

# INVESTIGAREA ATENUATORULUI OPTIC ÎN BAZA FLUIDULUI MAGNETOREOLOGIC

Ana NISTIRIUC

Universitatea Tehnică a Moldovei

**Abstract:** sunt prezentate rezultatele eleborării atenuatorului optic ajustabil (AOA) în baza fluidului magnetoreologic (FMR) destinat pentru funcționarea în gama spectrală 0,4...6  $\mu\text{m}$ . Au fost identificate principalele caracteristici și demonstrată perspectiva utilizării practice a AOA în baza FMR.

**Cuvinte cheie:** Atenuator optic ajustabil, fluid magnetoreologic, carbonil fier, ulei de polietilsiloxan.

## 1. Preliminarii

În procesul de acordare și măsurare a parametrilor diferitor dispozitive optice și sistemelor de transmisie a informației prin fibre optice (STIFO) este necesară ajustarea nivelului de putere în calea de linie sau în dispozitivele de decuplare, care reduc acțiunea sarcinei asupra diodei laser. Funcțiile nominalizate pot fi realizate cu ajutorul AOA, care se divizează în trei tipuri: ajustabile discret, ajustabile continuu și combinate. În AOA existente se utilizează diferite metode de promovare a atenuării cu utilizarea deplasărilor axiale și radiale a prismelor și diferitor filtre.

În prezenta lucrare este elaborat și investigat AOA în baza FMR, atenuarea în care se dirijează cu ajutorul câmpului magnetic exterior și metoda de promovare a atenuării se bazează pe utilizarea oscilațiilor plasmatice ale electronilor liberi în metalele intermediare și în particular după cum este fierul.

## 2. Partea de bază

Proiectarea STIFO se realizează reieșind din valoarea calculată pentru bugetul de energie și de reglă, valorile reale ale bugetului de energie obținute în rezultatul testelor de control a STIFO se deosebesc de valorile calculate utilizate la proiectarea STIFO. Astfel, este necesar de a estima rezerva de exploatare conform puterii pentru STIFO și în cazul dat se utilizează principiul testelor de stres, adică imitarea condițiilor dificile de funcționare a STIFO cu ajutorul AOA [1].

Un parametru important al STIFO este lungimea sectorului de regenerare. Lungimea sectorului de regenerare se divizează 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. 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.

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  $L_r$

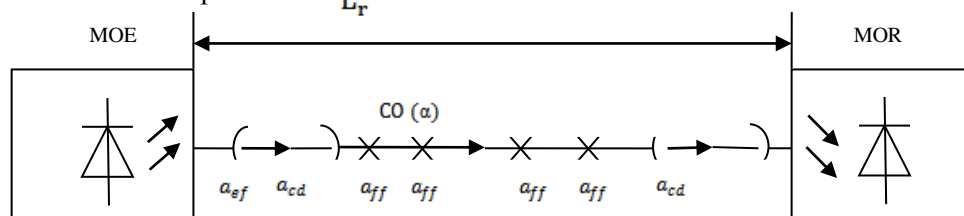


Fig. 1. Reprezentarea grafică a sectorului de regenerare pentru STIFO.

Conform fig.1 sunt utilizate următoarele notații:

1. MOE și MOR sunt respectiv modulul optoelectronic de emisie și modulul optoelectronic de recepție;
2.  $L_r$  – lungimea sectorului de regenerare;
3.  $CO(\alpha)$  – cablu optic cu coeficientul de atenuare  $\alpha$ ;

4.  $a_{ef}$  – pierderile în conectorul emițător – fibră;
5.  $a_{cd}$  – pierderile în conectorul demontabil;
6.  $a_{ff}$  – pierderile în joncțiunile sudate fibră – fibră;
7.  $a_{fr}$  – pierderile în conectorul fibră – receptor.

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

$$p_r = p_e - a_{ef} - na_{cd} - Na_{ff} - \alpha L_r - a_{fr} - a_r \geq p_{r.adm.} \quad (1)$$

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;

$a_r$  – rezerva bugetului STIFO.

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

$$Q = 10\lg(P_e/P_r) = 10\lg P_e - 10\lg P_r = p_e - p_r \quad (2)$$

Numărul de joncțiuni sudate fibră – fibră  $N$  depinde de lungimea sectorului de regenerare  $L_r$  și lungimea de construcție a cablului optic  $l_c$ .

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

$$N = (L_r/l_c) - 1 \quad (3)$$

Luând în considerare expresiile (1 – 3) formula pentru bugetul de energie poate fi transcrisă sub forma:

$$Q = L_r[\alpha + (a_{ff}/l_c)] - a_{ff} + a_r + a_{ef} + a_{fr} + na_{cd} \quad (4)$$

Din formula (4) obținem expresia pentru determinarea lungimii maxime a sectorului de regenerare în cazul cînd în traficul de linie predomină atenuarea semnalului și se îndeplinește condiția  $B \leq B_{cr}$  :

$$L_{rmax1} = (Q - a_r - a_{ef} - a_{fr} - na_{cd} + a_{ff})/[\alpha + (a_{ff}/l_c)] \quad (5)$$

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:

$$B_{cr} = \alpha/4\tau W \quad (6)$$

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

$\tau$  - dispersia kilometrică a cablului optic;

$$W = Q - a_{ef} - a_{fr} \quad (7)$$

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

$$L_{rmin} = (Q - A - a_r - a_{ef} - a_{fr} - na_{cd} + a_{ff})/[\alpha + (a_{ff}/l_c)] \quad (8)$$

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

În cazul cînd distanța este mai mică decât lungimea minimă a sectorului de regenerare pentru protejarea fotodiodei de congestie sunt utilizate AOA.

Designul AOA în baza FMR este reprezentat în fig. 2 și este constituit din celula din sticlă organică (1), două segmente de fibre optice din cuarț (2), două conecitoare demontabile (3), magneții permanenți (4), electromagnetul (5), orificiul (6) cu diametrul  $\sim 1$  mm amplasat perpendicular direcției de propagare a semnalului optic, care conține FMR constituit din praf de carbonil fier (7) cu dimensiunile particulelor  $\sim 1000$  Å și ulei de polietilsiloxan (8).

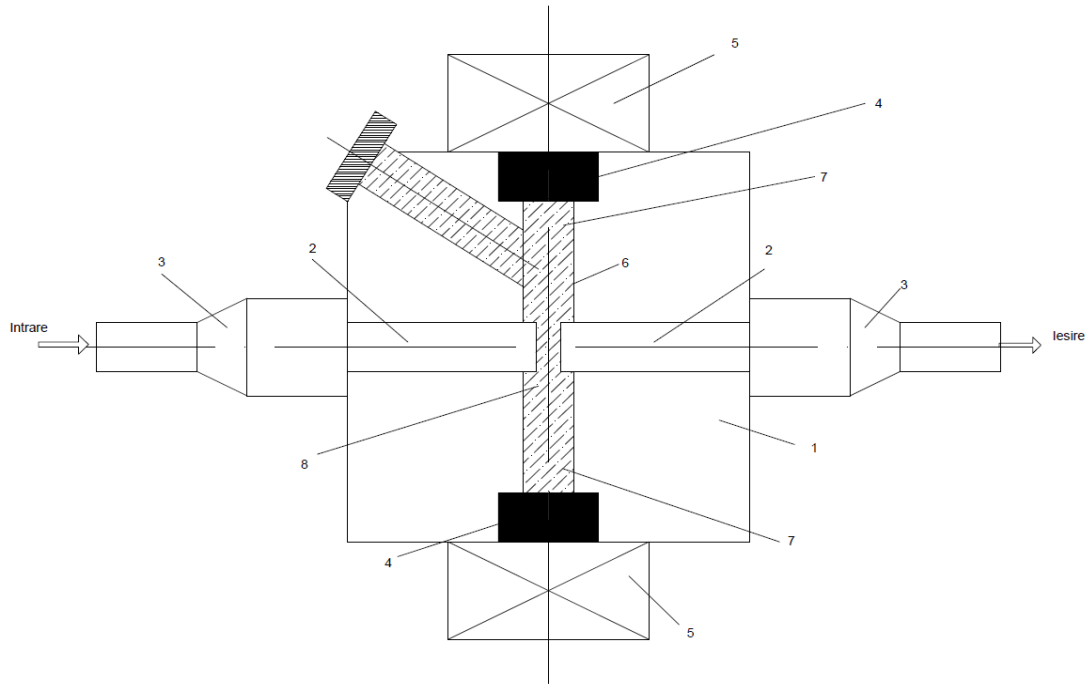


Fig. 2. Atenuator optic ajustabil în baza fluidului magnetoreologic.

Carbonil fier se caracterizează prin intermediul următorilor parametri: permeabilitatea magnetică relativă inițială  $\mu_i = 2000 \dots 3000$ , permeabilitatea magnetică relativă maximă  $\mu_{max} = 20000 \dots 21500$ , inducția magnetică de saturație  $B_s = 2,18 \text{ T}$ , inducția magnetică reziduală  $B_r = 0,6 \text{ T}$ , forța coercitivă  $H_c = 6,4 \text{ A/m}$ , temperatura punctului Curie  $t_c = 770 \text{ }^\circ\text{C}$ , rezistivitatea  $\rho = 10^7 \text{ } \Omega \cdot \text{m}$  [2]. Uleiul de polietilsiloxan este netoxic, ecologic sigur și se caracterizează prin următorii parametri: permitivitatea relativă  $\epsilon = 2,4 \dots 2,5$ , tangenta unghiului pierderilor dielectrice  $\text{tg } \delta = (2 \dots 3) \cdot 10^{-4}$ , rezistivitatea  $\rho = 10^{11} \dots 10^{12} \text{ } \Omega \cdot \text{m}$  și tensiunea de defalcare  $U_d \geq 45 \text{ kV}$  [3].

Luând în considerare, că AOA cu FMR funcționează în baza metodei de atenuare cu utilizarea oscilațiilor plasmatice ale electronilor liberi în fier Fe, frecvența plasmatică  $\omega_p$  pentru electronii Fe se determină conform expresiei [4]:

$$\omega_p^2 = 4 \pi n e^2 / m, \quad (9)$$

unde  $n$  este concentrația electronilor în Fe,  $e$  – sarcina electronului,  $m$  – masa electronului. Concentrația electronilor în Fe conform formulei [4]:

$$n = d \cdot N_0 / M, \quad (10)$$

pentru densitatea Fe  $d = 7870 \text{ kg/m}^3$ , numărul Avogadro  $N_0 = 6,02 \cdot 10^{26} \text{ kmol}^{-1}$  și masa moleculară a Fe  $M = 55,847 \text{ kg/kmol}$ , alcătuiește  $0,848 \cdot 10^{25} \text{ cm}^{-3}$ . Luând în considerare valoarea obținută pentru concentrația electronilor în Fe, frecvența plasmatică alcătuiește  $\omega_p = 1,14 \cdot 10^{16} \text{ Hz}$ , ce corespunde energiei  $\sim 7,5 \text{ eV}$ , prin urmare astfel de oscilații nu pot fi excitate de oscilațiile termice ale atomilor de Fe.

Expresiile corespunzătoare pentru părțile reală și imaginară ale indicelui complex de refracție se descriu prin relațiile [4]:

$$n^2 - k^2 = \{1 - [\omega_p^2 \tau^2 / (1 + \omega_p^2 \tau^2)]\} \quad (11)$$

și

$$2nk = \{\omega_p^2 \tau / [\omega (1 + \omega_p^2 \tau^2)]\} . \quad (12)$$

Timpul de relaxare  $\tau$  pentru electronii de conductibilitate din metale se determină conform formulei [4]:

$$\tau = \sigma m / n e^2 \quad (13)$$

și pentru Fe alcătuiește  $\sim 4,19 \cdot 10^{-15} \text{ s}$  (unde  $\sigma = 1/\rho$  este conductibilitatea specifică).

Conform teoriei lui Drude, la interacțiunea electronilor de conductibilitate a metalelor cu unda electromagnetică din gama optică este necesar de a analiza trei game de frecvențe, după cum urmează:

- Prima gamă –  $\omega \ll 1/\tau$ , este gama de frecvențe joase. Partea imaginară  $n^2$  în cazul dat este cu mult mai mare în comparație cu partea reală, astfel încât metalul este foarte reflexiv. Coeficientul

de absorbție practic nu depinde de  $\omega$  și este proporțional conductibilității. Partea reală  $n^2$  posedă valoare negativă și conform valorii absolute este cu mult mai mare decât unitatea;

- A doua gamă –  $1/\tau \ll \omega \ll \omega_p$ , este gama de relaxare, unde în numitorul expresiilor (11) și (12) termenul  $\omega_p^2 \tau^2$  începe să joace un rol important. Coeficientul de absorbție rapid se reduce cu frecvența și este proporțional  $1/\omega^2$  și invers proporțional conductibilității. Partea imaginară  $n^2$  devine mai mică decât partea reală, care se păstrează de valoare negativă și se determină prin expresia [4]:

$$n^2 - k^2 = 1 - (\omega_p^2 / \omega) . \quad (14)$$

Astfel, încât metalul este încă foarte reflectorizant, coeficientul de reflexie R se determină prin expresia:

$$R = 1 - (2/\omega_p \tau) . \quad (15)$$

- Gama a treia -  $\omega_p \ll \omega$ , este gama în care partea reală  $n^2$  devine de valoare pozitivă și reflectivitatea se reduce până la zero. Metalul în cazul dat ar trebui să devină mai mult sau mai puțin transparent, deoarece coeficientul de absorbție  $\Theta$  este egal:

$$\Theta = \omega_p^2 / \omega^2 \tau c , \quad (16)$$

*unde:* c este viteza luminii în vid.

Comportamentul caracteristicilor optime a Fe în gama lungimilor de undă  $\lambda = 0,4...6 \mu\text{m}$  corespunde gamei a două, adică gamei de relaxare în care frecvența de funcționare  $\omega < \omega_p$ , ceea ce conduce la o reflectare practic completă a luminii.

AOA în baza FMR funcționează în modul următor. În stare inițială electromagnetul este deconectat și praful carbonil fier (7) este separat cu ajutorul magneților permanenți (4) în punctele extreme ale orificiului celulei, eliberând astfel interstițiul dintre suprafețele frontale a fibrelor optice (2). Atenuarea reziduală cauzată de conectarea AOA în baza FMR, adică atenuarea minimă, alcătuiește aproximativ minus 2 dBm. Sub acțiunea câmpului magnetic al electromagnetului particulele de praf carbonil fier treptat încep să se redistribuie concentrându-se în regiunea interstițiului dintre suprafețele frontale a fibrelor optice (2). La modificarea intensității câmpului magnetic creat de electromagnet (5) de la 0 până la 50 A/m gama de atenuare AOA în baza FMR alcătuiește de la minus 2 până la minus 50 dBm cu rezoluția de minus 0,5 dBm. Un parametru important al AOA în baza FMR este nivelul pierderilor de returnare cauzate reflexia parțială a semnalului în direcție inversă. Pentru a obține un nivel propriu redus de reflexie a AOA în baza FMR, particulele prafului carbonil fier au fost prelucrate în material antireflexiv și nivelul pierderilor de returnare a semnalului în direcție inversă alcătuiește minus 45 dBm. AOA în baza FMR constituit din praf carbonil fier și ulei de polietilsiloxan poate fi utilizat pentru a funcționa în gama temperaturilor (-45...+75) °C.

Pentru măsurarea caracteristicilor AOA în baza FMR au fost utilizate modulele optoelectronice de emisie МПД-1-1А-1 ( $\lambda = 0,85 \mu\text{m}$ ), ПОМ-15 ( $\lambda = 1,3 \mu\text{m}$ ), ПОМ-16 ( $\lambda = 1,55 \mu\text{m}$ ) și wattmeter-ul optic ОМК3-79.

## Concluzii

AOA în baza FMR sunt simple în confecționare, nu necesită prisme și filter optice, posedă stabilitate termică înaltă și permit să obținem caracteristici care nu cedează caracteristicilor celor mai modern AOA (5).

## Bibliografie

1. Шувалов В., Егунов М., Минина Е. Обеспечение показателей надежности телекоммуникационных систем и сетей. – Москва: Горячая линия – Телеком, 2015. – 384 с.
2. Мишин Д.Д. Магнитные материалы. - Москва: Высшая школа, 1991. – 384 с.
3. Филикова В.А. Конструкционные и электротехнические материалы. – Москва: Высшая школа, 1990. – 296 с.
4. Займан Дж. Принципы теории твердого тела. – Москва: - Мир, 1974. – 472 с.
5. Хамадулин Э. Методы и средства измерений в телекоммуникационных системах. – Москва: Юрайт, 2014. – 365 с.