

## **POUZDANO, SIGURNO I BEZBEDNO MERENJE ELEKTRIČNIH VELIČINA U SN DISTRIBUTIVNOM SISTEMU KORIŠĆENJEM OPTIČKIH SENZORA**

Autori: Dušan Pavlović, Saša Berberski, ENEL PS d.o.o, Beograd, SRBIJA  
Branislav Stevanović, JP EPS –Beograd, PD „Elektrosrbija“, Kraljevo,

### **KRATAK SADRŽAJ (SAŽETAK)**

Cilj ovog stručnog rada je da se pokaže da je u sredjenaponskom distributivnom sistemu (SN sistem napona do 35kV) moguće ostvariti: pouzdano, sigurno i bezbedno merenje napona i struje, a što je dugo čekan i željeni zahtev svih distributera.

Danas potreba, a sutra obaveza, za stalnim monitoringom, kontrolom i integrisanim nadzorom celog distributivnog sistema uslovljava obavezu prikupljanja što više kvalitetnih i blagovremenih podataka o bitnim električnim veličinama (napon, stuja, fazni pomeraj), sa ključnih tačaka (vodovi SN, TS 35kV/10(20)kV, TS 20(10)kV/0,4kV i bitni NN vodovi). Dosadašnja rešenja bazirana na korišćenju mernih transformatora, imala su i imaju ograničenja u pogledu: pouzdanosti, sigurnosti i bezbednosti, pa su merni transformatori korišćeni samo za osnovna merenja i neophodnu zaštitu.

U stručnom radu je pokazano da se korišćenjem optičkih senzora sva tri ograničenja uspešno prevazilaze; pouzdanost, sigurnost i bezbednost višestruko se povećavaju, a uz to dobija se i velika količina raspoloživih podataka o električnim veličinama.

Na jednom konkretnom primeru rešenja sistema sa optičkim sensorima pokazana je korisnost za elektroprivredu da pripremi svoju infrastrukturu za rešenja tzv. „Pametne mreže“ („Smart Grid“). U radu je dat opis načina realizacije merenja napona i struje u kompletnom SN sistemu korišćenjem optičkih senzora. Dobijeni analogni signali trenutnih vrednosti amplitude i faznog ugla struje i napona se pomoću optičkih kablova prenose do opti modula i dalje do procesorskih jedinica na obradu, a potom na SCADA sistem i IT platformu. Sistemom merenja napona i struje putem optičkih senzora elektrodistributeri dobijaju veoma moćan alat za pripremu svoje infrastrukture za rešenja tzv. „Pametne mreže“ („Smart Grid“).

### **KLJUČNE REČI:**

Merni uređaji, Optički senzori, Monitoring SN sistema, SN sistem, Pametne mreže

## 1. UVOD

Sistem merenja osnovnih električnih veličina kao što su napon i struja u distributivnom sistemu uvek je bio povezan sa tri osnovna zahteva distributera:

- pouzdanost,
- sigurnost i
- bezbednost.

U dosadašnjoj praksi na raspolaganju su nam bili samo merni transformatori kao sigurnosno-zaštitni mediji između visokog napona i velikih struja energetskog sistema i mernih oprema (instrumenti, uređaji, SCADA sistemi, IT sistemi).

Međutim, korišćenje mernih transformatora imalo je i ima ograničenja u pogledu navedenih zahteva, pa su isti korišćeni uglavnom za osnovna merenja i neophodnu relejnu zaštitu i to na najnužnijim mestima u transformatorskim stanicama (TS) sistema.

Danas potreba, a sutra obaveza, za stalnim monitoringom, kontrolom i integrisanim nadzorom celog energetskog distributivnog sistema uslovljava obavezu prikupljanja što više kvalitetnih i blagovremenih podataka o najbitnijim osnovnim električnim veličinama (napon, struja, fazni pomeraj), i to sa velikog broja ključnih tačaka sistema (vodovi SN, TS 35kV/10(20)kV, TS 20(10)kV/0,4kV i bitni NN vodovi).

Da bi se stvorili uslovi za napred navedeno, neophodno je bilo naći neka druga bolja rešenja kojim se prevazilaze ograničenja uslovljena korišćenjem mernih transformatora.

Jedno veoma kvalitetno rešenje je korišćenje optičkih senzora. Optički senzori, čiji princip rada je baziran na Faradejevom efektu, a što je sasvim drugačija filozofija priključenja i povezivanja u energetskom sistemu, daju mnogo širu i raspoloživiju upotrebu.

Ovaj rad se bavi problematikom uspešnosti zamene mernih transformatora optičkim sensorima za sva indikatorska merenja i mogućnošću ugradnje u svim ciljnim tačkama SN distributivnog sistema i za sva moguća konfiguracijska rešenja energetskih mreža.

Stručni rad je podeljen u nekoliko poglavlja:

Prvim poglavljem se daje uvod i naznaka problematike koja se obrađuje, kao i kratak sadržaj ostalih poglavlja.

Drugo poglavlje obrađuje problematiku (ne)ispunjavanja pobrojanih zahteva distributera u dosadašnjem periodu kad je u pitanju korišćenje mernih transformatora za merenje električnih veličina.

Treće i četvrto poglavlje su ključna poglavlja.

Treće poglavlje obrađuje princip rada optičkih senzora i daje osnovne karakteristike istih.

Četvrto poglavlje tretira sistem merenja električnih veličina preko optičkih senzora. Ovde je dat i jedan praktičan prikaz optimalno mogućeg sistema sa korišćenjem optičkih senzora u SN distributivnom sistemu, i to sa svim karakterističnim mestima moguće ugradnje kao i ostalim elementima sistema prenosa izmerenih veličina do pretvaračkih, nadzornih i korisničkih sistema. Poseban deo ovog poglavlja je potpoglavlje gde se pokazuje kako se ovakvim sistemom i korišćenjem optičkih senzora značajno prevazilaze ograničenja koja postoje kod sistema sa korišćenjem mernih transformatora.

Peto poglavlje je zaključno razmatranje.

Šesto poglavlje predstavlja pregled korišćene literature.

## **2. SISTEM MERENJA NAPONA I STRUJE PREKO MERNIH TRANSFORMATORA**

Sistem merenja osnovnih električnih veličina kao što su napon i struja u distributivnom sistemu uvek je bio povezan sa tri osnovna zahteva distributera u pogledu:

1. pouzdanosti,
2. sigurnosti i
3. bezbednosti.

U dosadašnjoj praksi na raspolaganju su nam bili samo merni transformatori (MT) kao sigurnosni mediji između visokih napona i/ili velikih struja energetskog sistema i mernih oprema (instrumenti, merni uređaji, SCADA sistemi, IT sistemi i sl.). Korišćenje mernih transformatora imalo je i ima bitna ograničenja u pogledu navedenih zahteva.

### **2.1. Ograničenja u pogledu pouzdanosti**

Strujni merni transformator (SMT) je redni element energetskog sistema i kao takav utiče na pouzdanost sistema. Naime, svaki kvar na ovom elementu znači prekid u radu sistema i može predstavljati ozbiljan prekid u napajanju kupaca električnom energijom sve dok se ne otkloni kvar, odnosno ne zameni element u kvaru.

Pošto imamo više SMT u sistemu po naponskim nivoima u SN sistemu, to svaki element u nizu dodatno unosi svoju verovatnoću nepouzdanosti, odnosno učestanost otkaza i intezitet kvarova. Kada se javi potreba da sa svake interesantne-ključne tačke SN sistema dodatno skinemo vrednost električne struje, onda bismo morali da u svakoj toj tački ugradimo još po jedan SMT po fazi, uz obavezno isključenje sistema. Sistem sa toliko SMT u nizu očito je da ne bi mogao da zadovolji osnovne postavke pouzdanosti, pa bismo morali da tražimo, ili neka skupa investiciona rešenja za poboljšanje pouzdanosti, ili da odustanemo od ugradnje SMT. Nedostatak podataka o strujama u tim tačkama ograničio bi nas u zahtevu-potrebi za kvalitetnim nadzorom i optimalnim korišćenjem elektrodistributivnog energetskog sistema.

### **2.2 Ograničenje u pogledu sigurnosti**

Sigurnost u radu MT skopčana je sa nizom ograničenja od kojih je zahtev vezan za balansirano „terećenje“ na sekundaru (impedanse) zajednička i za naponske merne transformatore (NMT) i SMT. Ukoliko se zanemari ovo, onda se može doći u oblast nesigurnog rada. Ovo je posebno naglašeno kod SMT, tako da je dobro poznato ograničenje u pogledu dozvoljenih dužina provodnika za priključenje opreme. Kod SMT za merenje u odnosu na SMT za zaštitu imamo čak suprotne zahteve-ograničenje u pogledu sigurnosti rada izazvane krivom magnećenja jezgra. Kod SMT za merenje, zahtev je da upotrebom istih s relativno visokom magnetnom indukcijom u jezgru pri nazivnoj struji, ostvarimo da, već kod većih preopterećenja, brzo dođe do zasićenja jezgra, a što bi nam, posebno kod kratkih spojeva, pomoglo da zaštitimo instrumente i opremu. Dok je kod SMT za zaštitu suprotan zahtev, odnosno da budu u klasi tačnosti baš kod velikih preopterećenja i kratkih spojeva.

Upravo zbog napred iskazanih prečnih zahteva, a da bi smo izbegli postavljanje dva SMT na red (jedan za merenje, drugi za zaštitu), u elektrodistributivnom energetskom sistemu koriste se SMT sa dva odvojena jezgra.

Podsetimo se da je čak i IEC standardima (samim tim i svim internim-državnim) vladanje SMT koji se koriste za merenje, karakterisano „nazivnom sigurnosnom strujom“, odnosno definisana je njihova sigurnost preko tzv. „faktora sigurnosti“.

### 2.3. Ograničenja u pogledu bezbednosti

Ispunjenje uslova bezbednosti je najvažniji i primarni cilj rada elektroenergetskog sistema. Sistem merenja električnih veličina mora da ispunjava sve zahteve u pogledu bezbednosti. Dakle, ne samo MT kao elementi mernog i energetskeg sistema, već naročito njihovo korišćenje mora da bude podređeno ispunjenju ovog najvažnijeg zahteva.

Procedura optimalnog korišćenja MT u sistemu merenja električnih veličina u energetskeg sistemu je jedna od retkih koja uslovljava rad u blizini napona ili pod naponom u tzv. „mernim ćelijama“ SN trafo stanica. Upravo zbog obaveze rada u skućenom prostoru, a u blizini napona ili pod naponom (setimo se čestih potreba za ispitivanjem oznaka krajeva MT), najviše povreda obrazovanog i obučenog ljudstva, i to sa smrtnim slučajevima, u SN elektrodistributivnom sistemu desilo se u prostoru „mernih ćelija“ SN transform. stanica.

MT, a posebno SMT, iako se u normalnom radu na sekundaru ima relativno bezbedan napon za obučeno ljudstvo, nose bitna ograničenja u pogledu ispunjenja bezbednosti u situacijama normalnih tokom eksploatacije, a koja se moraju poštovati.

Pojavom tzv „mernih klešta“, odnosno mobilnih ili prenosivih SMT, osvarena je značajno poboljšanje u pogledu raspoloživosti, ali je uneta opasnost u pogledu bezbednosti i to ne samo kod SN, već i kod NN. Naime, veoma skućen pristup žilama izvodnih kablova na NN osiguračkoj letvi u TS SN/NN, kod upotrebe ovih mobilnih SMT, može dovesti do pojave kratkog spoja sa velikim posledicama po rukovaoca (snage kratkog spoja mogu biti preko 10MVA, odnosno po pravilu su reda 10-20MVA za gradske transformatorske stanice).

## 3. MERENJE NAPONA I STRUJE OPTIČKIM SENZORIMA

### 3.1. Opšti deo

Merenje napona i struje moguće je veoma uspešno realizovati i pomoću optičkih senzora. Savremena najmodernija tehnologija senzora postavlja nam nove standarde za merenje električnih veličina, a posebno zbog svoje stabilnosti i linearnosti. Taj novi set standarda može nam pružiti savremen monitoring i kontrolu, i zajedno sa integrisanim nadzorom visokog kvaliteta, omogućio bi nam da već postojeće infrastrukture u elektrodistributivnom sistemu pripremimo za rešenja tzv. „Pametne mreže“ („Smart Grid“).

Način realizacije merenja napona i struje u elektrodistributivnom sistemu napona do 35kV (vodovi SN, TS 35kV/10(20)kV, TS 20(10)kV/0,4kV i bitni NN vodovi) možemo unaprediti mernim sistemom koji se bazira na naprednoj tehnologiji optičkih senzora, a u cilju formiranja visoko automatizovane distributivne mreže.

Dakle, optički senzori postaju i efektivna i efikasna alternativa MT za sva indikatorska merenja električnih veličina u elektrodistributivnom sistemu srednjeg i niskog napona.

### 3.2. Princip rada

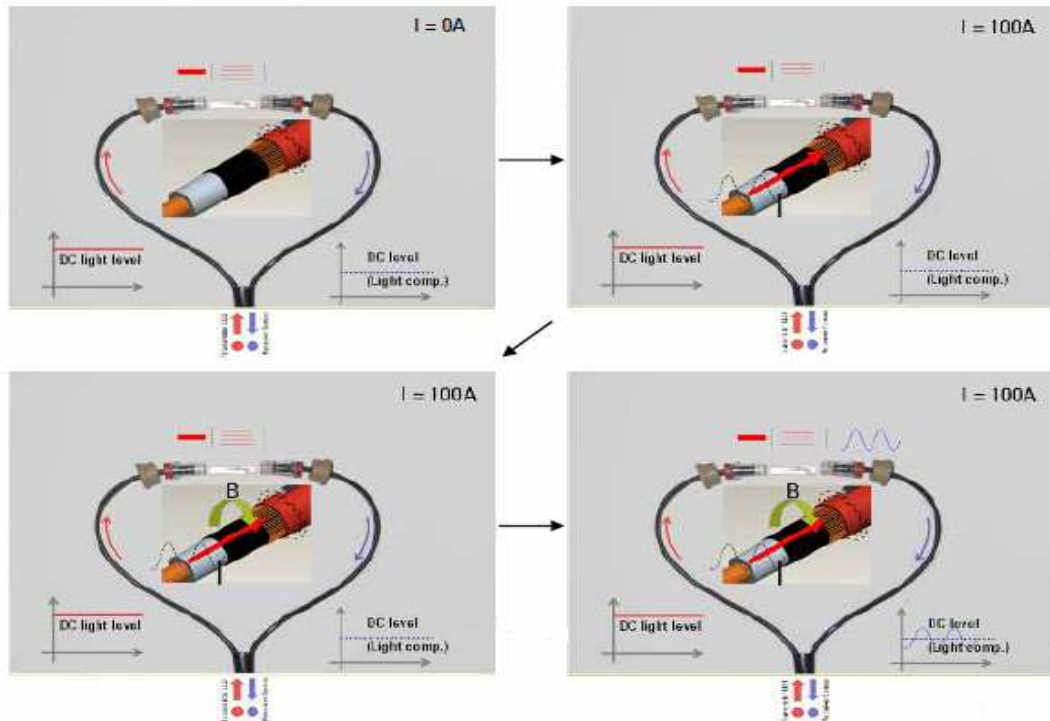
Princip rada se bazira na Faradejevom efektu.

Na ravan upadnog polarizovanog snopa svetlosti koji se prostire kroz senzor u pravcu dejstva indukcije deluje elektromagnetno polje menjajući ugao prostiranja ravni snopa svetlosti. Signal dobijen merenjem promene ugla pravca prostiranja svetlosne ravni je direktno srazmeran intenzitetu struje i magnetne indukcije kroz fider.

Direktno se mere trenutne vrednosti amplitude i faznog ugla struje i napona, pri čemu se dobijaju tačni i precizni podaci o struji opterećenja, kvalitetu napona, nivou snage, a obradom oblika izmerenih veličina, i o smetnjama u mreži, lokalizaciji i udaljenosti kvara.

Dobijeni analogni signali struje i napona se pomoću optičkih kablova prenose do opti modula koji dalje šalje signal na glavnu procesorsku jedinicu gde se obrađuju i vrši

kalkulacija svih podataka. Dalje se vrši slanje na SCADA sistem i IT platformu gde se dobija tačna slika sistema.



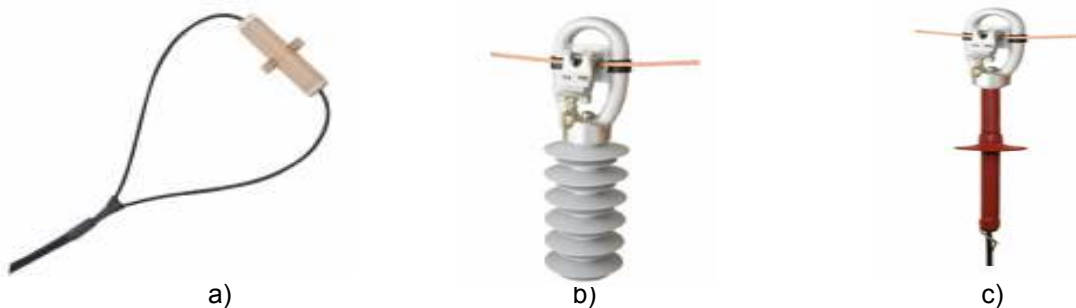
Slika 1. Princip rada

### 3.3. Osnovne karakteristike i postavljanje optičkih senzora

Glavne karakteristike optičkih senzora su:

- Optički senzori su električno neprovodni, sastoje se od 95% plastike i 5% stakla,
- Optički senzori su zaštićeni od zasićenja (nemaju feromagnetna jezgra kao MT),
- Optičke senzore je moguće montirati direktno na ogoljeni provodnik,
- Klasično ožičenje je zamenjeno optičkim kablovima,
- Montaža i instalacija optičkih senzora i sistema moguća je bez prekida napajanja.

Senzori se vezuju direktno na SN i NN krajeve nadzemnih vodova i izvoda-uvoda transformatorskih stanica i krajevi vode na opti module. Svaki opti modul ima 3 senzora. Veza između senzora i modula je preko optičkog kablova.



Slika 2. a) Indoor senzor za merenje amplitude i faznog ugla struje na NN i SN strani TR-a;  
 b) Senzor za merenje amplitude i faznog ugla struje i napona u SN mreži;  
 c) Outdoor senzor za merenje amplitude i faznog ugla struje na NN i SN strani TR-a.

## 4. SISTEM MERENJA NAPONA I STRUJE PREKO OPTIČKIH SENZORA

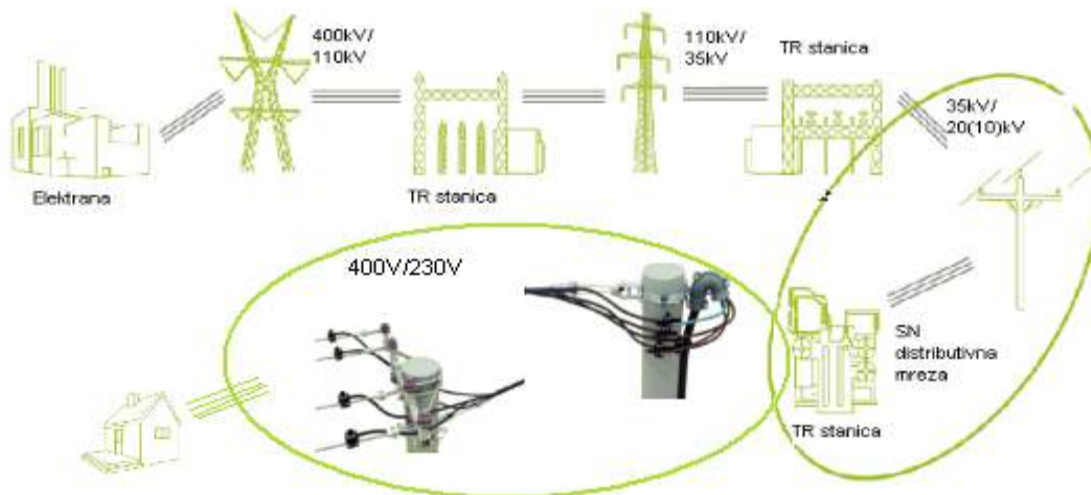
### 4.1. Opšti deo

Uspešno postavljen sistem merenja napona i struje putem optičkih senzora imao bi za cilj formiranje visoko automatizovane distributivne mreže. Uspešan način realizacije sistema merenja napona i struje u ED sistemu napona do 35kV (vodovi SN, TS 35kV/10(20)kV, TS 20(10)kV/0,4kV i bitni NN vodovi) baziran na naprednoj tehnologiji optičkih senzora, moguće je ostvariti direktnom instalacijom kako u TS tako i na vodovima. Predloženi dizajn može se modifikovati prema bilo kojoj postojećoj energetskej opremi. Kontrolni sistemi se mogu dizajnirati za instalisanje i integrisanje u SN i NN mreže, pri čemu mogu obezbeiti mreži operatera elektrodistributivnog sistema informacije o nivoima snage, struji opterećenja, kvalitetu napona, smetnjama u mreži i udaljenosti kvarova. Na ovaj način, mreža operatera distributivnog sistema može značajno da poboljša svoje performanse i upravljanje resursima, a što direktno vodi do smanjenja gubitaka i značajnih ušteda. Savremen monitoring, kontrola i integrisani nadzor omogućiće elektroprivredi da pripremi svoju elektrodistributivnu infrastrukturu za rešenja tzv. „Pametne mreže“ („Smart Grid“). Dakle, primena optike u realizaciji ovog sistema merenja omogućava efikasnije upravljanje resursima, a što može dovesti do velikih ušteda. Mreža operatera distributivnog sistema može značajno poboljšati svoje svakodnevne performanse, a posebno što se omogućava i dugoročno planiranje u cilju optimalnog korišćenja iste i u pogledu gubitaka.

### 4.2. Postavljanje i rad sistema

Posmatračemo jedno od mogućih postavljanja sistema koje ima opšti optimalni karakter:

1. Merenje napona i struje se realizuje pomoću optičkih senzora.
2. Analogni signali struje i napona koji se dobijaju od optičkih senzora, pomoću optičkih kablova prenose se do opti modula.
3. Opti modul dalje šalje signal na glavnu procesorsku jedinicu.
4. Procesorska jedinica obrađuje i vrši kalkulacije svih podataka.
5. Obradeni podaci dalje se šalju na SCADA sistem i IT platformu gde se dobija tačna slika sistema.



Slika 3. Proizvodnja, prenos i distribucija

Mogućnost direktnih merenja trenutnih vrednosti amplitude i faznog ugla struje i napona, omogućava da se dobiju tačni i precizni podaci o struji opterećenja, kvalitetu napona, nivou snage, smetnjama u mreži, lokalizaciji i udaljenosti kvara.

Sistem ima mogućnost prikupljanja više vrsta različitih poruka pomoću jedne vrste senzora i nakon obrade mogućnost slanja na nekoliko različitih načina (GSM, CDMA, WIMAX, RS232) do SCADA komandnog centra ili do bilo koje druge tačke nadzora metodom "od senzora do laptopa".

### 4.3. Opti modul i SmartCom RTU centralna procesorska jedinica

Opti modul je namenjen isključivo za nadzor SN/NN transformatora, pri čemu može da meri struje od 5A do 20 kA AC kablova i dalekovoda. Sa SmartCom jedinicom se povezuje preko CAN magistrale. Modul stalno prati uslove električne mreže, a pošto ima širok opseg vrednosti, moguće je napraviti inteligentan nadzor električne mreže.



Slika 4. a) Opti modul



b) SmartCom RTU

SmartCom RTU je centralna procesorska jedinica za obradu merenja i kalkulacija. Može da komunicira na više različitih kanala. Podaci se dalje šalju SCADA sistemu i drugim IT platformama. Praktično je modul za komunikaciju.

### 4.4. Ispunjenje zahteva u pogledu pouzdanosti, sigurnosti i bezbednosti

#### 4.4.1. Ograničenja u pogledu pouzdanosti

Optički senzor nije redni element energetskog sistema, pa je njegov uticaj na pouzdanost sistema u slučaju ispada-kvara zanemarljiv u odnosu na SMT. Njegova zamena je moguća bez isključenja sistema ili je veoma kratka. Primera radi, za SN vodove se zahteva prekid od 15 minuta. Ni za veći broj senzora u nizu protoka energije, praktično nema ograničenja.

#### 4.4.2. Ograničenja u pogledu sigurnosti

Zato što su optički senzori zaštićeni od zasićenja (nemaju feromagnetna jezgra kao MT), i što je klasično ožičenje zamenjeno optičkim kablovima, njihov rad je veoma siguran i pouzdan i kada mere struje od 20A i kad mere struje od 20kA, odnosno i kad su veze do opti modula kratke i kada su dugačke. Dakle, višestruko su sigurniji od MT.

#### **4.4.3. Ograničenja u pogledu bezbednosti**

Prednost sistema sa optičkim sensorima najubedljivija je u pogledu bezbednosti. Na osnovu datog u Poglavlju 3 i prethodnim potpoglavljima Poglavlja 4, uočavamo da je optički senzor izuzetno bezbedan element i za ugradnju i za korišćenje. Posebno kad je u pitanju korišćenje sistema, praktično ispunjava uslov: ugradi, koristi i „zaboravi“ (na održavanje).

Primarne prednosti senzora su u najmodernijoj optičkoj tehnologiji, lakoj i bezbednoj nadogradnji, što podrazumeva da se senzori mogu montirati na skoro sve vrste kablova i na sve vrste transformatora, zatim rešenja kraj-sa-krajem iliti od senzora do laptopa i instalacija u koracima (trošak-beneficija). Montaža i instalacija se bezbedno vrše "na živo", bez prekida napajanja za NN vodove, a za SN vodove prekid je do 15 minuta.

### **5. ZAKLJUČAK**

- 1. Sistem merenja napona i struje baziran na korišćenju MT ima bitna ograničenja u pogledu: pouzdanosti, sigurnosti i bezbednosti.**
- 2. Korišćenjem optičkih senzora sva tri ograničenja uspešno se prevazilaze tako da se: pouzdanost, sigurnost i bezbednost višestruko povećavaju, a uz to se dobija i velika količina raspoloživih podataka o osnovnim električnim veličinama (napon, struja, fazni pomeraj), a samim tim i o svim ostalim tzv izvedenim el. veličinama.**
- 3. Optički senzori efektivno i efikasno mogu zameniti MT za sva indikatorska merenja električnih veličina u elektrodistributivnom sistemu srenjeg i niskog napona.**
- 4. Sistemom merenja napona i struje putem optičkih senzora elektrodistributeri dobijaju veoma moćan alat za pripremu svoje infrastrukture za rešenja tzv „Pametne mreže“ („Smart Grid“).**
- 5. Sistem merenja napona i struje baziran na korišćenju MT je prošlost i, uslovno rečeno, održiva sadašnjost, dok je sistem indikatorskih merenja napona i struje putem optičkih senzora budućnost, koja je u Evropi i širem okruženju već uveliko počela, a kod nas treba da počne već danas.**

### **LITERATURA**

1. Nahman J, Mijailović V, 2005, "RAZVODNA POSTROJENJA";
2. Bego V, 1977, "MJERENJE U ELEKTROTEHNICI";
3. Požar H, 1999, "VISOKONAPONSKA RAZVODNA POSTROJENJA ";
4. Katalozi i prospekti: ENEL PS, Beograd - Srbija; POWERESENSE, Holte - Danska;
5. Končar, 1991, "Tehnički priručnik", Zagreb