

# THE SUPPRESSION OF MECHANICAL STRESS IMPACTS IN FIBER OPTIC TRANSMISSION SYSTEMS

**Michal Pavlů**

Bachelor Degree Programme (1), FEEC BUT

E-mail: xpavlu05@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Drexler Petr

E-mail: drexler@feec.vutbr.cz

## ABSTRACT

This bachelors project deals with the suppression of mechanical stress impacts in fiber optic transmission systems. Influences that have major influence on losses in optical fiber are discussed. The theoretical analysis of stress effect suppressions methods in optical fibers are performed. The selected method has been numerically and experimentally realised. The appropriateness of the proposed method, is evaluated on the basis of experimental results.

## 1. ÚVOD

Princip přenosu signálu po optických vláknech je znám již poměrně dlouho. Využívá dobře známých fyzikálních zákonitostí - jde především o Snellův zákon lomu, který říká, že se světelný paprsek na rozhraní dvou prostředí z části láme a odráží zpět, a z části prostupuje do druhého prostředí. Vše samozřejmě závisí ještě na poměru optických vlastností obou prostředí, zejména na jejich indexech lomu a na úhlu, pod kterým paprsek na rozhraní dopadá.

## 2. ROZBOR

Pro potlačení negativního vlivu lineárního dvojlomu vlastního i indukovaného bylo publikováno několik metod, kterými lze kompenzovat útlum při mechanickém namáhání optického vlákna [1]. Pro potlačení parazitního dvojlomu je možné konstruovat senzory se zpětným šířením optického signálu [2]. Tento přístup využívá skutečnosti, že Faradayův jev je nerekipročního charakteru, zatímco lineární dvojlom je charakteru recipročního. Světelná vlna, která projde rotátorem a po odrazu jím prochází v opačném směru, bude mít stočenou rovinu polarizace o dvojnásobný úhel oproti případu, kdy jím projde pouze jedním směrem. Pokud uvažujeme přítomnost lineárního dvojlomu, jeho vliv na šíření světelné vlny v rotátoru nezávisí na směru šíření a může být tak vhodným způsobem kompenzován. Perspektivním způsobem je využití ortokonjugálního retroreflektoru (OKR), označovaného také jako Faradayovo zrcadlo. OKR je odrazný optický komponent sestávající se ze zrcadla a Faradayova rotátoru s úhlem stočení roviny polarizace  $\theta = 45^\circ$ .

## 2.1. MATICOVÁ ANALÝZA – JONESŮV POČET

Celkovou informaci o stavu polarizace získáme pomocí amplitud a fáze ortogonálních složek vektoru elektrického pole v rovině polarizace. Informace o amplitudě a fázi bývají reprezentovány pomocí dvojdimenzionálního vektoru zvaného Jonesův vektor  $\mathbf{J}$ . Polarizační vlastnosti optických prvků bývají reprezentovány pomocí Jonesových matic  $\mathbf{T}$ . Při využití OKR je vektor výstupní světelné vlny popsán vztahem

$$\mathbf{J}_4 = \mathbf{T}_{\text{OV}} \cdot \mathbf{T}_{\text{OKR}} \cdot \mathbf{T}_{\text{OV}} \cdot \mathbf{J}_1, \quad (1)$$

kde  $\mathbf{T}_{\text{OV}}$  a  $\mathbf{T}_{\text{OKR}}$  jsou Jonesovy matice optického vlákna a OKR a  $\mathbf{J}_1$  vektor vstupní vlny.

## 2.2. MATICOVÁ ANALÝZA

$$\begin{aligned} \mathbf{J}_4 = \mathbf{T}_{\text{OV}} \cdot \mathbf{J}_3 &= \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} \alpha + j\beta & -\gamma \\ \gamma & \alpha - j\beta \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \alpha + j\beta - \gamma \\ \alpha - j\beta + \gamma \end{bmatrix} = \\ &= \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} \alpha^2 + \beta^2 - \gamma^2 + 2\alpha\alpha + j2\beta\beta \\ -\alpha^2 - \beta^2 + \gamma^2 + 2\alpha\alpha - j2\beta\beta \end{bmatrix}. \end{aligned} \quad (2)$$

Výsledný vektor (2) je poměrně obtížné analyzovat z hlediska zkoumání vlivu kruhového a lineárního dvojlomu. Pro řešení můžeme analyzovat separátně případy, kdy ve vlákne působí vždy buď jen lineární dvojlom, nebo jen kruhový dvojlom.

Pokud uvažujeme přítomnost jen lineárního dvojlomu  $\delta$ , kruhový dvojlom  $\varphi = 0$ :

$$\begin{aligned} \mathbf{J}'_4 = \mathbf{T}_{\text{OV}} \cdot \mathbf{J}'_3 &= \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} \alpha' + j\beta' & 0 \\ 0 & \alpha' - j\beta' \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \alpha' - j\beta' \\ -\alpha' - j\beta' \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} \alpha'^2 + \beta'^2 \\ -(\alpha'^2 + \beta'^2) \end{bmatrix} = \\ &= \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} \cos^2 \frac{\delta}{2} + \sin^2 \frac{\delta}{2} \\ -(\cos^2 \frac{\delta}{2} + \sin^2 \frac{\delta}{2}) \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \end{bmatrix}. \end{aligned} \quad (3)$$

Na vstupu senzoru bude opět vlna lineárně polarizovaná. Rovina její polarizace je stočena o úhel  $\theta = 90^\circ$  (vliv OKR). Přítomný nežádoucí lineární dvojlom  $\delta$  byl potlačen.

Pro druhý případ uvažujeme přítomnost pouze kruhového dvojlomu indukovaného magnetickým polem měřeného proudu. Lineární dvojlom  $\delta = 0$ .

$$\begin{aligned} \mathbf{J}''_4 = \mathbf{T}_{\text{OV}} \cdot \mathbf{J}''_3 &= \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} \alpha'' & -\gamma'' \\ \gamma'' & \alpha'' \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \alpha'' + \gamma'' \\ -\alpha'' + \gamma'' \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} \alpha''^2 - \gamma''^2 + 2\alpha''\gamma'' \\ -(\alpha''^2 - \gamma''^2 - 2\alpha''\gamma'') \end{bmatrix} = \\ &= \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} \cos^2 \varphi - \sin^2 \varphi + 2\cos\varphi\cos\varphi \\ -(\cos^2 \varphi - \sin^2 \varphi - 2\cos\varphi\cos\varphi) \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} \cos^2 \varphi - \sin^2 \varphi + \sin 2\varphi \\ -(\cos^2 \varphi - \sin^2 \varphi - \sin 2\varphi) \end{bmatrix}. \end{aligned} \quad (4)$$

Ve výrazu (4) je člen  $\sin 2\varphi$ , který reprezentuje indukovaný kruhový dvojlom. Světelná vlna prochází vláknovým rotátorem v přímém a zpětném směru. Díky reciprocitě nabude vlna dvojnásobného úhlu stočení roviny polarizace.

Výsledný polarizační stav je pak určen superpozicí těchto stavů.

### 2.3. MĚŘENÍ

V tabulce 1 a 2 jsou uvedeny výsledky polarimetrického měření s/bez OKR. Ve druhém měření tabulky 1 je patrná přítomnost polarizace a velkou elipticitou. Při použití OKR (tabulka 2) je kompenzována. Stejný jev je kompenzován i u třetího měření.

	Průměr $\Phi$ [mm]	Počet závitů N [-]	X=90°[mV]	Y=0°[V]	(X-Y)/(X+Y)
1	$\infty$	0	44,0	1,71	-0,95
2	14,0	1	655,0	1,40	-0,36
3	22,8	4	20,6	0,52	-0,72

**Tabulka 1:** Polarimetrické měření bez přítomnosti OKR.

	Průměr $\Phi$ [mm]	Počet závitů N [-]	X=90°[mV]	Y=0°[V]	(X-Y)/(X+Y)
1	$\infty$	0	38,0	0,93	-0,92
2	14,0	1	62,0	0,96	-0,87
3	22,8	4	0,91	0,98	-0,83

**Tabulka 2:** Polarimetrické měření s OKR.

Z uvedených výsledků je zřejmé, že vybraná metoda potlačení parazitního dvojlomu konstrukcí senzorů se zpětným šířením optického signálu, se ukázala jako vhodná pro řešení tohoto problému. Drobné odchylky mohou být způsobeny fázovými posuny ortogonálních složek intenzit elektrického pole.

### 3. ZÁVĚR

Zaměřili jsme se na eliminaci lineárního dvojlomu, který je při mechanickém namáhání optického vlákna, především při ohybu, přítomen. Pro potlačení lineárního dvojlomu jsme vybrali metodu potlačení parazitního dvojlomu konstrukcí senzorů se zpětným šířením optického signálu, která se ukázala jako nejvhodnější metoda při zkoumání mechanických vlivů na optické vlákno, což bylo také ověřeno teoreticky maticovou analýzou pomocí Jonesova počtu a také praktickým měřením.

### LITERATURA

- [1] ROSE, A., REN, Z. F., DAY, G. W. Twisting and annealing optical fiber for current sensors. *Journal of Lightwave Technology*. 1996, vol. 14, vol. 11, p. 2492 - 2498.
- [2] YI, B., CHU, C. B., CHIANG, K.S., CHUNG, S. H. New design of optical electric-current sensor for sensitivity improvement. *IEEE Transaction on Instrumentation and Measurement*. 2000, vol. 49, no. 2