



Digitally signed by  
Library TUM  
Reason: I attest to the  
accuracy and integrity  
of this document

# **UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI**

## **SISTEME DE TRANSMISIUNI OPTOELECTRONICE**

**Ghid**

**Chişinău  
2016**

**UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI**

**FACULTATEA INGINERIE ȘI MANAGEMENT ÎN  
ELECTRONICĂ ȘI TELECOMUNICAȚII  
CATEDRA SISTEME ȘI REȚELE DE COMUNICAȚII  
OPTOELECTRONICE**

**SISTEME DE TRANSMISIUNI  
OPTOELECTRONICE**

**Ghid**

**Chișinău  
Editura "Tehnica-UTM"  
2016**

Ghidul este destinat studenților specialităților 525.2 *Sisteme optoelectronice* și 521.8 *Inginerie și management în telecomunicații* cu formele de studii învățământ cu frecvență la zi și învățământ cu frecvență redusă.

Autori: conf.univ.,dr. Pavel NISTIRIUC

master Ana NISTIRIUC

conf.univ.,dr. Nicolae BEJAN

master Suzana GUIBAN

conf.univ.,dr. Ion NISTIRIUC

Redactor responsabil: conf.univ.,dr. Pavel NISTIRIUC

Recenzent: conf.univ.,dr. Ion AVRAM

## CUPRINS

PRELIMINARII.....	4
1. Determinarea lungimii sectorului de regenerare (amplificare) pentru STIFO.....	5
2. Fiabilitatea sistemelor de transmisiune a informației prin fibre optice (STIFO).....	13
3. Multiplexarea (încapsularea) fluxurilor digitale PDH (E4, E1, T1, T2, E3, T3) în SDH (în modulul de transport sincron STM-1).....	22
BIBLIOGRAFIE.....	35

## PRELIMINARII

În telecomunicațiile moderne rolurile importante aparțin studierii subiectelor ce se referă la determinarea lungimii sectorului de regenerare (amplificare) pentru sistemele de transmisiune a informației prin fibre optice (STIFO) în scopul amplasării optime a stațiilor intermediare în cadrul traficului de linie optic, la determinarea fiabilității sistemelor de transmisiune a informației și rețelelor de comunicații și la studierea modalităților de multiplexare (împachetare) a informației.

Amplasarea optimă a stațiilor intermediare în cadrul traficului de linie optic necesită respectarea condiției conform căreia durata impulsului la sfârșitul sectorului de regenerare nu trebuie să depășească valoarea admisibilă reieșind din valoarea vitezei de transmisiune a informației și de tipul codului de linie utilizat al semnalului.

Asigurarea calității serviciilor de telecomunicații în mare măsură depinde de fiabilitatea sistemelor de transmisiune a informației și rețelele de comunicații, care la rândul său depinde de fiabilitatea echipamentului terminal și de fiabilitatea traficului de linie. Pentru a majora fiabilitatea rețelelor de comunicații este necesar a determina numărul căilor (liniilor de transmisiune) de rezervă pentru fiecare nod al rețelei de telecomunicații.

La fel, este foarte important a fi studiate modalitățile de rutare și gestiune a fluxurilor digitale de nivel inferior, multiplexate într-un flux digital de nivel superior, ce este foarte important pentru rețelele de transmisiune a datelor. Astfel în echipamentul ierarhiei digitale sincrone a rețelelor de comunicații prin menținerea biților speciali în memoria tampon pe o anumită perioadă de timp, cu previziune poate fi asigurată navigarea datelor în limitele cadrului de date, ceea ce ne permite să asigurăm prelucrarea sincronă a semnalelor de emisie și de recepție.

## **1. DETERMINAREA LUNGIMII SECTORULUI DE REGENERARE (AMPLIFICARE) PENTRU STIFO**

Un parametru important al STIFO este lungimea sectorului de regenerare. Lungimea sectorului de regenerare se clasifică în lungimea sectorului de regenerare de valoare maximă  $L_{rmax}$  și lungimea sectorului de regenerare de valoare minimă  $L_{rmin}$ . Lungimea sectorului de regenerare de valoare maximă  $L_{rmax}$  se numește distanța maximă dintre echipamentul de emisie și echipamentul de recepție pentru care se asigură calitatea admisibilă de transmisiune a informației (valoarea admisibilă a raportului semnal/zgomot). Lungimea sectorului de regenerare de valoare minimă  $L_{rmin}$  se numește distanța minimă dintre echipamentul de emisie și echipamentul de recepție pentru care se asigură protecția necesară a fotodiodei, adică puterea semnalului la recepție nu depășește valoarea limită care va contribui la defectarea fotodiodei.

La propagarea semnalului prin fibrele optice concomitent se manifestă atenuarea și dispersia semnalului. Datorită atenuării și dispersiei semnalului se reduce distanța de transmisiune a informației prin fibrele cablului optic. Pentru calculul pierderilor energetice pe parcursul unui sector de regenerare (amplificare) vom utiliza schema reprezentată în fig. 1.1.

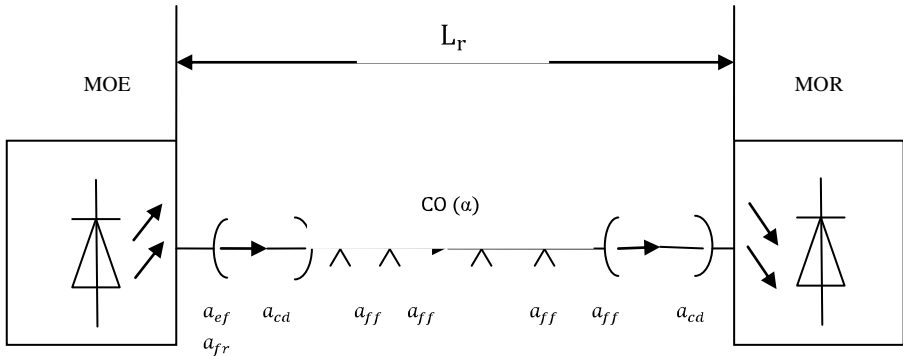


Fig. 1.1. Reprezentarea grafică a sectorului de regenerare pentru STIFO

Conform fig.1.1 sunt utilizate următoarele notații:

1. MOE este modulul optoelectronic de emisie;
2. MOR – modulul optoelectronic de recepție;
3.  $L_r$  – lungimea sectorului de regenerare;
4. CO ( $\alpha$ ) – cablul optic cu coeficientul de atenuare  $\alpha$ ;
5.  $a_{ef}$  – pierderile în conectorul emițător – fibră;
6.  $a_{cd}$  – pierderile în conectorul demontabil;
7.  $a_{ff}$  – pierderile în joncțiunea sudată fibră – fibră;
8.  $a_{fr}$  – pierderile în conectorul fibră – receptor.

Este bine cunoscut, că nivelul puterii semnalului la recepție  $p_r$  prescris trebuie să fie mai sporit decât nivelul admisibil, prin urmare putem nota, că:

$$p_r = p_e - a_{ef} - n a_{cd} - N a_{ff} - \alpha L_r - a_{fr} - a_r \geq p_{r.adm.}, \quad (1.1)$$

unde:  $p_r$  este nivelul puterii semnalului de recepție;

$p_e$  – nivelul puterii semnalului de emisie;

$n$  și  $N$  sunt numărul de joncțiuni respectiv demontabile și sudate;

$\alpha$  – coeficientul de atenuare a cablului optic;

$L_r$  – lungimea sectorului de regenerare;

$a_r$  – rezerva bugetului STIFO luând în considerare probabilitatea sporirii atenuării în traficul de linie la înlăturarea deranjamentelor și în timp.

Pentru STIFO un parametru tehnic foarte important este bugetul energetic. Bugetul energetic  $Q$  se numește diferența dintre nivelurile puterilor semnalelor optice de emisie  $p_e$  și respectiv de recepție  $p_r$  pentru care se asigură calitatea admisibilă de transmisiune a informației, adică:

$$Q = 10 \lg (P_e/P_r) = 10 \lg P_e - 10 \lg P_r = p_e - p_r. \quad (1.2)$$

Numărul de joncțiuni sudate fibră – fibră  $N$  depinde de lungimea sectorului de regenerare  $L_r$  și lungimea de construcție a cablului optic  $l_c$ . Cablul optic poate fi produs cu diferite lungimi de construcție. În datele tehnice ale cablului optic de regulă se indică, că  $X\%$  lungimi de construcție sunt egale cu  $l_{c1}$ , iar  $(100 - X)\%$  lungimi de construcție sunt egale cu  $l_{c2}$  și atunci lungimea de construcție aducțională  $l_c$  este egală:

$$l_c = (X/100)l_{c1} + [(100 - X)/100]l_{c2}. \quad (1.3)$$



Prin urmare, numărul de joncțiuni sudate fibră – fibră  $N$  se determină conform expresiei:

$$N = (L_r/l_c) - 1 \quad (1.4)$$

Luînd în considerare expresiile (1.1 – 1.4) formula pentru bugetul energetic poate fi transcrisă sub forma:

$$\begin{aligned} Q = P_e - P_r &= P_e - P_e + a_{ef} + na_{cd} + Na_{ff} + \alpha L_r + a_{fr} + a_r = \\ &= \alpha L_r + [(L_r/l_c) - 1]a_{ff} + a_r + a_{ef} + a_{fr} + na_{cd} = \\ &= L_r[\alpha + (a_{ff}/l_c)] - a_{ff} + a_r + a_{ef} + a_{fr} + na_{cd} \quad (1.5) \end{aligned}$$

Din formula (1.5) obținem expresia pentru determinarea lungimii maxime a sectorului de regenerare în cazul cînd în traficul de linie predomină atenuarea semnalului și se îndeplinește condiția  $B \leq B_{cr}$  :

$$L_{rmax1} = (Q - a_r - a_{ef} - a_{fr} - na_{cd} + a_{ff}) / [\alpha + (a_{ff}/l_c)], \quad (1.6)$$

unde  $n=2$ .

Prin  $B$  este notată viteza de transmisiune STIFO, iar prin  $B_{cr}$  este notată viteza critică de transmisiune a simbolurilor în linie, care se determină prin formula:

$$B_{cr} = \alpha / 4\tau W, \quad (1.7)$$

unde:  $\alpha$  este coeficientul de atenuare a cablului optic;

$\tau$  - dispersia kilometrică a cablului optic;

$$W = Q - a_{ef} - a_{fr}.$$

Conform materialelor normative de proiectare a STIFO, pentru determinarea lungimii minime a sectorului de regenerare se utilizează formula:

$$L_{r\min} = (Q - A - a_r - a_{ef} - a_{fr} - na_{cd} + a_{ff}) / [\alpha + (a_{ff}/l_c)], (1.8)$$

unde  $A=20$  dBm este gama dispozitivului de gestiune automată a amplificării în echipamentul de recepție.

În cazul cînd în traficul de linie predomină dispersia semnalului optic și se îndeplinește condiția  $B > B_{cr}$ , lungimea maximă a sectorului de regenerare pentru STIFO se determină din formula:

$$L_{r\max2} = 1/4\tau B, (1.9)$$

unde:  $\tau$  este dispersia kilometrică a cablului optic;

$B$  - viteza de transmisiune a STIFO.

Lungimea minimă a sectorului de regenerare pentru cazul cînd în traficul de linie predomină dispersia semnalului optic la fel se determină utilizînd formula (1.8).

Sporirea lungimii sectorului de regenerare (amplificare) este posibilă prin selectarea echipamentului de emisie și a celui de recepție al STIFO cu un buget energetic  $Q$  cît mai mare, cu o rapiditate de funcționare cît mai sporită și, la fel prin selectarea CO, cu coeficientul de atenuare  $\alpha$  și cu dispersia kilometrică  $\tau$  cît mai reduse și cu lungimea de construcție a CO de valoare cît mai majoră. Amplasarea punctelor de regenerare, deservite (PRD) și

nedeservite (PRN) în cadrul traficului de linie, este efectuată reieșind din datele tehnice ale STIFO, amplasarea localităților, lungimile maxime și minime ale sectorului de regenerare, necesitățile de alimentare cu energie electrică a PRD și PRN, iar numărul lor  $m$  pe traseul traficului de linie se determină conform relației:

$$m = (L/L_r) - 1, \quad (1.10)$$

unde:  $L$  este distanța dintre stațiile terminale, în km;

$L_r$  - lungimea sectorului de regenerare, în km ( $L_{rmin.} \leq L_r \leq L_{rmax.}$ ).

Rezultatul obținut pentru numărul punctelor de regenerare  $m$  se aproximează pînă la majorarea lui la un număr întreg.

Durata frontului impulsului  $\tau_i$  după parcurgerea lungimii sectorului de regenerare, adică la intrarea utilajului de recepție se determină conform formulei:

$$\tau_i = \sqrt{\tau_e^2 + \tau_f^2 + \tau_r^2}, \quad (1.11)$$

unde  $\tau_e, \tau_f, \tau_r$  sunt sporirile duratei frontului impulsului, corespunzător în modulul optoelectronic de emisie (MOE), în fibra optică (FO) și modulul optoelectronic de recepție (MOR). Durata frontului impulsului  $\tau_i$  la sfîrșitul lungimii sectorului de regenerare nu trebuie să depășească valoarea admisibilă  $\tau_{adm.}$  pentru viteza de transmisiune a informației  $B$  și tipul codului lineic utilizat:

$$\tau_i \leq \tau_{\text{adm.}} = \begin{cases} 0,70 \text{ T pentru codul NRZ;} \\ 0,35 \text{ T pentru codul RZ,} \end{cases} \quad (1.12)$$

unde  $T=1/B$  este durata intervalului de tact pentru viteza de transmisiune  $B$  a simbolurilor în linie. Dacă condiția (1.12) nu se îndeplinește, atunci are loc suprapunerea impulsurilor, care se numește *zgomot de interferență între simboluri*. Zgomotul de interferență între simboluri conduce la sporirea probabilității erorii de regenerare.

Durata frontului impulsului  $\tau_e$  la ieșirea MOE depinde de rapiditatea de funcționare a emițătorului optic și de lărgimea benzii amplificatorului de pompaj. În calcule, în calitate de  $\tau_e$  poate fi luată mărimea invers proporțională frecvenței maxime de modulație, valoarea căreia, de obicei, se indică în pașaportul emițătorului optic. Cu condiția că impulsul se descrie conform formei distribuirii Gauss durata frontului impulsului  $\tau_e$  este aproximativ egală cu:

$$\tau_e \approx 440/F_{\text{max.}}, \text{ ns,} \quad (1.13)$$

unde  $F_{\text{max.}}$  este frecvența maximală de modulație a emițătorului optic, în MHz.

La propagarea semnalului prin fibrele CO cu lungimea  $L_r$  va spori durata frontului impulsului care poate fi determinată din expresiile:

$$\tau_f = \tau L_r, \text{ s,} \quad (1.14)$$

$$\tau = \sqrt{\tau_{\text{mod.}}^2 + (\tau_m + \tau_g)^2}, \quad (1.15)$$

unde:  $\tau$  este dispersia kilometrică sumară a semnalului ce se propagă prin fibrele CO, în s/km;

$\tau_{\text{mod.}}$ ,  $\tau_m$ ,  $\tau_g$  sunt, corespunzător, componentele dispersiilor kilometrice modale, materială și ghid de undă, în s/km.

Sporirea duratei frontului impulsului în MOR, adică dispersia cauzată de dispozitivul de recepție, se determină conform expresiei:

$$\tau_r = 350/F_{0,5}, \text{ ns}, \quad (1.16)$$

unde  $F_{0,5}$  este lărgimea benzii de transfer al MOR conform nivelului puterii semnalului 0,5, în MHz (care aproximativ este egală cu valoarea frecvenței de limită a benzii de transfer pentru fotoreceptor  $F_{\text{lim.}}$ ).

## 2. FIABILITATEA SISTEMELOR DE TRANSMISIUNE A INFORMAȚIEI PRIN FIBRE OPTICE (STIFO)

Fiabilitatea STIFO se numește proprietatea sistemelor de a asigura comunicațiile, păstrînd în timp valorile indicilor de calitate stabilite în condițiile de exploatare prescrise.

La noțiunile de bază ale teoriei fiabilității se referă: deranjamentul, defectul, parametrul fluxului deranjamentelor, timpul mediu de restabilire a comunicațiilor, timpul mediu între deranjamente, coeficientul de disponibilitate, probabilitatea funcționării fără deranjamente și fiabilitatea.

Deranjament se numește deteriorarea cu întrerupere a comunicațiilor unui abonat particular sau a unui grup de abonați deserviți de STIFO.

Defect se numește deteriorarea fără întrerupere a comunicațiilor în STIFO (exemple, deteriorarea învelișului exterior al cablului, reducerea rezistenței de izolație a conductoarelor pentru alimentarea echipamentului cu energie electrică la distanță etc.).

Parametrul fluxului deranjamentelor  $\lambda$  reprezintă numărul mediu de deranjamente într-o unitate de timp și se determină conform expresiei:

$$\lambda = N / (m \cdot T_a), \quad (2.1)$$

unde:  $N$  este numărul deranjamentelor pentru STIFO analizat  
în perioada de observație  $m$ , în ani;

$T_a$  – numărul de ore în decursul unui an ( $T_a = 8760$  h).

Timpu mediu de restabilire a comunicațiilor  $t_r$  în STIFO reprezintă timpul mediu de staționare a comunicațiilor și se determină prin intermediul relației:

$$t_r = \frac{(\sum_{i=1}^N t_{ri})}{N}, \quad (2.2)$$

unde  $t_{ri}$  este timpul de restabilire a comunicațiilor pentru deranjamentul  $i$ , în ore.

Timpu mediu între deranjamente  $T_0$  sau durata de funcționare fără deranjamente se calculează conform formulei:

$$T_0 = \frac{(m \cdot T_a - t_r \cdot N)}{N} = \frac{(1 - \lambda \cdot t_r)}{\lambda}. \quad (2.3)$$

Coeficientul de disponibilitate  $C_d$  este probabilitatea că STIFO într-un moment aleatoriu de timp va fi în stare de funcționare. El se determină ca raport al timpului sumar al stării de funcționare fără deranjamente către timpul total al perioadei de exploatare și se determină prin relația:

$$C_d = \frac{T_0}{(T_0 + t_r)}. \quad (2.4)$$

Probabilitatea funcționării fără deranjamente  $P(t)$  reprezintă probabilitatea că, în intervalul prescris de timp  $t$  în STIFO, nu vor fi depistate deranjamente:

$$P(t) = \exp(-\lambda t). \quad (2.5)$$

Luând în considerare că, coeficientul de utilizare a liniilor de abonat în decursul a 24 de ore este diferit, pentru evaluarea probabilității într-un moment de timp necesar, când abonatul va avea necesitatea să stabilească legătura, linia de comunicații va fi în stare de funcționare, se introduce noțiunea de coeficient de disponibilitate operativă  $C_{do}$ . Coeficientul de disponibilitate operativă  $C_{do}$  poate servi ca măsură de evaluare cantitativă a valorii fiabilității  $H(t)$  a STIFO:

$$H(T) = C_{do} = C_d \cdot P(t) = C_d \cdot \exp(-\lambda \cdot t). \quad (2.6)$$

În continuare vom analiza un exemplu, când în STIFO echipamentul de multiplexare, rutare și comutare pentru perioada de observație  $m=5$  ani s-au depistat  $N=1274$  de deranjamente. Dintre care:

2.1 în 39 de cazuri comunicațiile au fost restabilite în decurs de 7 ore;

2.2 în 83 de cazuri – în decurs de 4,5 ore;

2.3 în 139 de cazuri – în decurs de 2,5 ore;

2.4 în 197 de cazuri – în decurs de 2,0 ore;

2.5 în 256 de cazuri – în decurs de 1,0 ore;



2.6 în 342 de cazuri – în decurs de 0,8 ore;

2.7 în 219 de cazuri – în decurs de 0,5 ore.

În baza datelor indicate mai sus calculăm parametrul fluxului de deranjamente :

$$\lambda = N / (k \cdot T_a) = 1274 / (5 \cdot 8760) = 0,029 \text{ (deranj./h)}.$$

Calculăm timpul mediu de restabilire a STIFO:

$$t_r = (\sum_{i=1}^N t_{ri}) / N =$$

$$= (7 \cdot 39 + 4,5 \cdot 83 + 2,5 \cdot 139 + 2,0 \cdot 197 + 1,0 \cdot 256 + \\ + 0,8 \cdot 342 + 0,5 \cdot 219) / 1274 = 1,583 \text{ (h)}.$$

Calculăm timpul mediu între deranjamente:

$$T_0 = (m \cdot T_a - t_{ri} \cdot N) / N = (1 - \lambda \cdot t_r) / \lambda = \\ = (5 \cdot 8760 - 1,583 \cdot 1274) / 1274 = 32,797 \text{ (h)}.$$

Calculăm coeficientul de disponibilitate:

$$C_d = T_0 / (T_0 + t_r) = 32,797 / (32,797 + 1,583) = 0,954.$$

Rezultatele calculelor probabilității funcționării fără deranjamente  $P(t)$  și a fiabilității  $H(t)$  pentru STIFO sunt reflectate în tabelul 2.1.

**Tabelul 2.1. Probabilitatea funcționării fără  
deranjamente  $P(t)$  și a fiabilității  $H(t)$  pentru STIFO**

<i>Intervalul de timp <math>t</math>, ore</i>	<i>Probabilitatea funcționării fără deranjamente <math>P(t)</math></i>	<i>Fiabilitatea <math>H(t)</math></i>
0	1,00000	0,95400
0,5	0,98560	0,94026
1	0,97142	0,92673
2	0,94365	0,90024
3	0,91668	0,87451
4	0,89048	0,84952
5	0,86502	0,82523
6	0,84030	0,80165
7	0,81628	0,77647
8	0,79295	0,75647
9	0,77028	0,73485
10	0,74826	0,71384
20	0,55990	0,53414
30	0,41895	0,39968

La fel prezintă interes analiza coeficientului de disponibilitate a traseelor (liniilor de transmisiuni). Ca traseu se subînțelege calea (linia de transmisiune) instalată în teritoriu ce conține echipamentul

terminal și cel intermediar ale rețelei primare de comunicații. Traseul (linia de transmisiune) se caracterizează prin marcajul direcției de pozare (instalare) și racordarea la punctele de reper ale traseului. Pe un traseu pot fi pozate mai multe linii de transmisiuni. Abonații (beneficiarii) deserviți de orice rețea secundară de comunicații sunt asigurați că, în caz de necesitate, ei vor beneficia de o cale (linie) de transmisiune bună de exploatare. Însă datele statistice arată că, și în cazurile de montare cele mai perfecte și a organizării calificate în exploatarea STIFO, au loc deranjamente și deteriorări. Printre deranjamentele și deteriorările comunicațiilor ce se întâlnesc, o atenție esențială urmează să acordăm deranjamentelor pe trasee, deoarece de acestea sunt legate ieșirea din funcție a majorității căilor de transmisiune și, de regulă, înlăturarea deranjamentelor necesită timp relativ îndelungat. Totodată, urmările deranjamentului traseului sunt cu atât mai limitate, cu cât este mai mare numărul de căi echivalente (de rezervă), care pot fi organizate prin intermediul altor trasee (linii de transmisiune). Astfel problema se reduce la întrebarea: câte trasee (linii de transmisiune) ar trebui să fie pozate la un oarecare nod al STIFO, dacă este cunoscută limita inferioară a valorii coeficientului de disponibilitate? Deoarece pentru unirea a două noduri, în caz general, este necesară numai o singură linie de transmisiune, care satisface conform costului, atunci fiecare pozare suplimentară a liniilor de transmisiune de la orice

nod al rețelei pe câteva direcții, înseamnă sporirea costului. Prin urmare, determinarea numărului de trasee (linii de transmisiune), care trebuie să unească un oricare nod al rețelei de comunicații, este una din problemele de optimizare la proiectarea rețelelor de comunicații. Calculul numărului necesar de trasee (linii de transmisiune) pentru rețelele de comunicații este posibil după determinarea valorii coeficientului de disponibilitate. Pentru coeficientul de disponibilitate al sistemului  $i$   $C_{di}$  se utilizează expresia:

$$C_{di} = \sum t_{fi} / (\sum t_{fi} + \sum t_{deri}), \quad (2.7)$$

unde:  $\sum t_{fi}$  este timpul sumar de funcționare a sistemului  $i$  fără deranjamente în decursul timpului de observație;

$\sum t_{deri}$  - timpul sumar al deranjamentelor sistemului  $i$  în decursul aceluiași timp de observație.

Pentru coeficientul de disponibilitate al căii de transmisiune  $C_{dct}$  importante sunt valorile coeficienților de disponibilitate ale echipamentului terminal  $C_{det}$  și traficului de linie  $C_{dtl}$ :

$$C_{dct} = C_{det} \cdot C_{dtl}. \quad (2.8)$$

Pentru a efectua evaluările comparative, vom introduce noțiunea de **coeficient de disponibilitate al traficului de linie** referitor la o unitate de lungime (de regulă la 100 km) și atunci, utilizând expresia (2.7), coeficientul de disponibilitate al traficului

de linie  $C_{dtl}$  cu lungimea de 100 km poate fi determinat conform formulei:

$$C_{dtl} = [\sum t_{ftl} / (\sum t_{ftl} + \sum t_{dertl})]^{1/L_i}, \quad (2.9)$$

unde  $L_i$  este lungimea traficului de linie (în calitate de unitate de măsură este acceptată valoarea de 100 km). Coeficientul de disponibilitate pentru orice cale (linie) de transmisiune cu lungimea  $L$  se determină conform formulei:

$$C_{dct} = C_{det} \cdot C_{dtl}^{L/L_i}. \quad (2.10)$$

Dacă pentru o cale de transmisiune particulară coeficientul de disponibilitate nu corespunde cerințelor prescrise, atunci utilizarea căilor (liniilor) de transmisiune de rezervă ne vor permite să sporim valoarea coeficientului de disponibilitate, deoarece este disponibilă egalitatea:

$$C_{dctr} = 1 - [(1 - C_{dct1}) \dots (1 - C_{dctn})], \quad (2.11)$$

unde  $n$  este numărul căilor (liniilor) de transmisiune de rezervă.

Dacă luăm în considerație, că toate traseele (liniile de transmisiune) rețelei primare de comunicații au aceleași valori ale coeficienților de disponibilitate, atunci expresia (2.11) se simplifică și pentru coeficientul de disponibilitate al traseelor (liniilor) de transmisiune de rezervă  $C_{dctr}$  obținem forma:

$$C_{dctr} = 1 - (1 - C_{dct})^n. \quad (2.12)$$

Transformând expresia (2.12) obținem:

$$n \geq \lg(1 - C_{dctr}) / \lg(1 - C_{dct}), \quad (2.13)$$

unde  $n$  este numărul necesar de trasee (linii de transmisiune) care trebuie să unească oricare nod cu celelalte noduri ale rețelei de comunicații primare (rezultatul care se obține conform expresiei (2.13), trebuie majorat pînă la un număr natural întreg). Analizăm un exemplu numeric. Fie conexiunea pentru rețeaua primară de comunicații este cu lungimea  $L=600$  km. Evaluarea datelor statistice despre deranjamente și deteriorări ne indică, că  $C_{det} = 0,99$  și  $C_{dtl} = 0,985$ , însă se cere, ca  $C_{dctr} = 0,999$ .

Conform expresiei (2.10) determinăm coeficientul de disponibilitate al căii de transmisiune:

$$C_{dct} = 0,99 \cdot 0,985^6 = 0,90418.$$

Conform valorii obținute pentru  $C_{dct}$  numărul căilor de rezervă va fi egal cu:

$$n \geq (\lg(1-0,999)) / (\lg(1-0,90418)) = (-3,0000) / (-1,01959) = 2,94 \approx 3.$$

**Concluzie:** Observăm, că pentru astfel de condiții, fiecare nod al rețelei de comunicații primare trebuie să fie conectat cu alte noduri ale rețelei prin intermediul a trei trasee (linii de transmisiune).

### **3. MULTIPLEXAREA (ÎNCAPSULAREA) FLUXURILOR DIGITALE PDH (E4, E1, T1, T2, E3, T3) ÎN SDH (ÎN MODULUL DE TRANSPORT SINCRON STM-1)**

Schema generală de multiplexare a fluxurilor digitale PDH în SDH este reprezentată în fig. 3.1.

Deoarece Uniunea Internațională de Telecomunicații ITU-T (International Telecommunication Union – Telecommunication Standardization) pentru elaborarea SDH a standardizat primele trei niveluri ale ierarhiei PDH elaborate în SUA și Canada (DS1-DS2-DS3 → T1-T2-T3), patru niveluri ale ierarhiei PDH elaborate în Japonia (DS1-DS2-DSJ3-DSJ4) și patru niveluri ale ierarhiei PDH elaborate în Europa și America de Sud (E1-E2-E3-E4), atunci schema reprezentată în fig. 3.1 prevede două variante de multiplexare a fluxurilor digitale PDH în SDH (în STM-1):

- prima variantă de multiplexare conform tehnologiei SDH, elaborată de institutul European de standarde în domeniul telecomunicațiilor ETSI (European Telecommunication Standards Institute), se înfăptuiește prin intermediul modulului administrativ de nivelul patru AU-4 (Administrative Unit);
- a doua variantă de multiplexare conform tehnologiei SONET (Synchronous Optical Network), elaborată în SUA, se înfăptuiește prin intermediul modulului administrativ de nivelul trei AU-3 (Administrative Unit);

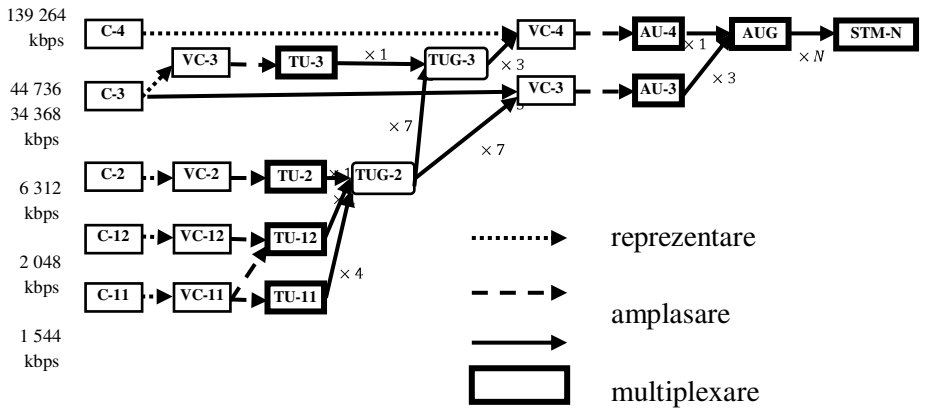


Fig. 3.1. Schema generală de multiplexare a fluxurilor digitale PDH în SDH conform recomandărilor G.707 ITU-T

### 3.1. Încapsularea fluxului digital E4 în modulul STM-1 conform tehnologiei SDH ETSI

Conform tehnologiei SDH ETSI încapsularea fluxului digital E4 în modulul STM-1 se desfășoară în conformitate cu algoritmul:

3.1.1. Semnalul sarcinii E4 ( $B=139\,264$  kbps) în decursul perioadei de eșantionare  $T_e = 125\ \mu\text{s}$  posedă  $139\,264 \cdot 10^3 : 64 \cdot 10^3 = 2\,176$  byte informație utilă, care se amplasează în containerul C-4 cu dimensiunea  $2\,340 = (2\,176 + 164) = (9 \times 260)$  byte.

3.1.2. La containerul C-4 se adaugă antetul de cale VC-4 POH (Path Overhead) cu dimensiunea  $(9 \times 1)$  byte și în rezultat se formează containerul virtual (logic) VC-4 cu dimensiunea:



$$C4 + VC-4 POH = VC-4$$

$$2\ 340 + 9 = 2\ 349 = (9 \times 261) \text{ byte.}$$

3.1.3. La containerul virtual VC-4 se adaugă indicatorul AU-PTR (Pointer) cu dimensiunea  $(9 \times 1)$  byte, care este amplasat în antetul de secție al cadrului STM-1 SOH (Section Overhead) și în rezultat se formează modulul administrativ de nivelul patru AU-4 cu dimensiunea:

$$VC-4 + AU-4 PTR = AU-4$$

$$2\ 349 + 9 = 2\ 358 \text{ byte.}$$

3.1.4. În continuare prin multiplexarea formală 1:1 a modulelor administrative AU-4 se formează grupul de blocuri administrative AUG (Administrative Unit Group) cu dimensiunea 2358 byte.

3.1.5. La grupul de blocuri administrative se adaugă antetul de secție SOH (Section Overhead), care este constituit din trei părți – semnalul de sincronizare a cadrului FAS (Frame Aligment Signal) de formatul  $(9 \times 1)$  byte, antetul secției de regenerare RSOH (Regenerator Section Overhead) de formatul  $(9 \times 2)$  byte și antetul secției de multiplexare MSOH (Multiplexer Section Overhead) de formatul  $(9 \times 5)$  byte, adică obținem antetul cu dimensiunea:

$$SOH = FAS + RSOH + MSOH$$

$$72 = (9 \times 1) + (9 \times 2) + (9 \times 5) \text{ byte}$$

În fine valoarea cadrului pentru modulul STM-1 va fi egală:

$$\begin{aligned}C_{\text{STM-1}} &= \text{AUG} + \text{SOH} \\ 2\,430 \text{ byte} &= 2\,358 + 72 \text{ byte}\end{aligned}$$

Astfel, pentru frecvența de eșantionare a semnalului, egală cu 8 kHz, viteza de transmisiune pentru STM-1 va fi egală cu 155,52 Mbps.

### **3.2. Încapsularea fluxului digital E1 în modulul STM-1 conform tehnologiilor SDH ETSI și SONET SUA**

Încapsularea fluxului digital E1 în modulul STM-1 se înfăptuiește conform următorului algoritm:

3.2.1. Semnalul sarcinii E1 (B=2 048 kbps) în decursul perioadei de eșantionare  $T_e = 125 \mu\text{s}$  posedă  $2\,048 \cdot 10^3 : 64 \cdot 10^3 = 32$  byte informație utilă, care se amplasează în containerul C-12 cu dimensiunea  $34 = (32+2)$  byte.

3.2.2. La containerul C-12 se adaugă antetul de cale VC-12 POH (Path Overhead) cu dimensiunea de un byte și în rezultat se formează containerul virtual VC-12 cu dimensiunea:

$$\text{C-12} + \text{VC-12 POH} = \text{VC-12}$$

$$34 + 1 = 35 \text{ byte.}$$

3.2.3. Adăugarea formală a indicatorului TU-12 PTR cu lungimea de un byte la containerul virtual conduce la formarea blocului tributar TU-12 cu dimensiunea:

$$VC-12 + TU-12 \text{ PTR} = TU-12$$

$$35 + 1 = 36 = (9 \times 4) \text{ byte.}$$

În containerul virtual VC-4 cu dimensiunea ( $9 \times 260$ ) byte teoretic pot fi încapsulate 65 de module ale sarcinii TU-12 ( $36 \times 65 = 2\,340$  byte). Însă practic în modulul STM-1 se încapsulează 63 de module ale sarcinii TU-12 ( $36 \times 63 = 2\,268$  byte), iar 72 byte sunt rezervați pentru necesități suplimentare. Astfel în modulul STM-1 se vor încapsula 63 de blocuri tributare TU-12, adică 63 de fluxuri digitale E1.

3.2.4. Consecutivitatea de blocuri tributare TU-12 în rezultatul multiplexării byte cu byte în raportul 3:1 se transformă în grupul de blocuri tributare TUG-2 care conține:

$$3 \times TU-12 = TUG-2$$

$$3 \times 36 = 108 = (9 \times 12) \text{ byte.}$$

Începînd cu etapa a cincea, în continuare, încapsularea E1 în STM-1 poate fi realizată conform tehnologiei SDH ETSI sau conform tehnologiei SONET SUA.

3.2.5. (1) Analizăm inițial încapsularea conform tehnologiei SDH ETSI. În conformitate cu tehnologia SDH consecutivitatea de blocuri tributare TUG-2 este expusă multiplexării repetate byte cu byte în raportul 7:1 în rezultatul căreia se formează grupul de blocuri tributare TUG-3 cu dimensiunea:

$$7 \times \text{TUG-2} = \text{TUG-3}$$

$$7 \times 108 = 756 = (9 \times 84) \text{ byte}$$

Practic TUG-3 corespunde cadrului cu dimensiunea  $9 \times 86$  byte, la începutul căreia se adaugă două coloane a câte 9 byte ( $2 \times 9$  byte), care constau din câmpul ce indică indicatorul nul NPI (Null Pointer Indicator) și câmpul fix neocupat FS (Fixed Stuff) (câmpul neocupat cu amplasarea fixă în interiorul cadrului). În rezultat formula de formare a TUG-3 obține forma:

$$7 \times \text{TUG-2} + \text{NPI} + \text{FS} = \text{TUG-3}$$

$$7 \times 108 + 3 + 15 = 774 = (9 \times 86) \text{ byte}$$

3.2.6. (1) Consecutivitatea obținută din nou se multiplexează byte cu byte în raportul 3:1 și în rezultat se formează consecutivitatea de blocuri TUG-3 cu lungimea sumară 2 322 byte ( $3 \times \text{TUG-3} = 3 \times 774 = 2\,322$  byte).

3.2.7. (1) La etapa a șaptea are loc formarea containerului virtual de nivel superior VC-4 prin adăugarea la consecutivitatea obținută a antetului de cale VC-4 POH cu dimensiunea  $(9 \times 1)$  byte, ce conduce la formarea cadrului cu lungimea  $2\ 331$  byte ( $2\ 322+9=2\ 331$  byte). Practic VC-4 corespunde cadrului  $9 \times 261$  byte, structura căruia constă din trei grupuri de blocuri tributare TUG-3 ( $3 \times 774$  byte), dintr-o coloană VC-4 POH ( $9 \times 1$  byte) și două coloane ale câmpului fix neocupat FS ( $9 \times 2 = 18$  byte). În rezultat formula de formare a containerului virtual VC-4 obține forma:

$$3 \times \text{TUG-3} + \text{VC-4 POH} + \text{FS} = \text{VC-4}$$

$$3 \times 774 + (9 \times 1) + (9 \times 2) = 2349 = (9 \times 261) \text{ byte}$$

Încapsularea în continuare se înfăptuiește analogic ca pentru fluxul digital E4.

3.2.5. (2) Analizăm încapsularea E1 în STM-1 conform tehnologiei SONET SUA. În conformitate cu tehnologia SONET consecutivitatea de blocuri TUG-2 este expusă multiplexării repetate byte cu byte în raportul 7:1 cu adăugarea antetului de cale VC-3 POH cu dimensiunea  $(9 \times 1)$  byte) și în rezultat se formează containerul virtual VC-3 cu dimensiunea:

$$7 \times \text{TUG-2} + \text{VC-3 POH} = \text{VC-3}$$

$$7 \times 108 + (9 \times 1) = 765 = (9 \times 85) \text{ byte.}$$

3.2.6. (2) La containerul virtual VC-3 se adaugă două coloane ( $9 \times 2$  byte) pentru câmpul fix neocupat FS și indicatorul AU-3 PTR (Pointer) cu dimensiunea 3 byte, în rezultat se formează modulul administrativ de nivelul trei AU-3 cu dimensiunea:

$$VC-3 + FS + AU-3 PTR = AU-3$$

$$765 + (9 \times 2) + 3 = 786 \text{ byte}$$

3.2.7. (2) Modulele administrative AU-3 se multiplexează byte cu byte în raportul 3:1 și în rezultat se formează grupul de blocuri administrative AUG cu dimensiunea 2 358 byte.

$$3 \times AU-3 = AUG$$

$$3 \times 786 = 2358 \text{ byte.}$$

3.2.8. (2) La grupul de blocuri administrative AUG se adaugă antetul de secție SOH care constă din trei componente: semnalul de sincronizare a cadrului FAS cu dimensiunea ( $9 \times 1$  byte), antetul secției de regenerare RSOH cu dimensiunea ( $9 \times 2$  byte) și antetul secției de multiplexare MSOH cu dimensiunea ( $9 \times 5$  byte). Astfel cadrul pentru modulul STM-1 obține dimensiunea:

$$C_{STM-1} = AUG + FAS + RSOH + MSOH$$

$$2\,430 \text{ byte} = 2358 + (9 \times 1) + (9 \times 2) + (9 \times 5) \text{ byte}$$

Prin urmare, pentru frecvența de eșantionare a semnalului egală cu 8 kHz, viteza de transmisiune pentru STM-1 va fi egală cu 155,52 Mbps.

### **3.3. Încapsularea fluxului digital T1 în modulul STM-1 conform tehnologiilor SDH ETSI și SONET SUA**

Încapsularea fluxului digital T1 în modulul STM-1 se înfăptuiește conform următorului algoritm:

3.3.1. Semnalul sarcinii T1 (B=1 544 kbps) în decursul perioadei de eșantionare  $T_e = 125 \mu\text{s}$  posedă  $1544 \cdot 10^3 : 64 \cdot 10^3 = 24,125 \approx 24$  byte informație utilă, care se amplasează în containerul C-11 cu dimensiunea  $25 = (24+1)$  byte.

3.3.2. La containerul C-11 se adaugă antetul de cale VC-11 POH cu lungimea de un byte și în rezultat se formează containerul virtual VC-11 cu dimensiunea:

$$\text{C-11} + \text{VC-11 POH} = \text{VC-11}$$

$$25 + 1 = 26 \text{ byte}$$

La etapa a treia sunt posibile două convertiri ale containerului virtual VC-11:

3.3.3.1. La convertirea VC-11 în blocul tributar TU-12 la el se adaugă indicatorul TU-12 PTR cu lungimea de un byte și câmpul fix

neocupat FS cu dimensiunea 9 byte, în rezultat se formează blocul tributar TU-12 cu dimensiunea:

$$VC-11 + TU-12 PTR + FS = TU-12$$

$$26 + 1 + 9 = 36 = (9 \times 4) \text{ byte.}$$

În continuare încapsularea conform tehnologiilor SDH ETSI și SONET SUA se înfăptuiește analogic ca și pentru fluxul digital E1.

3.3.3.2. La convertirea VC-11 în blocul tributar TU-11 la el se adaugă indicatorul TU-11 PTR cu lungimea de un byte, în rezultat se formează blocul tributar TU-11 cu dimensiunea:

$$VC-11 + TU-11 PTR = TU-11$$

$$26 + 1 = 27 = (9 \times 3) \text{ byte.}$$

3.3.4. Consecutivitatea de blocuri tributare TU-11 în rezultatul multiplexării byte cu byte în raportul 4:1 se transformă în grupul de blocuri tributare TUG-2 cu dimensiunea:

$$4 \times TU-11 = TUG-2$$

$$4 \times 27 = 108 = (9 \times 12) \text{ byte.}$$

Astfel în modulul STM-1 se vor încapsula 84 de blocuri tributare TU-11, adică 84 de fluxuri digitale T1.

În continuare încapsularea conform tehnologiilor SDH ETSI și SONET SUA se înfăptuiește analogic ca și pentru fluxul digital E1.



### **3.4. Încapsularea fluxului digital T2 în modulul STM-1 conform tehnologiilor SDH ETSI și SONET SUA**

Încapsularea fluxului digital T2 în modulul STM-1 se desfășoară conform următorului algoritm:

3.4.1. Semnalul sarcinii T2 ( $B=6\ 312$  kbps) în decursul perioadei de eșantionare  $T_e = 125\ \mu s$  conține  $6312 \cdot 10^3 : 64 \cdot 10^3 = 98,625 \approx 98$  byte informație utilă, care se amplasează în containerul C-2 cu dimensiunea  $106 = (98 + 8)$  byte.

3.4.2. La containerul C-2 se adaugă antetul de cale VC-2 POH cu lungimea de un byte, în rezultat se formează containerul virtual VC-2 cu dimensiunea:

$$C-2 + VC-2\ POH = VC-2$$

$$106 + 1 = 107\ \text{byte}$$

3.4.3. La containerul virtual VC-2 se adaugă indicatorul TU-2 PTR cu lungimea de un byte, în rezultat se formează blocul tributar TU-2 cu dimensiunea:

$$VC-2 + TU-2\ PTR = TU-2$$

$$107 + 1 = 108 = (9 \times 12)\ \text{byte}$$

Consecutivitatea blocurilor tributare TU-2 în rezultatul multiplexării byte cu byte în raportul 1:1 se transformă în grupul de blocuri tributare TUG-2 cu dimensiunea 108 byte. Astfel în modulul

STM-1 se vor încapsula 21 de blocuri tributare TU-2, adică 21 de fluxuri digitale T2.

În continuare încapsularea conform tehnologiilor SDH ETSI și SONET SUA se înfăptuiește analogic ca și pentru fluxul digital E1.

### **3.5. Încapsularea fluxurilor digitale E3/T3 în modulul STM-1 conform tehnologiilor SDH ETSI și SONET SUA**

Încapsularea fluxurilor digitale E3/T3 în modulul STM-1 se înfăptuiește conform următorului algoritm:

3.5.1. Semnalul sarcinii E3/T3 ( $B=34\ 368\ \text{kbps}/B=44\ 736\ \text{kbps}$ ) în decursul perioadei de eșantionare  $T_e = 125\ \mu\text{s}$  are  $34368 \cdot 10^3 : 64 \cdot 10^3 / 44736 \cdot 10^3 : 64 \cdot 10^3 = 537/699$  byte informație utilă, care se amplasează în containerul C-3 cu dimensiunea  $756 = (537 + 219) / (699 + 57)$  byte.

3.5.2. La containerul C-3 se adaugă antetul de cale VC-3 POH cu lungimea de 9 byte, în rezultat se formează containerul virtual VC-3 cu dimensiunea:

$$C-3 + VC-3\ POH = VC-3$$

$$756 + 9 = 765 = (9 \times 85)\ \text{byte}$$

La etapa a treia sunt posibile două convertiri ale containerului virtual VC-3:

3.5.3. (1) Conform tehnologiei SDH ETSI la convertirea VC-3 în blocul tributar TU-3 la el se adaugă indicatorul TU-3 PTR cu lungimea de 9 byte, în rezultat se formează blocul tributar TU-3 cu dimensiunea  $774=(9 \times 86)$  byte, consecutivitatea cărora în rezultatul multiplexării byte cu byte în raportul 1:1 se transformă în grupul de blocuri tributare TUG-3 cu dimensiunea  $774=(9 \times 86)$  byte.

În continuare încapsularea conform tehnologiei SDH ETSI se desfășoară analogic ca și pentru fluxul digital E1. Astfel în modulul STM-1 se vor încapsula 3 blocuri tributare TU-3, adică 3 fluxuri digitale E3/T3.

3.5.3. (2) A doua convertire VC-3 în modulul administrativ de nivelul trei AU-3, conform tehnologiei SONET SUA, se desfășoară analogic ca și pentru fluxul digital E1.

## BIBLIOGRAFIE

1. Kevin Wallace, David Hucaby, Raymond Lacoste, CCNP Routing and Switching v2.0 Official Cert Guide Library, Editura: Cisco Press (US), 2014.
2. Стерлинг Д.Д. Волоконная оптика. – Москва: Лори, 2013.
3. Гордиенко В., Крухмалов В., Моченов А. Оптические телекоммуникационные системы. – Москва: Горячая Линия -Телеком, 2011.
4. Гольдштейн Б.С., Соколов Н.А., Яновский Г.Г. Сети связи.– Санкт -Петербург: БХВ-Петербург, 2010.
5. Бейли Д., Райт Э. Волоконная оптика: теория и практика. – Москва: Мир, 2006.
6. Фриман Р. Волоконно-оптические системы связи. – Москва: Мир, 2004.
7. Слепов Н.Н. Современные технологии цифровых оптоволоконных сетей связи. – Москва : Радио и связь, 2003.
8. Гитин В.Я., Кочановский Л.Н. Волоконно-оптические системы передачи. – Москва: Радио и связь, 2003.
9. Шмалько А.В. Цифровые сети связи : основы планирования и построения. – Москва: Эко-Трендз, 2001.
10. Убайдуллаев Р.Р. Волоконно-оптические сети. – Москва: Эко-Трендз, 2000.

# SISTEME DE TRANSMISIUNI OPTOELECTRONICE

Ghid

Autori: Pavel NISTIRIUC

Ana NISTIRIUC

Nicolae BEJAN

Suzana GUIBAN

Ion NISTIRIUC

Redactor: E. Gheorghişteanu

---

Bun de tipar 13.09.16

Formatul 60x84 1/16

Hîrtie ofset. Tipar RISO

Tirajul 50 ex.

Coli de tipar 2,25

Comanda nr. 67

---

2004, UTM, Chişinău, bd. Ştefan cel Mare şi Sfânt, 168

Editura "Tehnica-UTM"

2068, Chişinău, str. Studenţilor, 9/9

