

# Оптичка влакна у периметарским системима ТЕХНИЧКЕ ЗАШТИТЕ

Слађана Пантелић<sup>1</sup>, Бранка Радојчић<sup>2</sup>

**Апстракт**— Тема рада је реализација система техничке заштите у оптичком домену, тј. упознавање са основним концептима примене оптичких влакана у разумевању сензорских система за периметарску заштиту објеката и оптичких мрежа у другим системима техничке заштите (видео надзора, контроле приступа, алармног система,...), који се могу и интегрисати. Периметар је појам који означава затворену линију унутар које се налазештићени простор иштићени објекти. Дат је пример пројектанског решења имплементације периметарског система техничке заштите, применом оптичких компонената. На тај начин, упознајемо карактеристике оптичких елемената система, а са циљем максималног искоришћавања њиховог потенцијала у савременим комуникационим системима. Сврха овог рада је била у опису најчешће коришћених оптичких сензора у системима периметарске заштите објеката, са нагласком на сензоре вибрација, који изазване промене у оптичком сигналу претварају у електрични сигнал погодан за даљу обраду и препознавање алармног стања. Детекција и тачна локализација места притиска, оштећења или прекида оптичког влакна, могућа је применом оптичких мерних метода, што омогућава техничку контролу имплементираних система техничке заштите.

**Кључне речи** — оптичко влакно, оптички сензор вибрација, периметарска заштита, алармно стање

## I. УВОД

Сталне претње од напада свих врста доводе до важности јачања мера заштите људи, имовине и пословања, као и критичне инфраструктуре објеката од државног интереса. Упркос веома јакој пубер сигурности, објекти морају бити заштићени јаким физичким баријерама, како би се спречили физички напади. Системи за детекцију упада у периметар често су први бедем одбране, па се периметарска заштита пројектује као заштитни обруч, који штити улазне тачке објекта. Наведени системи су напредовали усвојивши новије технолошке трендове, као и интеграцију с другим сигурносним системима (нпр., сензори за ограде и паметна сигурносна расвета). Паметна сигурносна

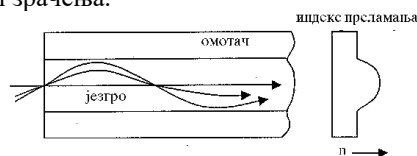
расвета је важан додатни алат у пројектовању целокупне заштите периметра [1].

## II. ОПТИЧКА ВЛАКНА И ОПТИЧКИ СЕНЗОРИ

Развој оптичких влакана је ишао у правцу проналажења нових технологија за обезбеђивање све мањих оптичких губитака и могућности производње све дужих и флексибилнијих влакана, као и у правцу повећања брзина комуникација и смањења цене. То је све пратио брз развој извора светлости – ласера и пријемника светла – фотодиода. По цени, оптичко влакно је данас најјефтинији медијум за пренос информација [1-3].

Простирање светлосног снопа кроз оптичко влакно засновано је на принципу преламања светлости. Када светлосни сноп из средине већег индекса преламања (језгро) прелази у средину мањег индекса преламања (омотач), долази до његове рефлексije назад у средину са већим индексом преламања. Деле се на мономодна и мултимодна оптичка влакна.

Мономодна оптичка влакна се користе за реализацију далеких веза, а све више и у локалним мрежама. Пречник језгра им је од 3,5  $\mu\text{m}$  до 10  $\mu\text{m}$  (у зависности од таласне дужине која се користи) а пречник примарног омотача је 125  $\mu\text{m}$  [4]. Због малог пречника језгра код мономодног оптичког влакана не долази до појаве модалне дисперзије, тако да има велики пропусни опсег, који је ограничен само хроматском дисперзијом, Сл. 1. Недостатак му је мали пречник језгра, па захтева извор са компатибилном емитујућом површином и одговарајућим угаоним дијаграмом зрачења.



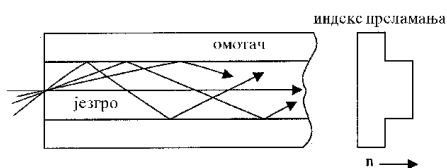
Сл. 1. Простирање светлости кроз мономодно оптичко влакно: изглед пресека влакна, путање и профила индекса преламања.

Код мултимодних влакана примарни омотач је направљен од материјала чији је индекс преламања мањи од индекса преламања језгра. Могу бити са степенастим и градијентним индексом преламања, Сл. 2. и Сл. 3. Влакна са степенастим индексом преламања имају пречник језгра од 50  $\mu\text{m}$  до 1000  $\mu\text{m}$ . То су јефтина оптичка влакна, једноставна су за употребу, али су ограниченог пропусног опсега. Не користе се за потребе преноса података. Градијентно мултимодно оптичко влакно има

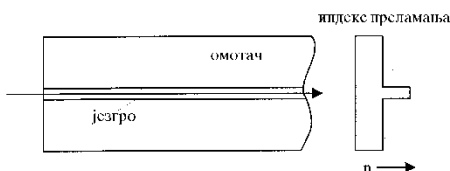
<sup>1</sup> Слађана Пантелић – Универзитет у Београду, Електротехнички факултет, Булевар краља Александра 73, 11120 Београд (e-mail: [sladjanapantelic@yahoo.com](mailto:sladjanapantelic@yahoo.com))

<sup>2</sup> Бранка Радојчић – Универзитет у Београду, Електротехнички факултет, Булевар краља Александра 73, 11120 Београд (e-mail: [br.radojcic@yahoo.com](mailto:br.radojcic@yahoo.com))

параболичан профил промене индекса преламања у материјалу језгра.



Сл. 2. Простирање светлости кроз мултимодно оптичко влакно са степенастим индексом преламања: изглед пресека влакна, путање и профила индекса преламања



Сл. 3. Простирање светлости кроз мултимодно оптичко влакно са градијентним индексом преламања: изглед пресека влакна, путање и профила индекса преламања

Предност мултимодних оптичких влакана је велики пречник језгра, тако да је знатно олакшано убацивање светлости у њих, као и њихово међусобно спајање. Недостатак мултимодних оптичких влакана је појава модалне дисперзије. Она настаје када се оптичка снага убаченог светлосног импулса распореди на све модове у влакно, који се крећу благо различитим брзинама, што доводи до кашњења неких модова на излазу из оптичког влакна, па долази до развлачења импулса. Модална дисперзија се смањује употребом градијентних влакана.

Оптичка влакна се примењују у оптичким сензорима још од 1977. год., и представљају главне елементе у специјалним сензорима за мерење: акустичких величина, магнетских величина, температуре, притиска, брзине, убрзања, итд. Сензори на бази оптичког влакна се деле на интерферометријске (мерена величина изазива интерферентне ефекте) и амплитудске (мерена величина модулише интензитет светлости).

Оптички сензори се састоје од извора светлости и пријемника. Као извори светлости најчешће се користе полупроводничке светлеће диоде - ЛЕД и ласерске диоде - ЛД. Оне дају довољно велику и просторно усмерену оптичку снагу а димензије су им прилагођене димензијама оптичких влакана. Пријемник светлости претвара оптичку енергију у електрични сигнал, а најчешће се користе фотодиоде, фототранзистори и фотоотпорници. Оптички сигнал може бити у подручју видљиве светлости или инфрацрвене и ултраљубичасте светлости, у невидљивом делу спектра [5].

Мерена физичка величина је у вези са одређеним параметром оптичког сигнала, који је у ствари електромагнетски талас фреквенције 1013–1015 Hz. Промена параметара оптичког сигнала сразмерно амплитуди мерене физичке величине, представља модулацију тог сигнала. Основни параметри оптичког сигнала су: амплитуда, фреквенција, фаза, поларизација и расејање светлосног сигнала. Оптички сензори се могу употребити у условима деловања јаког магнетног поља, високе температуре, електричних шума и корозије, па

су много флексибилнији и поузданији од класичних сензора. Лоше особине су им: сложеност израде, обраде сигнала, захтевају оптичку видљивост између пријемника и предајника.

### III. ПРИМЕНА И ИНСТАЛАЦИЈА ОПТИЧКОГ ВЛАКНА У ПЕРИМЕТАРСКОМ АЛАРМНОМ СИСТЕМУ

Алармне системе чине уређаји, који упозоравају на нека задата нежељена стања. Постоје различите врсте аларма, светлосни, звучни, вибрирајући, или у облику електронске информације и упозорења од ниске или високе температуре, упозорење на присутност разних плинава, дима, SOS дојаве, затим противпровални и противпрепадни аларми. Алармни системи се углавном имплементирају у комбинацији са савременим системом видео надзора. Најчешћи облик аларма је противпровални, где алармни уређаји светлосно и звучно, разним телефонским, радио, IP или GSM, GPRS, 5G дојавама узбуњују раднике обезбеђења или власнике неке имовине. Један од тих система је и сензорски систем периметарске заштите са оптичким влакнима.

Систем периметарске заштите, који се у основи састоји од једног или више оптичких влакана у улози сензора, већ је добро познат на тржишту техничке заштите. Њихова примена заснована је на провереној поузданости и квалитету перформанси,

Чињеница да оптичка влакна као сензори система, за пренос информација и детекцију аларма не користе електричне сигнале, већ светлост на посебним таласним дужинама, омогућава њихово коришћење на већим удаљеностима при чему су отпорни на муње, високу температуру, корозију, електромагнетне сметње или друге електричне сигнале.

Постоје два главна типа система ране детекције провале на бази оптичких влакана: зонски систем, са традиционалним хардвером и новији, осетљивији, интерферометријски систем који, на основу технике коју примењују, може прецизније и поузданије одредити провалу на огради. Иако су оба наведена система заснована на оптичким влакнима, фундаментални принципи, који стоје иза њих су сасвим другачији, а самим тим и њихове перформансе и примена у пракси.

Како се кроз оптичко влакно преноси светлосни сигнал, било какво савијање или покретање истог, доводи до промена његових преносних особина. Принцип рада је да се, током редовне ситуације у систему периметарске заштите, ласерски емитује једносмерни монохроматски светлосни талас, који се шаље кроз каблирано оптичко влакно, уграђено дуж ограде (на врху ограде или у њеном средњем делу). Након рефлексије, рефлектовани светлосни талас се враћа до пријемника ради утврђивања мирног стања, односно стања без аларма. Када дође до илегалног напада тј. када неко покуша да се попне уз ограду, оптички кабл почиње да се физички помера, при чему се особине светлости, која путује оптичким влакном мењају. Тада се у систему, тј. пријемнику, детектује промена интензитета пренешене светлости, па ако иста пређе неки, унапред постављени, праг или се поклопи са одређеним дефинисаним критеријумима, подиже се стање

аларма. При томе се у обзир узимају и прате најважније карактеристике рефлектоване светлости, чије промене подразумевају снагу, фазу, таласну дужину, поларизацију и дисперзију [6].

На основу наведеног може се рећи да су ови сензорски системи подложни утицају најразличитијих сметњи (ветар, микросеизмичко подрхтавање тла, град, пролазак возила, итд.). Да би се у великој мери онемогућиле појаве лажних аларма, за повећање отпорности на буку користе се сложени алгоритми за препознавање, имплементирани помоћу уграђених микропроцесора.

Могућа алармна стања периметарских сензора са оптичким влакнима, сврставамо у четири категорије:

- аларм за упад: покушај илегалног уласка који изазива вибрације оптичког влакна;

- аларм за прекид жице: прекид оптичког кабла сензора;

- аларм за растављање: незаконито растављање или уништавање на местима спојева оптичких влакана;

- квар у комуникацији: комуникацијски оптички кабл је искључен.

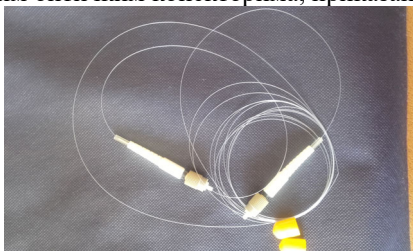
На Сл. 4., је као пример приказан изглед периметарске оgrade, изграђене крајем 2018. год., између Крима и Украјине. Ограда је дужине 60 километара и састоји се од неколико типова барикада, различитих типова сензора, видљивих и скривених система видео надзора, укључујући и инфрацрвену опрему. Уграђен је и систем сензора осетљивих на вибрације [7].



Сл. 4. Ограда опремљена сензорима између Крима и Украјине

#### IV. УТИЦАЈ ЛАСЕРСКОГ ЗРАЧЕЊА НА МОНОМОДНО ОПТИЧКО ВЛАКНО КОЈЕ СЕ КОРИСТИ У ПЕРИМЕТАРСКОЈ ЗАШТИТИ

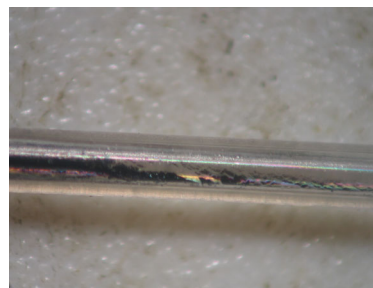
У експерименталном делу, извршено је испитивање утицаја ласерског зрачења на комерцијално мономодно оптичко влакно ( $9/125 \mu\text{m}$ ), које се користи у периметарској заштити. Израђени оптички спојни кабл, са постављеним оптичким конекторима, приказан је на Сл.5.



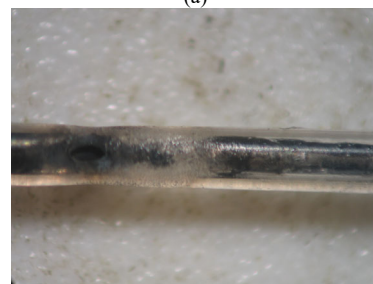
Сл. 5. Оптички спојни кабл од мономодног оптичког влакна са FC/PC конекторима на крајевима.

Комерцијална оптичка влакна могу бити сачињена од различитих материјала. Један од типова оптичких влакана су вишеккомпонентна стаклена оптичка влакна, чије језгро и омотач чине стакла различитог хемијског састава. Добијају се стапањем ултрачистих прахова. Стакла, која чине омотач и језгро одвојено се стапају, а затим спајају у компактно влакно у специјално конструисаном двоструком тиглу. Најчешће коришћена оптичка влакна су такозвана PCS (polymer coated silica), коју чини влакно од допираног кварцног стакла са заштитном полимерном превлаком [8-10].

Приказани оптичко влакно је изложено  $\text{Nd}^{3+}:\text{YAG}$  импулсном ласерском снопу. Ласер је комерцијалног типа са могућношћу промене и енергије импулса и густине снаге (од неколико J, понављањем од 1 до 10 Herz). Генерално, средња снага је била у опсегу kW. Интеракција снопа и узорка изведена је у ваздушној атмосфери (обични услови) са упадним углом од  $90^\circ$ . Интеракција је вршена са једним (Сл. 6. (a)) или више импулса у једној тачки (Сл. 6. (б)).



(a)



(б)

Сл. 6. (a) Микроскопски снимак интеракције оптичког влакна са једним импулсним снопом  $\text{Nd}^{3+}:\text{YAG}$  ласера; (б) Микроскопски снимак интеракције оптичког влакна са више импулсних снопова  $\text{Nd}^{3+}:\text{YAG}$  ласера.

На основу приказаног на Сл. 6. и видних оштећења на оптичком влакну, може се закључити да оптичка влакна нису отпорна на утицај ласерског зрачења. Околност, која ову чињеницу олакшава је да су мономодна оптичка влакна изузетно малих пречника језгра, па је вероватноћа да се влакно погоди на периметарској огради, и на тај начин оштети, је мала.

#### V. ЗАКЉУЧАК

На основу наведеног, може се очекивати да ће напредак технологије оптичких сензора у будућности довести до

раста сектора заштите периметра. Међутим, оптички сензори су већ међу најпопуларнијим технологијама на тржишту система за заштиту периметра, било да се ради о онима који се постављају на ограде или технологији за детекцију вибрација. Интеграција оптичких сензора за ограде с другим системима техничке заштите, као што је на пример паметно осветљење, омогућава и нове функције и апликације. Интелигентно осветљење може реаговати на периметарске упаде прилагођавањем интензитета светлости или стробирањем у угроженим зонама, чиме се повећавају могућности одвраћања и процене претње. Једна од најважнијих предности оптичких сензора за заштиту периметра је да су идеални за уградњу у већ постојеће-изграђене периметарске ограде, тј. за надоградњу већ имплементираних система, што значајно утиче на смањење финансијских трошкова инвеститора.

Експерименталним радом је утврђено да оптичка влакна нису отпорна на утицај ласерског зрачења али су изузетно малих пречника језгра, па је вероватноћа да се влакно погоди на периметарској огради, и на тај начин оштети, је мала.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] T. Nakahara, M. Hoshikawa, T. Sugawa, M. Watanabe, "Fiber Optics" from *Ulmann's Encyclopedia of industrial chemistry*, Fifth, Completely Revised Edition, Vol. A10 (1990), pp. 433-450.
- [2] Ramaswami R., Sivarajan N. K., Sasaki H. G., "Optical Networks", Third Edition, Morgan Kaufmann, Elsevier, USA, 2010.
- [3] С. Пантелић, „Анализа оптичких ефеката на растављивим и нерастављивим спојевима оптичких влакана”, COBISS.SR-ID 228185868, ISBN 978-86-7466-652-4, Београд: Академска мисао, 2016.год., 179 стр., тираж 200.
- [4] А. Маринчић, "Оптичке телекомуникације", Универзитетски уџбеници 39, пп.290-6. и 205-8. Београд, 1997.
- [5] С. Пантелић, „Оптичке појаве на оптичким влакнима и спојевима оптичких влакана”, COBISS.SR-ID 228184332, ISBN 978-86-7466-653-1, Београд: Академска мисао, 2016.год., 120 стр., тираж 200.
- [6] Carlson C., "Fiber's Role in the Video Security&Surveillance Network", [http://www.bicsi.org/pdf/winter\\_2010/Curt\\_Carlson.pdf](http://www.bicsi.org/pdf/winter_2010/Curt_Carlson.pdf), 03.05.2015.
- [7] Извор дневна штампа „ПОЛИТИКА”, рубрика Свет, петак, 28.12.2018. у 13:49.
- [8] А. V. Ivanov, *Pročnost optičeskih materialov*, Mašinstroenie, Leningrad, 1989. (In Russian)
- [9] R. M. Wood, *Laser Damage in Optical Materials*, Adam Hilger, Bristol, 1986.
- [10] A.A.Mak, L.N.Sopms, V.A.Fromntel, V.E.Yašin, *Lazeri na neodimovom stekle*, Nauka, Moskva, 1990.

#### ABSTRACT

The topic of the paper is the realization of technical protection systems in the optical domain, i.e introductions to the basic concepts of optical fiber application in the understanding of sensor systems for perimeter protection of buildings and optical networks in other technical protection systems (video surveillance, access control, alarm system, ....). These systems can also be integrated. Perimeter is a term that denotes a closed line within which there are protected areas and protected objects. An example of a design implementation solution is given. In this way, we get to know the characteristics of

the optical elements of the system, with the aim of maximizing their potential in modern communications systems. The purpose of presented paper was to describe the commonly most used optical sensors in perimeter security systems, with emphasis on sensors (for vibration), which convert induced changes in the optical signal into an electrical signal suitable for further processing and alarm detection. Detection and accurate localization of the place of pressure and damage or interruption of the optical fiber are possible by applying optical measurement methods, which enables technical control of the implemented technical protection system

#### Fiber optics in perimeter technical protection systems

Слађана Пантелић, Бранка Радојчић