

Mladen Modrovčić, mr.sc.
HEP-ODS, Elektra Bjelovar
mladen.modrovacic@hep.hr

Igor Bujan, dipl.ing.el.
HEP-ODS, Elektra Bjelovar
igor.bujan@hep.hr

Karlo Pavić, bacc.ing.el.
SIEMENS d.d.
karlo.pavic.ext@siemens.com

Mario Stančin, dipl.ing.
HEP-ODS, Elektra Bjelovar
mario.stancin@hep.hr

Antonio Cindrić, mag.ing.el.
SIEMENS d.d.
antonio.cindric@siemens.com

POBOLJŠANJE OSMOTRIVOSTI NISKONAPONSKE DISTRIBUCIJSKE MREŽE UPOTREBOM NISKONAPONSKIH VISOKOUČINSKIH OSIGURAČA S MOGUĆNOŠĆU MJERENJA I KOMUNIKACIJE

SAŽETAK

Novi proizvodni kapaciteti distribuirane proizvodnje, elektrifikacija prometa te drugi faktori čine niskonaponsku distribucijsku mrežu sve izazovnijom u smislu zaštite, nadzora i upravljanja.

Samim time, nameće se upotreba novih tehnologija za digitalizaciju te veću osmotrivost NN mreže. Korištenje NVO patrona s mogućnošću mjerenja i komunikacije je jedno od brzih rješenja bez potrebe za velikim intervencijama na postojećoj infrastrukturi.

Ključne riječi: NVO Patrona, mjerenje, digitalizacija, NN mreža

IMPROVING THE OBSERVABILITY OF THE LOW-VOLTAGE DISTRIBUTION NETWORK USING LOW-VOLTAGE HIGH-EFFICIENCY FUSES WITH MEASUREMENT AND COMMUNICATION ABILITY

SUMMARY

New production capacities of distributed production, electrification of transport and other factors make low-voltage distribution network management more and more challenging in terms of protection and monitoring.

Therefore, the use of new technologies for digitization and greater observability of the LV network is encouraged. The use of NVO cartridges with the possibility of measurement and communication is one of the quick solutions without the need for major interventions on the existing infrastructure.

Key words: LV HRC Fuse, measurement, digitization, LV Network

1. UVOD

U današnjem svijetu, pouzdanost i efikasnost distribucijskih mreža postaju sve važniji faktori u osiguravanju stabilne opskrbe električnom energijom. Niskonaponske distribucijske mreže, koje opskrbljuju krajnje korisnike, suočavaju se s brojnim izazovima, uključujući gubitke energije, kvarove i poteškoće u praćenju stanja mreže. Poboljšanje osmotrivosti ovih mreža ključno je za pravovremeno otkrivanje i rješavanje problema, što može značajno smanjiti vrijeme prekida i povećati efikasnost mreže.

Jedan od inovativnih pristupa za poboljšanje osmotrivosti niskonaponskih distribucijskih mreža je upotreba niskonaponskih visokoučinskih osigurača s mogućnošću mjerenja i komunikacije. Ovi osigurači ne samo da štite mrežu od preopterećenja i kratkih spojeva, već također omogućuju kontinuirano praćenje ključnih parametara mreže i komunikaciju tih podataka u stvarnom vremenu.

2. NISKONAPONSKA DISTRIBUCIJSKA MREŽA

Niskonaponska distribucijska mreža (NN mreža) predstavlja završni dio elektroenergetskog sustava koji opskrbljuje krajnje korisnike električnom energijom. Ova mreža obično radi na naponima do 1 kV i sastoji se od niza komponenti, uključujući transformatore, vodove, razvodne ormariće i zaštitne uređaje. Glavna funkcija NN mreže je distribucija električne energije od srednjenaponske mreže do krajnjih korisnika, osiguravajući stabilnu i pouzdanu opskrbu.

Niskonaponske mreže suočavaju se s brojnim izazovima koji mogu utjecati na njihovu pouzdanost i efikasnost. Neki od glavnih izazova uključuju:

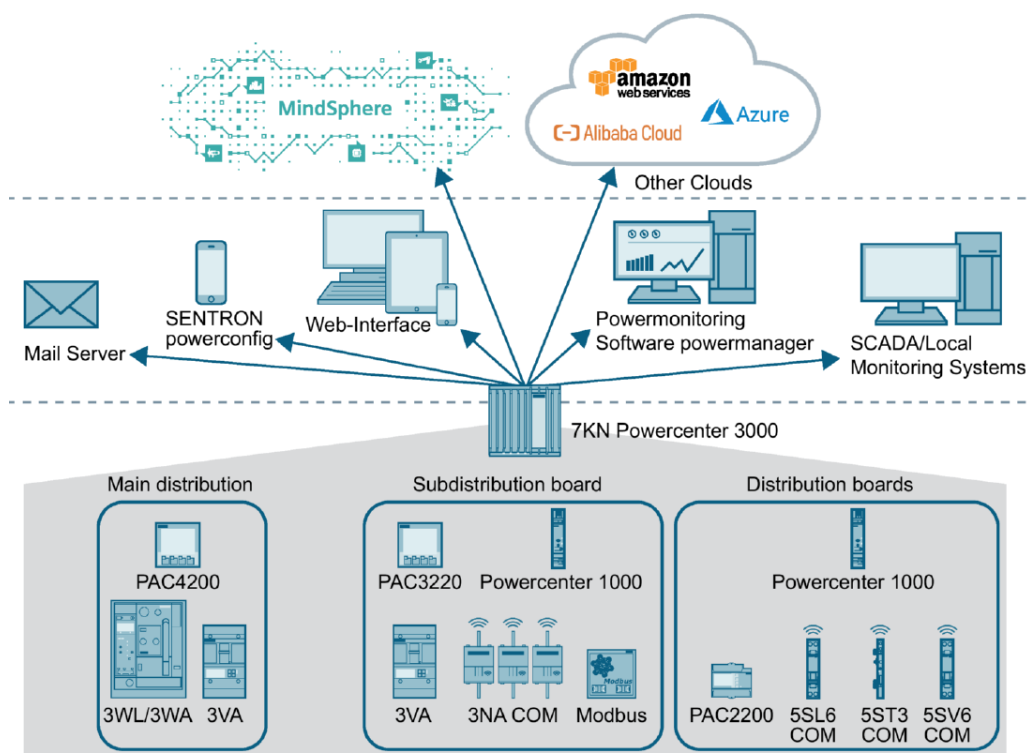
1. **Gubici energije:** Zbog dugih vodova i velikog broja priključaka, NN mreže su podložne značajnim gubicima energije, što može smanjiti ukupnu efikasnost sustava.
2. **Kvarovi i prekidi:** Kvarovi u NN mrežama mogu biti uzrokovani različitim faktorima, uključujući preopterećenja, kratke spojeve, vremenske uvjete i mehanička oštećenja. Brzo otkrivanje i rješavanje kvarova ključno je za minimiziranje prekida u opskrbi.
3. **Praćenje stanja mreže:** Tradicionalne NN mreže često nemaju dovoljno naprednih sustava za praćenje stanja mreže u stvarnom vremenu, što otežava pravovremeno otkrivanje problema i optimizaciju rada mreže.
4. **Integracija obnovljivih izvora energije:** S porastom korištenja obnovljivih izvora energije, kao što su solarne i vjetroelektrane, NN mreže moraju biti sposobne integrirati ove izvore i upravljati varijabilnom proizvodnjom energije.

Poboljšanje osmotrivosti NN mreža može značajno doprinijeti rješavanju ovih izazova. Osmotrivost distribucijske mreže odnosi se na sposobnost praćenja i uočavanja svih relevantnih stanja i parametara unutar distribucijske mreže elektroenergetskog sustava na temelju dostupnih mjerenja i informacija.

3. KOMPONENTE RJEŠENJA BOLJE OSMOTRIVOSTI MREŽE

Zaštitni uređaji strujnog kruga s komunikacijskim i mjernim funkcijama sastavni dio su rješenja za digitalizaciju. Dostupnost sustava povećava se brzim odgovorom na poruke upozorenja dok zaštitne funkcije i dalje nude sigurnu i pouzdanu zaštitu u strujnom krugu.

U nastavku su razrađeni uređaji koji omogućuju ovakvo rješenje za poboljšanje osmotrivosti niskonaponske mreže.



Slika 1. Komponente rješenja bolje osmotrivosti mreže

3.1. SABIRNIK PODATAKA

Sabirnik podataka prikuplja podatke s komunikacijskih i mjernih uređaja kao što su minijaturni prekidači, uređaji za detekciju luka, pomoćni prekidači i kontakti za signalizaciju grešaka te komunikacijski osigurači. [1]

Sabirnik podataka bežično komunicira s do 24 terminalna uređaja unutar razvodnog ormara ili razvodne ploče. Zabilježenim podacima može se pristupiti putem Bluetootha pomoću mobilnog uređaja na licu mjesta ili se mogu proslijediti višim sustavima putem Modbus TCP-a. Odaabrane izmjerene vrijednosti pohranjuju se u sabirniku do 30 dana. [1]



Slika 2. Sabirnik podataka (Powercenter 1000)

3.2. NV OSIGURAČ

Niskonaponski visokoučinski osigurači s bežičnom Zigbee komunikacijom ne samo da štite krug, već omogućuju rano otkrivanje grešaka mjerenjem struje i temperature. Moguće je postavljanje alarma koji se aktiviraju na određenim granicama koje je postavio korisnik. Tako se unaprijed dobiva upozorenje za prekoračenje granica mjerljivih iznosa prije izbacivanja osigurača.

Cijeli modul se sastoji od elektroničkog modula s komunikacijskim i mjernim funkcijama i osigurača s nazivnim strujama između 80 i 315 A. Osigurač se može lako zamijeniti nakon što pregori. Nije nužno mijenjati elektronički modul, no funkcije bi trebalo provjeriti nakon ponovnog puštanja u rad. [1]

Elektronički modul osigurava komunikacijsku i mjernu funkciju s integriranim instrumentom i naponskim transformatorom, gdje nije potreban dodatni priključak za napajanje. Minimalni protok struje od 5 A potreban je za osiguranje komunikacijske i mjerne funkcije (minimalno 10 A za ažuriranje firmware-a).



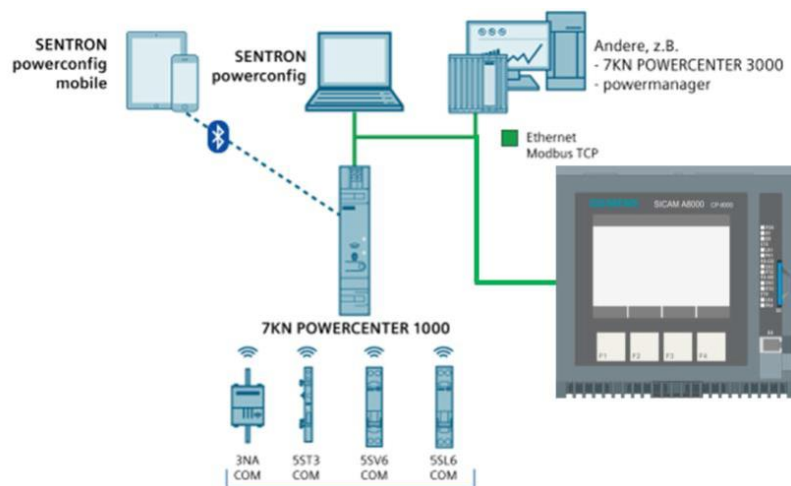
Slika 3. NV osigurač s mogućnošću mjerenja i komunikacije (3NA COM)

NV osigurač može mjeriti temperaturu (uključujući srednju temperaturu), struju (uključujući srednju i maksimalnu struju), broj radnih sati uređaja i broj radnih sati pod teretom.

3.3. DALJINSKA STANICA

Daljinska stanica koristi MODBUS TCP/IP protokol za komunikaciju sa sabirnikom podataka. U ovom slučaju daljinska stanica je MODBUS Master, a ostali mjerni i komunikacijski uređaji su MODBUS Slave-ovi. Mjerenja sa mjernih uređaja prikuplja sabirnik podataka ZigBee bežičnom komunikacijom. Zatim se putem MODBUS TCP/IP protokola ta mjerenja šalju prema daljinskoj stanici koja ih automatski obrađuje i prosljeđuje putem IEC 60870-5-104 protokola. [2]

Software-skom konfiguracijom daljinske stanice određuje se koja se hardware-ska konfiguracija koristi, signali koji će se obrađivati i slati, protokoli kojima se odvija komunikacija, topologija mreže, mrežne postavke i sl.



Slika 4. Primjer konfiguracije s daljinskom stanicom

3.4. LoRaWAN

LoRaWAN® je mrežni protokol za nisku potrošnju energije i široko područje (LPWA) dizajniran za bežično povezivanje baterijski napajanih "stvari" s internetom u regionalnim, nacionalnim ili globalnim mrežama, te cilja ključne zahtjeve Interneta stvari (IoT) kao što su dvosmjerna komunikacija, sigurnost od kraja do kraja, mobilnost i usluge lokalizacije. [3]



Slika 5. LoRaWAN topologija

Mrežna arhitektura LoRaWAN® implementirana je u topologiji zvijezda unutar zvijezda, u kojoj pristupnici prenose poruke između krajnjih uređaja i središnjeg mrežnog poslužitelja. Bežična komunikacija koristi prednosti dugog dometa fizičkog sloja LoRa, omogućujući vezu s jednim skokom između krajnjeg uređaja i jednog ili više pristupnika. Svi načini rada podržavaju dvosmjernu komunikaciju. [4]

Pretvarači djeluju kao krajnji uređaji i mogu komunicirati s jednim ili više LoRaWAN pristupnika. Pretvarači podržavaju sve standardne brzine prijenosa podataka i rade i na javnim i na privatnim mrežama.

Postupak konfiguracije:

- Definirati parametre Modbus TCP linije;
- Definirati parametre LoRaWAN linije;
- Definirati popis LoRaWAN poruka u uplinku i downlinku prema LoRaWAN pristupniku;
- Definirati Modbus registre za čitanje i pisanje od/do Modbus TCP podređenih uređaja;
- Ažurirati uređaj

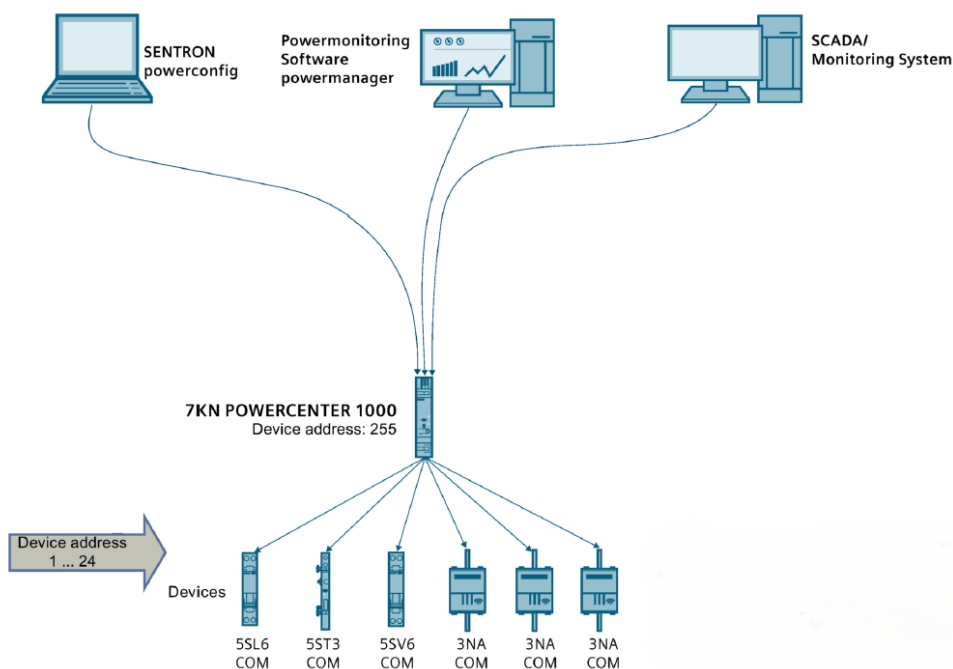
4. POSTUPAK KONFIGURACIJE KOMUNIKACIJE

Postoje dvije varijante uspostavljanja komunikacije. Prva varijanta koristi direktno slanje mjernih veličina sa sabirnika podataka na LoRaWAN mrežu koristeći konverter koji pretvara Modbus TCP komunikaciju u LoRaWAN. Uz ovu varijantu potreban je LoraWan modem treće strane. Druga varijanta koristi daljinsku stanicu (tip kao SICAM A8000) koja se spaja žičano na sabirnik podataka i služi kao gateway prema SCADA-i i drugim sustavima umrežavanjem pomoću mrežnog preklopnika. Za potrebe ovog rada korištena je varijanta na LoraWan mreži.

Sabirnik podataka podržava do 3 Modbus TCP veze istovremeno putem Ethernet sučelja i 1 dodatnu Bluetooth vezu paralelno. To znači da bi različite softverske aplikacije mogle istovremeno komunicirati s prijenosnikom podataka. Međutim, to se ne preporučuje.

Preporučuje se uvijek koristiti samo jednu Modbus TCP vezu operativno kako ne bi došlo do preklapanja naredbi. Informacije o pojedinačnim mjernim i komunikacijskim zaštitnim uređajima putem Modbus TCP-a adresiraju se na 2 razine:

- Adresa uređaja pojedinačnih uređaja.
- Adresa registra unutar uređaja. [5]



Slika 6. Dijagram toka komunikacije [1]

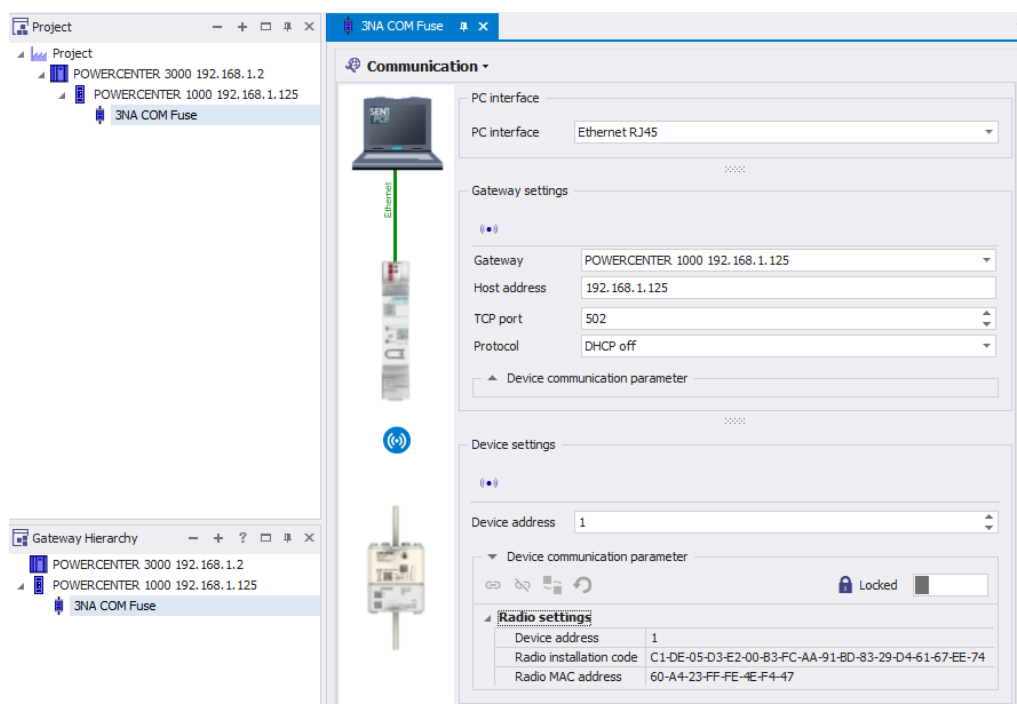
Mjerena varijabla ili status adresira se putem adrese registra. Osim adrese registra, pružaju se i druge opisne informacije kao što je format.

Tablica I. Korišteni registri [1]

Registar	Dužina	Vrijednost	Format	Mjerna veličina	Pristup	3NA COM
45	11	Oznaka osigurača	FP32	/	R	X
3074	2	Srednja temperatura	FP32	°C	R	X
3078	2	Srednja struja	FP32	A	R	X

Adrese uređaja se dodjeljuju u aplikaciji prilikom konfiguriranja ili se mogu ručno odabrati nakon što se skenira RF kod zaštitnog uređaja. Te se adrese automatski dodjeljuju od 1 do 24.

Pomoću računalne aplikacije možemo provjeriti komunikaciju pomoću ping naredbe ili pomoću „blinking test-a“ (odnosi se na uređaje koji imaju neku vrstu signalne lampice ugrađene na sebi).



Slika 7. Računalna aplikacija za konfiguraciju komunikacije

5. PRIMJENA NA TERENU

Jedna uspješna primjena ovog rješenja je slanje trenutne vrijednosti temperature i struje i srednju vrijednost temperature za vrijeme rada osigurača pod nazivnim teretom.

Komunikacija se odvija preko komunikacijskog modula stavljenog na rastalni osigurač koji preko Zigbee protokola odvija komunikaciju sa sabirnikom podataka. Sabirnik podataka je žično povezan sa ModbusTCP na LoRaWAN pretvornik, koji putem Ethernet-a dobivene podatke sa sabirnika podataka šalje na LoRaWAN mrežu.

Local time	Freq [MHz]	Data rate	RSSI (dBm)	SNR (dB)	FCntUp	Port	Payload
2025-03-06 11:48:30.640							(Enqueued data sent)
2025-03-06 11:48:29.917	868.1	SF9 BW125 4/5	-107	6	49	2	00 00 42 12 35 ed 42 11 a3 82 3d 9d 14 e4
2025-03-06 11:47:36.621							(Enqueued data sent)
2025-03-06 11:47:35.896	867.1	SF9 BW125 4/5	-107	7	48	2	00 00 42 12 1b 0b 42 11 a3 82 3d 9d 14 e4
2025-03-06 11:46:35.580							(Enqueued data sent)

Slika 8. Prikaz dobivenih podataka na Lorient platformi poslanih preko LoRaWAN mreže

Na slici 8 pod stupac "Payload" prikazani su podaci u HEX obliku. Ovi podaci za korisnika predstavljaju korisnu informaciju koju može iskoristiti kao ulazni podatak nadzornog sustava.

6. PREDNOSTI

Korištenjem niskonaponskih visokoučinskih osigurača s mogućnošću mjerenja i komunikacije osigurava se:

- poboljšana zaštita od preopterećenja i kratkih spojeva
- kontinuirano praćenje ključnih parametara mreže, kao što su struja i temperatura
- komunikacija u stvarnom vremenu, pravovremeno otkrivanje i rješavanje problema može značajno smanjiti vrijeme prekida u opskrbi električnom energijom

7. ZAKLJUČAK

Uvođenje niskonaponskih visokoučinskih osigurača s mogućnošću mjerenja i komunikacije predstavlja značajan korak naprijed u poboljšanju osmotrivosti i efikasnosti niskonaponskih distribucijskih mreža. Ovi osigurači ne samo da pružaju zaštitu od preopterećenja i kratkih spojeva, već omogućuju i kontinuirano praćenje ključnih parametara mreže u stvarnom vremenu. Time se omogućava pravovremeno otkrivanje i rješavanje problema, što smanjuje vrijeme prekida i povećava pouzdanost opskrbe električnom energijom.

Ovaj inovativni pristup doprinosi stabilnijoj i efikasnijoj distribuciji električne energije, što je ključno za zadovoljavanje rastućih potreba krajnjih korisnika.

8. LITERATURA

- [1] Circuit protection devices with communication and measuring function – edition SENTRON System Manual, lipanj 2022.
- [2] "SICAM A8000 Series Product Information" – Siemens, veljača 2024.
- [3] LoRaWAN for Developers - LoRa Alliance®
- [4] LoRaWAN / Modbus TCP Master – Converter – revision 1.000 User Manual
- [5] MODBUS Application Protocol Specification - V1.1b3, travanj 2012.