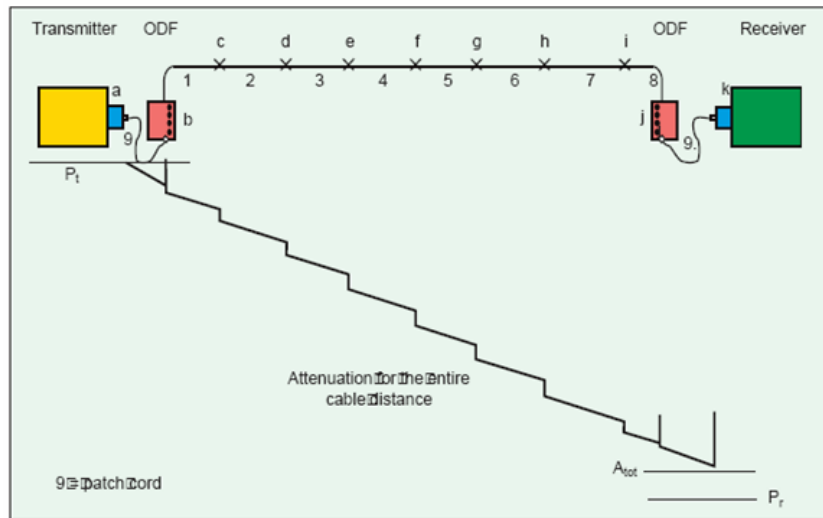


Fig.&.6. Exemplul 2: Fiecare punct unde sunt necesare calcule este marcat cu literă mică

Calculul

- Pierderile de cuplaj la emițător (a)

La emițător, pierderile vor avea loc datorită dezadaptărilor dintre aperturile numerice și diametrele fibrelor și datorită conectorului (0.5 dB/buc.).

Pierderile datorate diferenței de apertura numerica au loc doar atunci când apertura numerică a fibrei emițătoare este mai mare decit cea a fibrei receptoare. Puterea emisa se va pierde în teaca fibrei receptoare, ca în figura &.7.

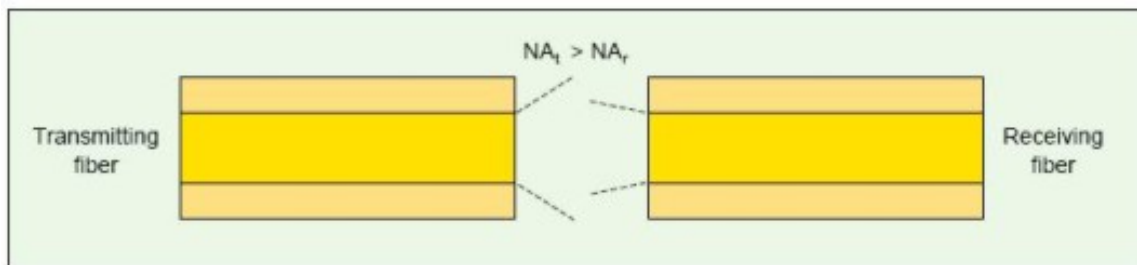


Fig. &.7. Pierderi când fibra emițătoare are un NA mai mare decit fibra receptoare
Relatia de calcul este dată de relatia:

$$\text{Atenuarea datorită diferenței de NA} = 10 \log \left(\frac{\text{NA}_r}{\text{NA}_t} \right)^2$$

Pierderile datorate diferenței de diametru au loc atunci când diametrul fibrei emițătoare, ϕ_t , este mai mare decât diametrul fibrei receptoare, ϕ_r , ca în figura &.8.

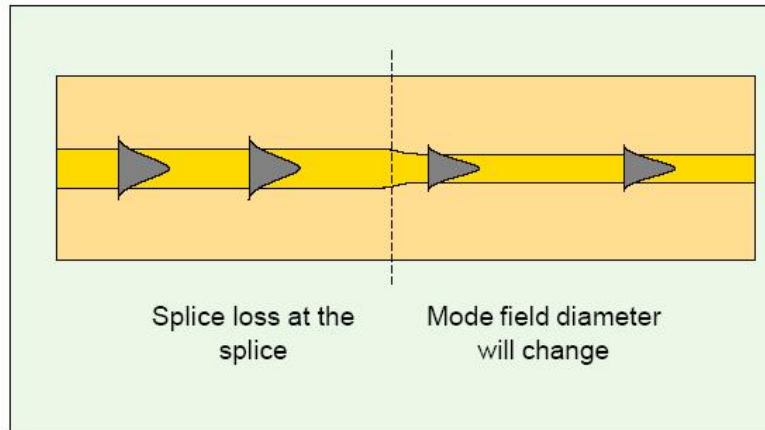


Fig. &.8. Fibre cu diametre diferite

Atenuarea se va calcula cu relația:

$$\text{Atenuarea}_\phi (\text{multi mod}) = -10 \log \left(\frac{\phi_r}{\phi_t} \right)^2 \quad (\&.2a)$$

$$\text{Atenuarea}_\phi (\text{single mod}) = -20 \log \left(\frac{2w_1 w_2}{w_1^2 + w_2^2} \right)^2 \quad (\&.2b)$$

unde w_1 și w_2 sunt diametrele modului pe cele două fibre.

Prin urmare, aplicînd relațiile (&.2), vom avea:

Pierderi NA	-1.4 dB	
Pierderi \emptyset	-2.1 dB	
Pierderi ale conectorului	-0.5 dB	
Atenuarea emițătorului (A_t)		4 dB

- **Boxa de la emițător (b)**

Aici este vorba de dezadaptările dintre fibre în ceea ce privește NA și diametrul precum și pierderile conectorului.

Pierderi NA	-0.8 dB	
Pierderi \emptyset	-1.3 dB	
Pierderile în conector	-1 dB	
Atenuarea boxei de la emisie (A_{box})		3.1 dB

- **Pierderile fibrei pentru întreaga distanță**

Avem:

6 secțiuni de fibră cu pierderi de 0.22 dB/km		
$6 \times 6 \times 0.22$	-7.9 dB	

2 secțiuni de fibră cu pierderile de 0.35 dB/km		
$2 \times 6 \times 0.22$	-4.2 dB	

Atenuarea fibrei (A_f)		12.1 dB
----------------------------	--	---------

- **Pierderile de putere în splice-urile prin fuziune**

Pe toată lungimea cablului avem 7 splice-uri prin fuziune		
7×0.15	-1.1 dB	

Pierderile în splice-uri (A_s)		1.1 dB
------------------------------------	--	--------

La c, f și g nu ave multe pierderi.

- **Pierderi cauzate de splice-urile cablurilor din secțiunile 3 și 7**

Splice-urile cablurilor din secțiunile 3 și 7 determină pierderi de putere datorită neadaptărilor dintre NA și diametre, doar când lumina părăsește secțiunea 3 și 7 (în punctele e, respectiv i). În punctele d și h, puterea este pierdută doar prin pierderile splice-urilor așa cum s-a calculat anterior.

Pierderi NA	-0.8 dB	
Pierderi \emptyset	-0.9 dB	
Atenuarea datorită splice-urilor din secțiunea 3 și 7 (A_{df})		3.4 dB

- **Pierderile de putere în boxa de la recepție (j)**

La boxa de la recepție pierderile au loc doar în conector.

Atenuarea datorată boxei de la recepție (A_{box})		1 dB
--	--	------

- **Pierderile la recepție (k)**

Deoarece apertura numerică a receptorului și diametrul fibrei depășește pe cele ale fibrei de conexiune, pierderile de putere sunt doar în conector.

Atenuarea când lumina este cuplată în receptor (A_r) 0.5 dB

Bugetul de puteri

Puterea la ieșirea emițătorului 250 μ W (P_t) - 6 dB
Sensibilitatea receptorului 200 nW (P_r) - 37 dB
Bugetul de puteri ($P_t - P_r$) 31 dB

Pierderile

Atenuarea emițătorului (A_t) 4 dB
Atenuarea boxei de la emisie (A_{box}) 3.1 dB
Atenuarea fibrei (A_f) 12.1 dB
Pierderile în splice-uri (A_s) 1.1 dB
Atenuarea datorită splice-urilor din secțiunea 3 și 7 (A_{df}) 3.4 dB
Atenuarea datorată boxei de la recepție (A_{box}) 1 dB
Atenuarea când lumina este cuplată în receptor (A_r) 0.5 dB

Atenuarea pe întreaga legătură 25.2 dB
Bugetul de puteri ($P_t - P_r$) 31 dB

Marginea de putere 5.8 dB

Calculul puterii ne asigură că suficientă putere va ajunge la receptor pentru ca detecția să poată avea loc.

Marginea de putere trebuie să acopere:

- degradarea emițător/receptor (trebuie înlocuiți la o degradare de 3 dB)
- variațiile de temperatură
- posibilele reparații pe cablu
- uzura conectorului

Un alt element foarte restrictiv pentru performanța legăturii, cum ar fi distanța de transmisie sau proprietățile semnalului, este banda de frecvență.

Dimensionarea sistemului: Banda de frecvență

Pentru a asigura un nivel minim al distorsionării semnalului (analog sau digital) transmis pe o legătură, banda acesteia trebuie să fie suficient de largă. O regulă simplă în cazul transmisiilor digitale este aceea că durata minimă a pulsului transmis trebuie să fie de 1.5 ori mai mare decât timpul total de creștere al impulsului pe acea legătură.

Dispersia, timpul de creștere și banda sunt legate unele de altele prin constante a căror valoare variază în funcție de forma impulsului optic. În teoria fibrelor optice, calculele bazate pe impulsuri de formă Gaussiană, vezi figura &.9, dau cele mai realiste rezultate.



Fig. &.9. Puls Gaussian comparat cu un puls digital

Dispersia cromatică

Dispersia cromatică este o combinație între dispersia de material și dispersia de ghid. În general termenul de dispersie cromatică înseamnă suma ambelor dipuri de dispersie, vezi figura &.10.

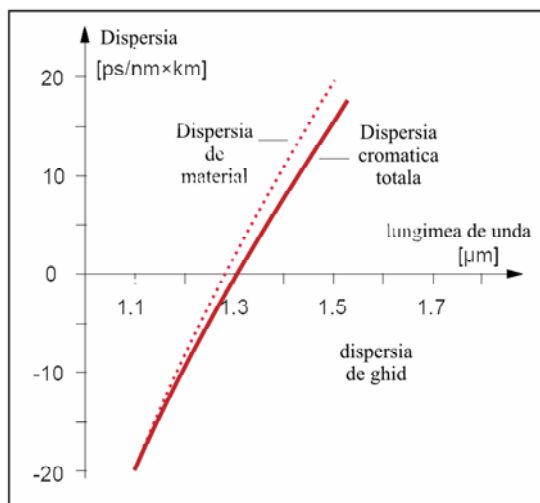


Fig. &.10. Dispersia cromatică: suma dispersiilor de material și de ghid

Dispersia cromatica este dependentă de lungimea de unda și de ghid, fiind neglijabilă pentru sisteme cu viteză de transmisie mica (sub 100 MHz) și pentru sisteme cu transmisie pe distanțe mici (sub 5 km). Dispersia cromatică este neglijabilă și în sistemele de bandă largă care folosesc LED-ul ca emițător optic. Dispersia modală poate fi un factor limitator pentru legăturile care utilizează fibre multimod cu salt de indice, dar acest lucru se întâmplă rar în cazul legăturilor ce folosesc fibre multimod cu indice gradat.

Lățirea impulsului datorită dispersiei cromatice

Lățirea impulsului, σ_{crom} , datorită dispersiei cromatice se calculează cu formula următoare

$$\sigma_{crom} = D(\lambda) \cdot \Delta\lambda \cdot L \text{ [ps]} \quad (\&.3)$$

unde $D(\lambda)$ este dispersia cromatică care se dă în foile de catalog ale fiecărei fibre.

- $D(\lambda) \approx 100 + 0.4(850 - \lambda) \text{ [ps/km} \times \text{nm]}$ pentru $800 < \lambda < 900 \text{ nm}$
- $D(\lambda) \leq 3.5 \text{ ps/km} \times \text{nm}$ pentru $1285 < \lambda < 1330 \text{ nm}$
- $D(\lambda) \leq 17 \text{ ps/km} \times \text{nm}$ pentru $1525 < \lambda < 1575 \text{ nm}$
- $\Delta\lambda$ = lățimea spectrală a emițătorului
- L = lungimea legăturii (km)

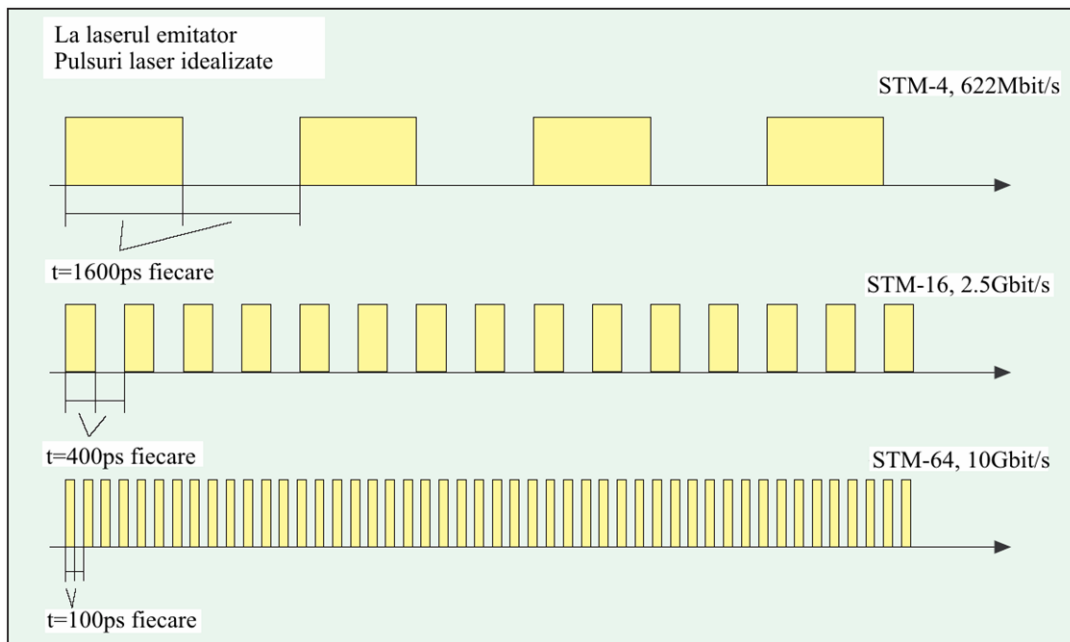


Fig. &.11. Pulsuri de lumină reprezentând bitul "1" și bitul "0" (temporizarea corespunde unui sistem idealizat)

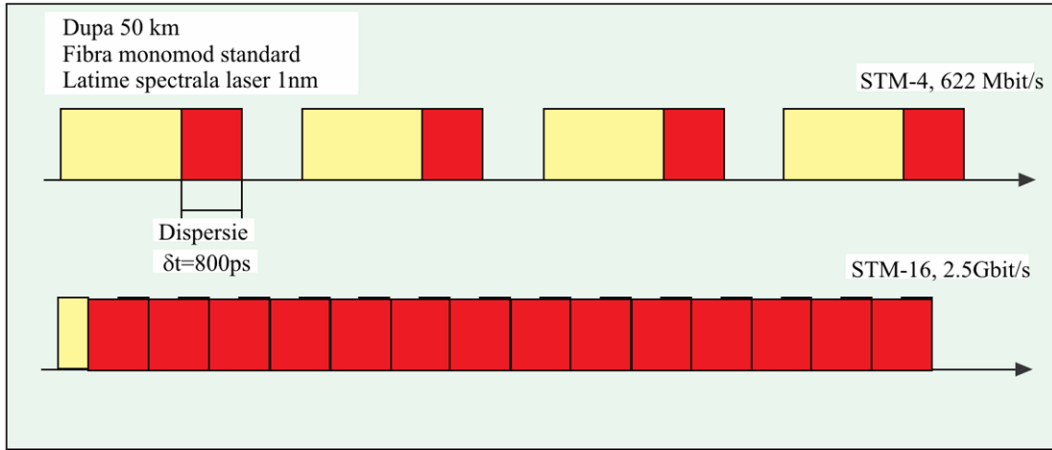


Fig. &.12. Dispersia cromatică pentru o fibră monomod standard cu lungimea de 50 km. Dispersia cromatică este $16 \text{ ps/nm} \times \text{km}$. Puritatea spectrală a laserului utilizat este 1 nm. Atît sistemul STM-16 și STM-64 vor cădea.

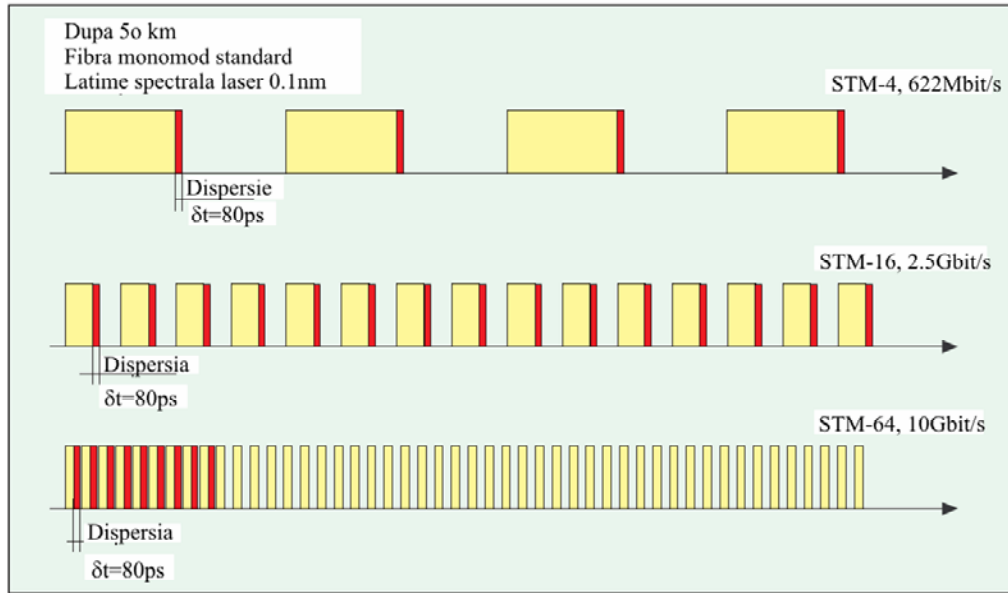


Fig. &.13. Dispersia cromatică pentru o fibră monomod standard, cu lungimea de 50 km. Dispersia cromatică este $16 \text{ ps/nm} \times \text{km}$. Puritatea spectrală a laserului este 0.1 nm. Va cădea doar sistemul STM-64.

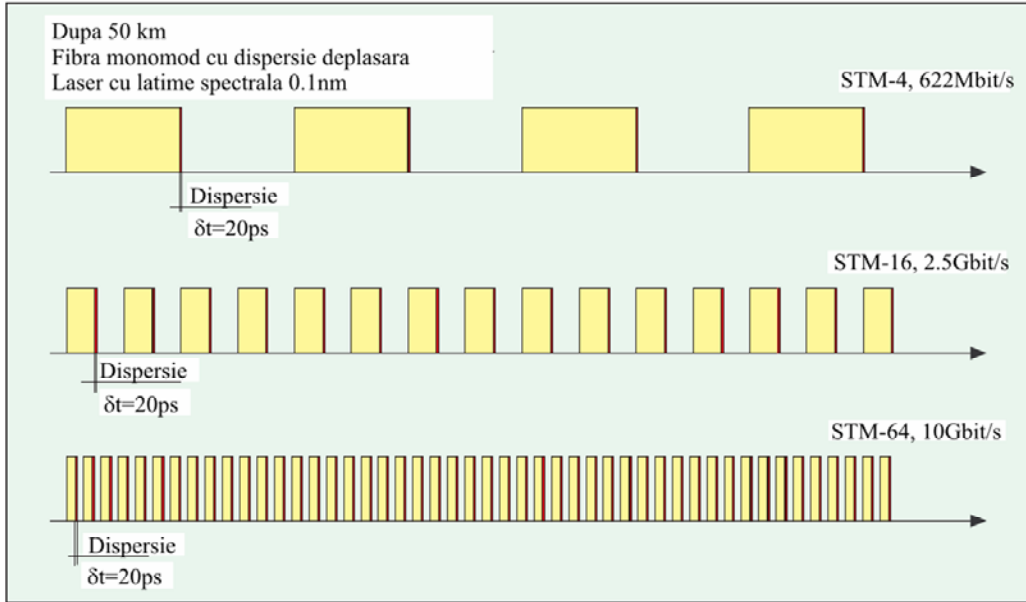


Fig. &.14. Dispersia cromatică pentru o fibră monomod cu dispersie deplasată și lungimea de 50 km. Dispersia cromatică este $4 \text{ ps/km} \times \text{nm}$. Lățimea spectrală a laserului este 0.1 nm. Toate sistemele vor funcționa corect.

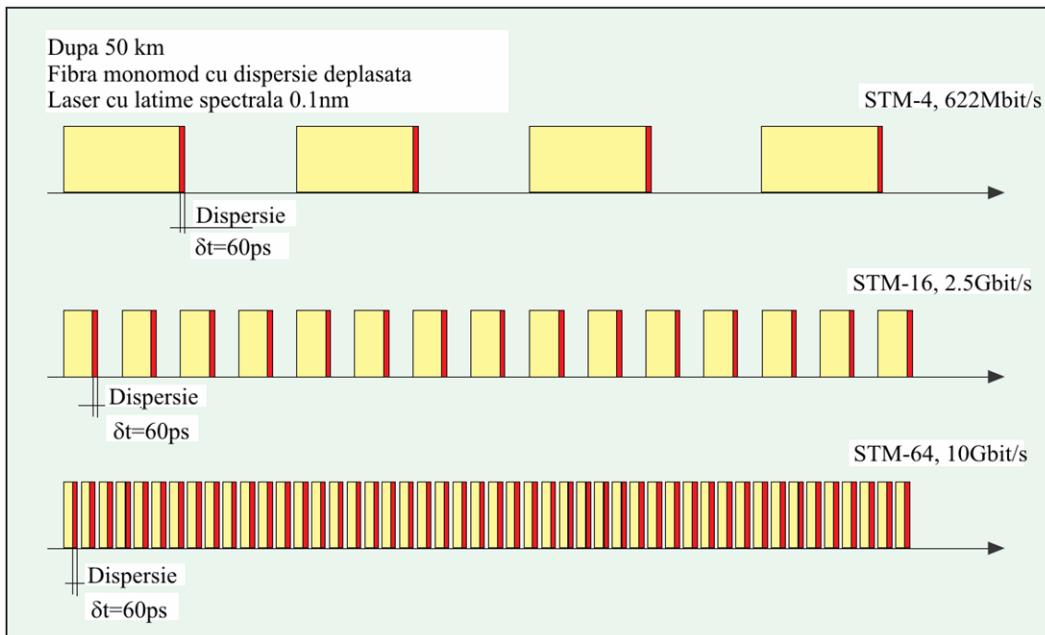


Fig. &.15. Dispersia cromatică pentru o fibră monomod cu dispersie deplasată și lungimea de 150 km. Dispersia cromatică este $4 \text{ ps/km} \times \text{nm}$. Lățimea spectrală a laserului este 0.1 nm. Toate sistemele vor funcționa corect.

Seria de figuri &.11 - &.15 ilustrează ce se întâmplă cu un puls idealizat de lumină când este ghidat prin diferite tipuri de fibre monomod la lungimea de undă de 1550 nm. Pentru 1310 nm, dispersia cromatică este aproape de zero , ceea ce face dispersia cromatică mai puțin critică pentru transmisii pe distanțe mari și viteze mari. Tot în aceste figuri se ilustrează importanța utilizării unor lasere cu lățime spectrală foarte mică, în special în cazul distanțelor foarte mari între repetitoare. Nu trebuie uitat însă, în cazul legăturile pe distanțe mari, bugetul de putere.

Întârzierea (δT_{modal}) și lățirea impulsului (σ_{modal}) datorită dispersiei modale

Întârzierea și lățirea impulsului cauzată de dispersia modală (care are loc doar în fibrele multimod) se datoresc diferitelor moduri care se propaga pe fibră. Cea mai mare dispersie modală, are loc în fibrele multimod cu salt de indice, și poate fi micșorată dramatic prin creșterea indicelui de refracție în apropierea axului fibrei, adică în fibrele multimod cu indice gradat.

Întârzierea și lățirea impulsului datorită dispersiei modale pot fi calculate cu relațiile:

- Întârzierea în fibrele cu salt de indice

$$\delta T_{\text{salt}} = \frac{L \cdot n_2^2}{c \cdot n_1} \left(\frac{n_2 - n_1}{n_2} \right) \cong \frac{L \cdot (\text{NA})^2}{2 \cdot c \cdot n_2} \quad \text{în care } \Delta = \frac{n_2 - n_1}{n_1} \ll 1 \quad (\&.4)$$

și lățirea impulsului :

$$\sigma_{\text{salt}}^2 = \frac{1}{3} \left(\frac{\delta T_{\text{salt}}}{2} \right)^2 \quad (\&.5)$$

Înlocuind în relația de mai sus δT_{step} , obținem:

$$\sigma_{\text{salt}} \cong \frac{L \cdot n_2 \cdot \Delta}{2\sqrt{3} \cdot c} \cong \frac{L \cdot (\text{NA})^2}{4\sqrt{3} \cdot n_2 \cdot c} \quad (\&.6)$$

- Întârzierea în fibrele multimod cu indice gradat:

$$\delta T_{\text{grad}} \cong \frac{L \cdot n_2 \cdot \Delta^2}{2 \cdot c} \cong \frac{(\text{NA})^4}{8 \cdot n_2^3 \cdot c} \quad (\&.7)$$

iar valoarea efectivă a lățirii impulsului într-o fibră multimod cu indice gradat este:

$$\sigma_{\text{grad}} = \frac{L \cdot n_2 \cdot \Delta^2}{20\sqrt{3} \cdot c} \quad (\&.9)$$

Lățirea totală a impulsului datorită dispersiei în fibrele multimod

Valoarea efectivă a lățirii impulsului dispersiei cromatice (intramodale) și dispersiei modale (intermodale) poate fi calculată cu relația:

$$\sigma_{\text{total}} = \sqrt{\sigma_{\text{crom}}^2 + \sigma_{\text{modal}}^2} \quad (\&.10)$$

Banda fibrelor multimod

Toate componentele active au un anumit timp de creștere a impulsului în legătură cu semnalul de intrare: există o anumită întârziere între semnalul de ieșire și cel de intrare. Această situație apare în componentele care au o bandă de trecere finită. În aceeași manieră, dispersia fibrelor limitează banda de frecvență utilizabilă a unei fibre.

Relația de mai jos se aplică doar impulsurilor cu formă Gaussiană. Banda este calculată pentru o durată a impulsului măsurată la 3 dB sub maxim:

$$\text{Banda optică: } B_{3\text{dB, optic}} = \frac{0.44}{\sigma_{\text{total}}} , \sigma \text{ în (ns) și } B(\text{GHz}) \quad (\&.11)$$

$$B_{3\text{dB, optic}} = \sqrt{2} \cdot B_{3\text{dB, electric}} \quad (\&.12)$$

$$\text{Banda electrică: } B_{3\text{dB, electric}} = \frac{0.33}{\sigma_{\text{total}}} , \sigma \text{ în (ns) și } B(\text{GHz}) \quad (\&.13)$$

Banda optică nu este identică cu banda electrică deoarece puterea optică produce curent electric la recepție. Prin urmare, trebuie să utilizăm expresii diferite:

- $10 \log(A)$ pe partea optică
- $20 \log(A)$ pe partea electrică

De exemplu, dacă puterea optică a semnalului este redusă cu 50%, vom avea $10 \log(0.5) = -3 \text{ dB}$. Acest lucru înseamnă că și curentul electric a scăzut cu 50%, adică $20 \log(0.5) = -6 \text{ dB}$. Însă, dacă calculăm puterea electrică, atunci avem din nou: $10 \log(0.5^2) = -6 \text{ dB}$. Acest efect determină un factor $\sqrt{2}$ de diferență între banda optică la 3 dB și banda electrică la 3 dB.

În specificațiile tehnice ale fibrelor multimod, banda este exprimată în $\text{MHz} \times \text{km}$. Pentru o lungime dată este deci ușor de calculat dacă banda specificată a fibrei este suficientă pentru aplicația în cauză [Banda cerută (MHz) \times lungimea fibrei (km) \leq banda specificată ($\text{MHz} \times \text{km}$)].

Banda fibrelor monomod

Situația este mult mai complicată în cazul fibrelor monomod, calculele nefiind în scopul acestei cărți. O aproximare grosieră este dată de relația:

$$\text{Banda}_{(\text{mono mod})} \approx \frac{0.44}{\Delta\lambda \cdot D(\lambda) \cdot L} \quad (\&.14)$$

unde

$D(\lambda)$ = Dispersia cromatică a fibrei [ps / nm x km]

$\Delta\lambda$ = lățimea spectrală a emițătorului [nm]

L = lungimea legăturii [km]

Timpul de creștere a fibrei

Într-o fibră monomod, dispersia cromatică este singura care limitează superior banda fibrei. Pentru o fibră standard, banda depășește 100 GHz x km pentru 1310 nm. Pentru fibrele multimod, dispersia modală este cea care fixează limita superioară a benzii, și prin urmare, a timpului de creștere a fibrei.

Timpul de creștere se calculează cu formula:

$$t(\text{ns}) = \frac{0.35}{\text{banda}(\text{GHz})} \quad (\&.15)$$

Timpul de creștere este dependent de lungimea fibrei. Dacă o fibră multimod are o specificație de bandă egală cu 800 MHz x km, iar secțiunea fibrei este lungă de 4 km, banda va fi doar de 200 MHz, iar timpul de creștere va fi $t_f = 1.75$ ns.

Timpul de creștere al legăturii (T) se calculează ca rădăcina pătrată a sumei pătratelor timpilor de creștere a emițătorului, receptorului și fibrei.

$$T = \sqrt{t_1^2 + t_2^2 + \dots + t_{n-1}^2 + t_n^2} \quad (\&.16)$$

Timpii de creștere ai emițătorului și receptorului se obțin din datele de catalog sau prin măsurători. Timpul de creștere a fibrei este determinată de două componente: dispersia cromatică și dispersia modală.

Timpul de creștere a legăturii optice (sistem multimod)

Metoda sistematică pentru a determina banda unei legături pe fibră optica poate fi rezumată după cum urmează:

- Se determină timpul de creștere/descreștere al emițătorului din datele de catalog sau prin măsurători $[t_t]$.
- Se determină timpul de creștere/descreștere al receptorului din datele de catalog sau prin măsurători $[t_r]$.
- Se calculează timpul de creștere/descreștere al fibrei din datele despre dispersia de material și dispersia modală $[t_f]$.
- Se calculează timpul total de creștere/scădere $[T]$ a legăturii:

$$T(10-90\%) = \sqrt{t_{em}^2 + t_f^2 + t_{rec}^2} \quad (\&.16)$$

- Se calculează banda legăturii prin relația:

$$B_{3dB,electric}(GHz) = \frac{0.35}{T(ns)} \quad (\&.17)$$

Pentru o transmisie digitală, o regula simplă spune că $T_{impuls} \geq 1.5 \times T$. Această condiție ne dă o viteză de transmisie, în concordanță cu metoda NRZ, dată de relația:

$$NRZ_{viteza\ date}(Gbit/s) = \frac{1}{T_{impuls}(ns)} \leq \frac{0.67}{T(ns)} \quad (\&.18)$$

Exemplu

Să considerăm o rețea pe fibra optică cu viteza de transmisie de 100 MHz și cu lungimea cea mai mare de transmisie de 6 km. Timpii de creștere ai emițătorului și receptorului sunt de 1 ns. Dispunem de două tipuri de fibre cu indice gradat: una cu banda de 400 MHz x km și cealaltă cu banda de 800 MHz x km. Pot fi utilizate ambele ?

Soluție

Sistemul necesită un timp de creștere mai mic decât 3.5 ns.

Fibra cu banda de 400 MHz x km are o bandă de doar 66.6 MHz pe secțiunea de 6 km, ceea ce determină un timp de creștere de 5.25 ns. Cu alte cuvinte, nu este posibil să utilizăm această fibră.

Fibra cu banda de 800 MHz x km, are o bandă de 133.3 Mhz pe secțiunea de 6 km, ce determină un timp de creștere de 2.63 ns. Aceasta înseamnă că timpul de creștere este sub valoarea specificată pentru sistem. Luând în considerație și celelalte componente, timpul de creștere se poate calcula cu relația:

$$T(10-90\%) = \sqrt{1^2 + 2.63^2 + 1^2} \approx \sqrt{8.91} \approx 2.98 \text{ ns} \quad (\&.19)$$

Sistemul ar putea functiona cu a doua fibră, deși marginea este mică. Un rezultat mai bun s-ar putea obtine folosind emițătoare si receptoare mai rapide.

Concluzie

Pentru o legătură pe fibra optica, bugetul de putere se calculează pentru a determina dacă atenuarea totală în conectori, in fibră și în cuplajul în si dinspre fibră, depășește sau nu puterea disponibilă. trebuie sa existe mereu o margine deasupra bugetului de putere.

Un calcul similar trebuie făcut si pentru timpul de creștere al tuturor componentelor sistemului. Timpul de creștere combinat nu trebuie să depășească valoarea specificata pentru sistem.