

Mag. Ivan Sokač
Elektron Erma-Strmec d.o.o.
ivan.sokac.ml@elektron.hr

Goran Šagovac, dipl.ing.
Industrooprema d.o.o.
goran.sagovac@industrooprema.hr

Dr Ian Watson
7com Limited
ian@7com.co.uk

PRAĆENJE I RASPODJELA OPTEREĆENJA U NN MREŽAMA

SAŽETAK

Punjenje električnih vozila i povratak na električno grijanje znatno će povećati opterećenja u mreži, s faktorom istovremenosti koji može premašiti jedinični faktor, što zahtijeva novi pristup upravljanju u niskonaponskoj (NN) mreži. S obzirom na potrebu za mjerenjem iznosa i vrsta opterećenja, ukupne potrošnje, preostalog raspoloživog opterećenja transformatora i doprinosa distribuiranih izvora javlja se potreba za fazno razlučivim mjerenjima, mjerenjima u sva četiri kvadranta u svim poljima u distribucijskim stanicama. Mjerenje harmonika, ukupnog faktora izobličenja, faktora snage, porasta i propada napona i frekvencije postaju dodatni putokaz u vođenju mreže.

U ovom radu autori izlažu svoje viđenje i prijedlog za praćenje i upravljanje potrošnjom pomoću modernih digitalnih mjernih uređaja unutar jedinstvene komunikacijske mreže. Za praćenje prema nadređenom centru (cloud server) predlažu se rješenja zasnovana na 3G/4G/5G tehnologiji dok se za dubinsku komunikaciju predlažu istovremeno korištenje Narrow Band Power Line Communication (NB-PLC) te Long RAnge (LoRA) tehnologije.

Ključne riječi: Niskonaponska mreža, transformatorska stanica, razvod, osigurač, fazno razlučiva mjerenja, ukupni faktor izobličenja, harmonici, faktor izobličenja, PLC/LoRA

SUMMARY

It is a common knowledge that 'unless you can measure it, you cannot manage it'. Low voltage networks of today are the reminiscence of the past ways pertinent to the time of design, with the 'fuse' being the most common component in the network. Measurements are solely focused to incoming feeder and are very often based on conventional analogue moving coil instruments. Energy measurement is 'three phase only'. Where installed, cards with stored data are read manually.

Electrical Vehicles (EV) charging at home, electrical heating comeback, significant increases in line loading with 'coincidence factor' potentially growing over a factor of one, requires installation of LV network monitoring. Knowledge about the character of the load, total loading, transformer loading reserve, distributed generation contribution requires phase separated, four quadrant measurements for each feeder. Harmonics, Total Harmonic Distorsion (THD), Power Factor (PF), voltage swell, voltage sag, frequency are additional guidance towards an effective LV network management.

Key words: LV network, feed in substation, distribution LV board, fuse, phase selective measurements, harmonics, THD, PF, PLC/LoRA

1. UVOD

1.1 Općenito

Kao što kaže poznata izreka ako se nešto ne može pratiti i mjeriti, ne može se time niti upravljati, Današnje niskonaponske mreže su nasljeđe prošlosti, te su kriteriji po kojima su mreže planirane, građene, održavane i upravljane bili primjereni tadašnjim okolnostima i načinu korištenja mreže. Međutim, sve veće korištenje električne energije zahtijeva značajne promjenu u svim bitnim elementima za očuvanje integriteta mreže.

Tradicionalno, NN trafostanica je građena kao tipski objekt uz minimalne troškove izgradnje, transporta, montaže i puštanja u pogon. Kao rezultat tog pristupa, najčešći element u razvodu je osigurač. U nekim slučajevima su ugrađeni ručno upravljive rastavne sklopke ili prekidači.

Mjerna oprema i oprema za upravljanje je koncentrirana na dovodno polje gdje su se uglavnom koristili klasični mjerni uređaji sa pomičnom kazaljkom i pokazivačem maksimuma opterećenja. U nekim postrojenjima su ugrađivani mjerni uređaji sa zapisom na memorijsku karticu. Mjerenje struje na dovodnom polju je bilo izvedeno kao fazno mjerenje dok je mjerenje napona bilo izvedeno preko izborne preklopke. Mjerenje energije se također obavljalo samo na dovodnom polju brojilima razreda točnosti 0.5 i bez fazne razlučivosti.

Uvažavajući novi način korištenja mreže, uz buduća znatna povećanja opterećenja uglavnom zbog električnih vozila i grijanja, javlja se potreba za drugačijim pristupom i mjerenjem vrste opterećenja, iznosa opterećenja, potrošnje i to ne samo za dovodno polje nego za sva odvodna polja, po fazama.

Sve većim učešćem elektroničkih naprava (ispravljača, izmjenjivača, skretača), obnovljivih izvora (pretežito izmjenjivačem spojenih sunčanih elektrana manje ili veće snage) očekuju se znatniji porasti harmoničkih komponenti, promjene tokova snaga, viška ili manjka energije nužnim da se održe osnovni parametri kvalitete električne energije unutar prihvatljivih granica.

U ovom radu autori izlažu svoje viđenje i prijedlog za praćenje i upravljanje potrošnjom pomoću modernih digitalnih mjernih uređaja unutar jedinstvene komunikacijske mreže koja koristi 3G/4G/5G tehnološka rješenja za komunikaciju prema nadređenom centru praćenja (cloud server) te PLC/LoRA za dubinsku komunikaciju prema učesnicima mreže.

Mjerni uređaji su višekanalni (pokrivaju 7/14 mjernih mjesta), fazno selektivnih mjerenja, sadrže mjerenje snaga i energije u četiri kvadratna s razredom točnosti 0.5S (prošireno područje), mjerenje i zapis najznačajnijih parametara: struja, napona, harmoničkog sadržaja napona i struja do 63 reda, faktor ukupnog harmoničkog izobličenja, faktor snage, propada napona i prenapona, sa brzim snimačem zapisa kvara za vodno polje (s učestalosti uzorkovanja 8 kHz), sa korisničkim sučeljem na dodir, te eliminaciju proizvođački specifičnih softverskih paketa za pregled i analizu zapisa.

Koristeći mjerene podatke centralna jedinica izračunava raspoloživu snagu na sabirnicama te uz uvažavanje doprinosa obnovljivih izvora, na osnovu izabranog algoritma izdaje putem PLC/LoRA modema naredbe za moduliranje, uključivanje ili isključivanje opterećenja po pojedinim fazama i pojedinim vodovima.

Podaci prikupljeni na svakom mjernom mjestu se prenose putem 3G/4G/5G veze u centralni ili područni server koji može biti instaliran unutar korisničke mreže ili kroz uslugu najma 'cloud servera'. Zbog značajnih količina podataka i raznolikosti podataka, za prijenos podataka sa mjernih mjesta u centralni i/ili područni server se ne preporuča korištenje industrijskih protokola (primjerice IEC61850 ili MODBUS).

Predloženi način prijenosa podataka pretpostavlja direktnu sinkronizaciju podataka na serveru s podacima prikupljenima na visestrukim mjernim mjestima.

Predloženim pristupom je omogućen prijenos i pohrana velikih količina podataka; do 10 MB i više dnevno po mjernom kanalu. Jednom pohranjeni u centralni i/ili područni server, prikupljeni podaci i njihovo korištenje se mogu jednostavno integrirati u poslovnu mrežu korištenjem intraneta te protokola prikladnih za prijenos velikih količina podataka.

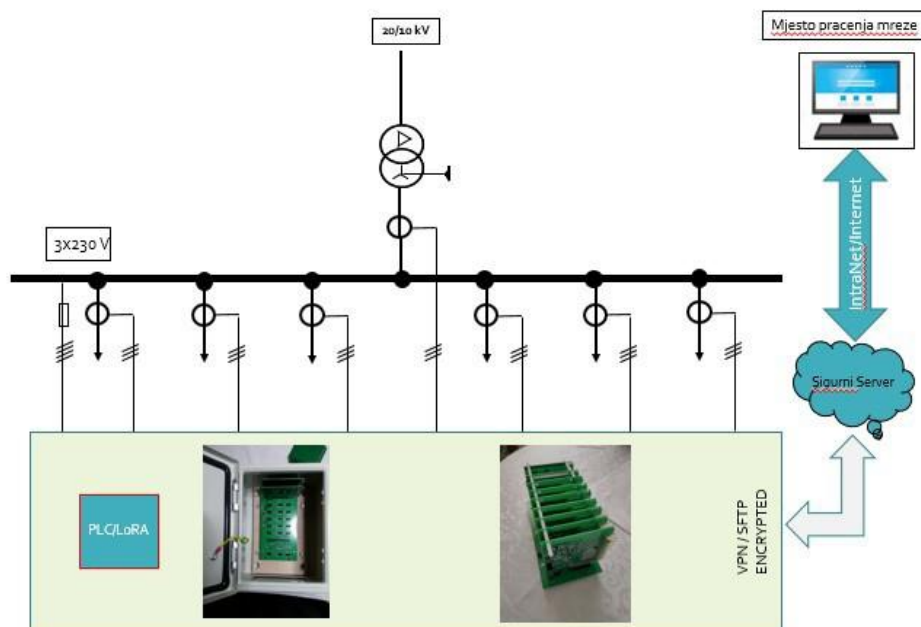
1.2 Zašto pratiti?

Značajne promjene karakteristika opterećenja i proizvodnje su stvorile okruženje s relativno velikim brojem izazova od kojih su neki rješivi samo uz znatne promjene načina nadzora, vođenja i upravljanja mrežom, na primjer:

- Dinamičko praćenje potrošnje
- Distribuirana proizvodnja električne energije (solarne elektrane, vjetroelektrane)
- Skladišta energije
- Dinamička promjena smjera tokova snaga
- Brze punionice EV-a, izazov istovremenosti punjenja
- Preopterećenje vodiča
- Nesimetričnost opterećenja uzrokovana jednofaznim punjačima, vršno punjenje
- Praćenje tokova djelatne i jalove snage te iznosa utroška i vrste energije (djelatna, jalova)
- Praćenje harmoničkog sastava napona i struja
- Prekidi napajanja (učestalost i trajanje prekida)
- Mjerenje frekvencije mreže visokom rezolucijom (FDR)
- Optimizacija korištenja obnovljivih izvora
- Praćenje i utvrđivanje izvora netehničkih gubitaka.

1.3 Kako pratiti?

Praćenje se izvodi ugradnjom mjernih uređaja u svaku NN pojnu trafostanicu. U velikoj većini instalacija radi se o postojećim postrojenjima, ponekad izvedenim kao zidane trafostanice sa otvorenim NN razvodom otvorenog tipa ili kompaktnom razvodu gdje je dogradnja bilo kakve dodatne opreme jako otežana.



Slika 1. Mjerna jedinica za praćenje NN mreže – ALMA

2. PRAĆENJE I NADZOR

2.1 Što treba pratiti?

Po samoj naravi mreže mjere se i prate veličine koje mogu dati trenutno stanje u mreži. Opće prihvaćeno mišljenje da su za praćenje mreže jedino pogodni uređaji za nadzor kvalitete električne energije klase A je načelno pogrešno i to iz nekoliko razloga. Ponajprije radi se o relativno skupim uređajima cijena do nekoliko tisuća EUR-a. Takovi uređaji su znatnijih dimenzija pa ih je ponekad nemoguće dograditi na postojeće postrojenje. K tome vrsta mjerenja i broj mjerenja koje takvi uređaji mjere je daleko izvan potreba za svakodnevno praćenje i vođenje NN mreže.

Uređaji optimalni za ugradnju su uređaji izvorno namijenjeni mjerenju snage i energija s elementima mjerenja nužnim za identifikaciju anomalija u mreži. Takvi uređaji mjere:

- Mjerenja se izvode za svaku sabirničku sekciju i za svako polje (tipično do 7 polja po sekciji)
- Napone u pojedinačnim fazama i prosječni trofazni napon (razred točnosti 0.1)
- Fazno razlučivo mjerenje harmonika napona sabirnice do 63. reda
- Fazno razlučivi faktor ukupnog harmonijskog izobličenja napona (THD)
- Struje u pojedinačnim fazama i prosječnu trofaznu struju (razred točnosti 0.1)
- Fazno razlučivo mjerenje harmonika struja do 63 reda
- Fazno razlučivi faktor ukupnog harmonijskog izobličenja struja (THD)
- Frekvenciju mreže (razred točnosti 0.01)
- Radnu (P), jalovu (Q) i prividnu(S) snagu, fazno razlučivo mjerenje u sva četiri kvadranta (razred točnosti 0.5)
- Faktor snage ($\cos \varphi$), induktivni i kapacitivni
- Radnu energiju (razred točnosti 0.5S), jalovu energiju (razred točnosti 2), fazno razlučivo mjerenje u sva četiri kvadranta
- Poraste i propade napona
- Prekide napajanja za sva polja, nadzor osigurača (zahtijeva dodatno ožičenje za mjerenje napona na svakom polju)

Dogradnja uređaja za mjerenje mora biti neinvazivna. Za mjerenje napona se koristi direktno mjerenje napona sabirnica dok se za mjerenje struja koriste kalibrirani Rogowski svitci osjetljivosti 5mV/kA ili otvorivi minijaturni mjerni transformatori različitih dimenzija otvora za prihvatanje faznih vodiča, najčešće s naponskim izlazom 0.333 V. Poseban izazov predstavlja prostor raspoloživ za ugradnju Rogowskih svitaka pa promjer korištenih svitaka ne smije premašiti razmak između faznih vodiča (568 mm). Sve većim učešćem elektroničkih naprava (ispravljača, izmjenjivača), obnovljivih izvora (pretežito izmjenjivačem spojenih sunčanih elektrana manje ili veće snage), vjetroelektrana, očekuju se znatniji porasti harmoničkih komponenti, promjene tokova snaga te viška ili manjka energije nužnim da se održe osnovni parametri kvalitete električne energije unutar prihvatljivih granica.

Uređaji i sustav za praćenje i upravljanje potrošnjom stoga zahtijeva korištenje modernih digitalnih mjernih fazno razlučivih uređaja, visokog razreda točnosti u kojem komuniciranja sa ugrađenim uređajima i ostalim elementima mreže postaje nužno i neizbježno. Pri tom se komunikacija treba održati prema nadređenom mjestu/centru za prikupljanje podataka i dubinski do distribuiranih elemenata mreže.

2.2 Čime pratiti?

Mjerni uređaji su višekanalni (pokrivaju 7/14 mjernih mjesta), fazno selektivnih mjerenja, mjere snagu i energiju u sva četiri kvadranta u razredu točnosti 0.5S (prošireno područje), sadrže mjerenja i zapis najznačajnijih parametara: struje, naponi, harmonički sadržaj napona i struja do 63 reda, faktor ukupnog harmoničkog izobličenja, faktor snage, propade napona i prenapone, brzi snimač kvara za

vodno polje (učestalost uzorkovanja 8 kHz), korisnička sučelja na dodir, te eliminaciju proizvođački specifičnih softverskih paketa za pregled i analizu zapisa.



Slika 2. ALMA Mjerna jedinica

Koristeći mjerene podatke procesna jedinica mjernog uređaja izračunava raspoloživu snagu na sabirnicama te uz uvažavanje doprinosa obnovljivih izvora, na osnovu izabranog algoritma izdaje putem PLC/LoRA modema naredbe za moduliranje, uključivanje ili isključivanje opterećenja po pojedinim fazama i pojedinim vodovima prikupljenima na višestrukim mjernim mjestima.

U dosadašnjim mrežama upravljanje veličina nužnih za održanje integriteta mreže (napon, frekvencija) je bila zadaća povjerena izvorima električne energije. Nažalost velika većina novih izvora je gotovo neupravljiva ili je upravljiva u vrlo suženom području upravljanja. Kao posljedica, klasično načelo upravljanja da izvori podmire potrebe potrošnje u trenutku kad se potrošnja promijeni postaje sve manje održivo. Unatoč toga, osnovni princip da proizvodnja električne energije mora biti uravnotežena sa potrošnjom ostaje nepromijenjen. Kao posljedica jedan od dodatnih načina upravljanja mrežom je upravljanje opterećenjem mreže. Nastavno to zahtijeva instaliranje potrošača koji su upravljivi bilo da im se opterećenje daje modulirati, kontinuirano u diskretnim koracima ili jednostavnim uključanjem i isključanjem potrošača

2.3 Primjer upravljivog EV punjača

U naravi se radi o punjaču električnih vozila koji koristeći lokalnu MODBUS komunikaciju dozvoljavaju moduliranje snage punjenja baterije.

Implementacija zahtijeva instaliranje PLC/LoRA modema u blizini punjača te njegovu vezu sa punjačem korištenjem RS485 komunikacije. Poneki proizvođači dozvoljavaju upravljanje snagom punjenja diskretnim ulazima.

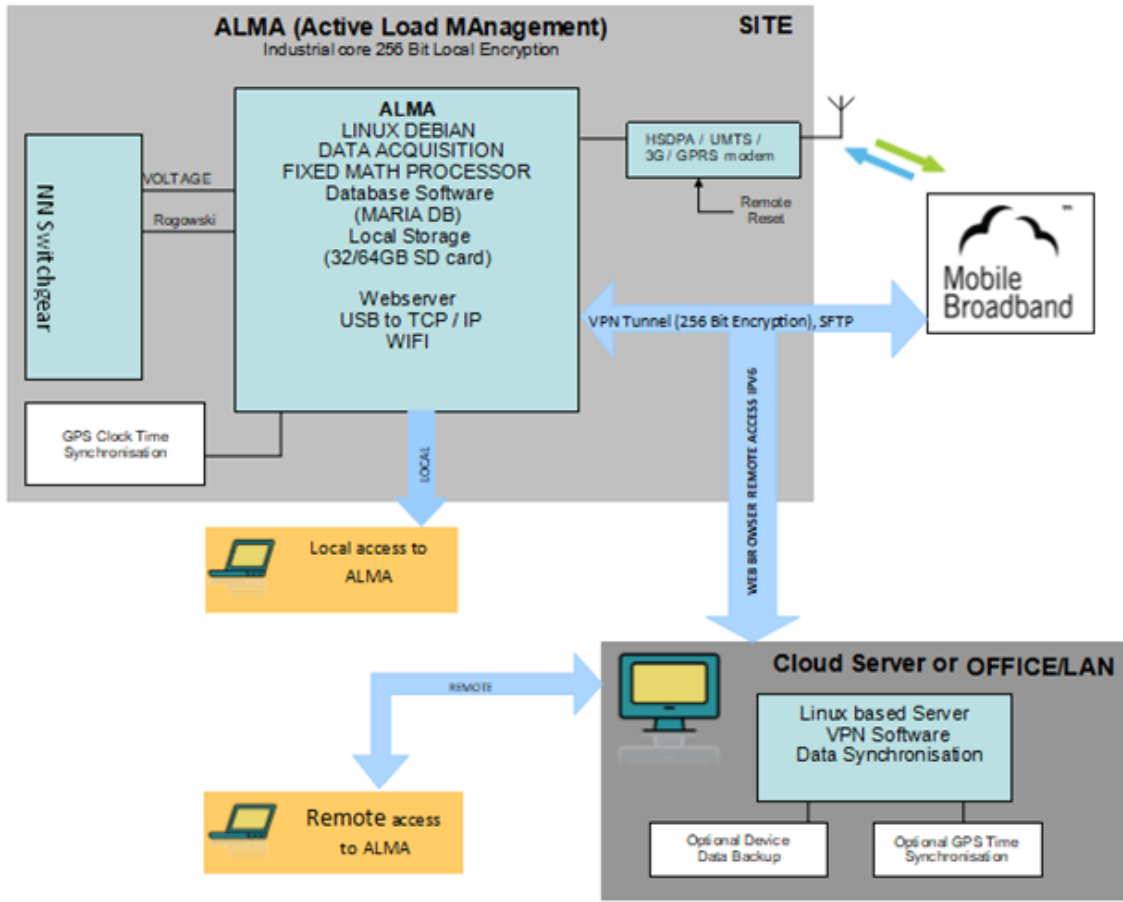
Budući PLC/LoRA modem raspolaže sa četiri izlazna kontakta, isti se mogu koristiti za upravljanje ostalim potrošačima (grijanje, hlađenje, upravljanje spremnicima toplinske energije, i slično).



Slika 3. ALMA Upravljivi EV punjač

3. KOMUNIKACIJSKI PUT

3.1 Komunikacija prema nadređenom centru vođenja



Slika 4. ALMA Komunikacija prema nadređenom centru nadzora

Zbog načina izgradnje pojne stanice veza prema nadređenom centru je u velikom broju slučajeva izvediva jedino uz korištenje mreža za prijenos podataka u mobilnoj telefoniji.

Stoga je komunikacija prema sigurnom serveru povjerena 1G/2G/3G/4G modemu s mogućnošću nadogradnje na 5G modem. Za uspješnu komunikaciju modem koristi nekoliko antena. Glavna i rezervna antena za 4G mrežu, glavna i rezervna antena za lokalnu WIFI mrežu, GPS antena za sinkronizaciju vremena.



Slika 5. 4G/LTE modem s pripadajućim antenama



Slika 6. ALMA Parabolična 4G/LTE antena

U područjima s niskom razinom jačine signala mobilne mreže za komunikaciju se koriste parabolične antene visim pojačanjem. Antena sa ugrađenim 4G modemom znatno smanjuje troškove instaliranja dodatnog 3G modema.

Napajanje modema se izvodi putem RJ45 kabela koristeći PoE (Power over Ethernet) tehnologijom. Za spajanje višestrukih mjernih uređaja koristi se dodatni Ethernet razdjelnik napajanja iz istog izvora napajanja.

Antena je za vanjsku montažu i montira se na prikladan montažni stup.

3.2 Komunikacija po dubini mreže

Od nekoliko raspoloživih tehnologija za dubinsku komunikaciju po mreži, zahtjev za visokim pokrivenom komunikacijskog puta prema elementima mreže stavlja PLC/LoRA (Power Line Communication / Long Range) na prvo mjesto. U redundantnom umreženom PLC/LoRA sustavu moguće je postići 99% pokrivenosti komunikacijskih puteva.

Za postizanje visoke razine pokrivenosti PLC/LoRA moraju biti integrirani unutar istog mehanizma. Odvojeni modemi unutar istog kućišta ne udovoljavaju tom zahtjevu.



Slika 7. PLC/LoRA modem

4. KORISNIČKO SUČELJE

4.1 Izgled sučelja

Niskonaponske razdjelne stanice su uobičajeno nadgledane po potrebi bilo da se radi o preuzimanju snimljenih podataka u objektima bez daljinske komunikacije, zamjeni osigurača, uspostavljanje napajanja nakon prekida. Stoga, iako je moguća, nužnost opremanja trajno instaliranim korisničkim sučeljem je bitno smanjena i u suštine nepotrebna. U slučajevima gdje je to neophodno, korisničko sučelje je trajno instalirano u vidu sučelja veličine 7", s dodirnim ekranom u boji, visoke rezolucije i širokog kuta vidljivosti. Poželjno je da se sučelje montira u razini očiju osoblja.

U transformatorskim stanicama gdje nema potrebe za trajno instaliranim sučeljem, osoblje koje nadgleda razvod ima mogućnost pregleda stanja, opterećenja i raspodjele opterećenja. ALMA ima mogućnost lokalnog bežičnog pristupa. Pristup sučelju je tehnološki agnostičan i za pristup nije potrebna instalacija ili konfiguracija korisničkog uređaja.

Mjerna jedinica je opremljena virtualnim korisničkim sučeljem. Za pristup sučelju potrebno je imati ovlaštenu pristup u prostoriju u kojoj je instalirana mjerna jedinica. Mjerna jedinica je opremljena identifikatorom za pristup nakon što korisnik uđe u prostoriju. Pristup sučelju je bežični i onemogućen je za vrijeme odsutnosti korisnika izvan prostorije u kojoj je instaliran mjerni uređaj.

Osim gornjega, za pristup uređaju, korisnik treba imati jedno od sljedećeg:

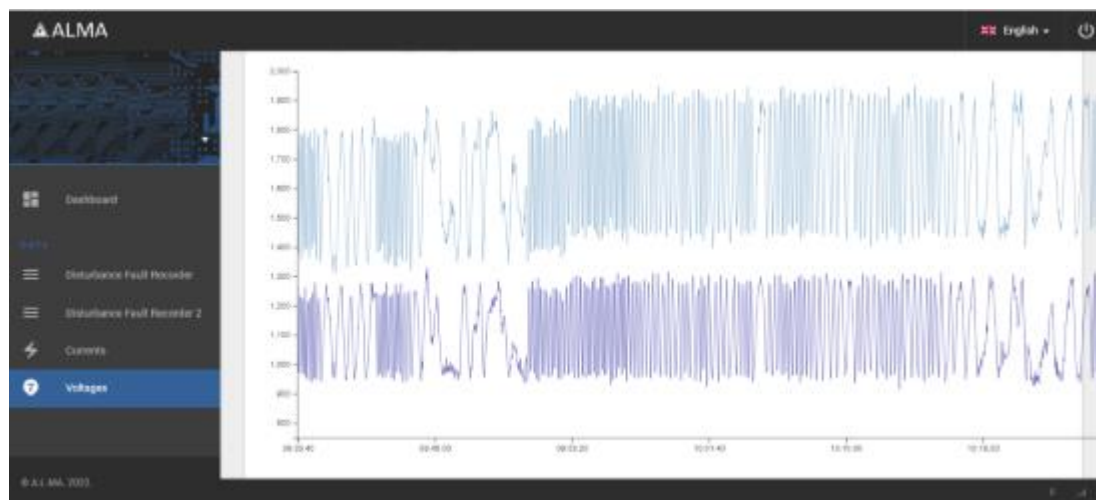
- Ovlašteno prijenosno računalo sa instaliranim web tražilom, GOOGLE CHROME, EDGE, ili bilo koje drugo tražilo koje podržava HTML5 (FIREFOX na primjer)

- Tablet (Phablet) s instaliranim web pretražnikom koje podržava HTML5
- Pametni telefon.

Pristup sučelju je osiguran kroz dva stupnja identifikacije korisnika. Prvi stupanj zahtijeva lozinku za pristup mjernoj jedinici. Drugi stupanj zahtijeva potvrdu od strane ovlaštene osobe da se pristup dozvoljava putem tekst poruke upućenoj osobi koja želi ili hoće imati pristup mjernom uređaju.

Pristup korisničkom sučelju je vremenski ograničen. Nakon isteka postavljenog vremena, procedura prijave korisnika se ponavlja iz početka.

Dodatni pristup je daljinske naravi. Korištenjem komunikacijskih puteva prema nadzornom mjestu može se daljinski pristupiti bilo kojem razvodu u bilo koje vrijeme s bilo kojeg mjesta. Uvjet za pristup je da korisnik ima pristup internetu. Kao i za lokalni bežični pristup, za daljinski pristup se mogu koristiti stabilna, prijenosna računala, tablet, a gdje je to dozvoljeno i drugim pametnim prijenosnim napravama. Pristup je agnostički. Nije potrebna instalacija bilo kakvih dodatnih softverskih paketa na napravama krajnjeg korisnika.



Slika 8. Primjer zapisa šuma mrežnog signala. Učestalost zapisa 8 kHz

5. CYBER SIGURNOST

Okosnica kibernetičke (cyber) sigurnosti je robusna arhitektura komunikacijskog lanca u kojem se koristi VPN (Virtual Private Network) tunel ili WireGuard. U oba slučaja podaci su osigurani enkripcijom snage 256 bita. Dodatna sigurnost se osigurava korištenjem privatnih pristupnih točaka (Private APN), te dinamičkim IP adresama uz korištenje IPV6 adresiranja unutar komunikacijske mreže ALMA. U svrhu održanja kontinuiteta, pristup ALMA-i je također moguć uz korištenje IPV4 adresnog sustava

6. ZAKLJUČAK

U radu su izneseni razlozi koji ukazuju na neophodnost uvođenja nadzora i upravljanja opterećenjem u niskonaponskim razdjelnim mrežama. Na primjer, promijene vrste i iznosa opterećenja, distribuirani izvori kao što su mikro sunčane elektrane, skladišta energije, električna vozila, povratak korištenju električnog grijanja, visoki faktor istovremenosti uključivanja potrošača, zahtijevaju trajni nadzor distribucijske mreže.

Korištenjem nekonvencionalnog mjerenja struje (korištenjem Rogowski svitaka i/ili strujnih senzora) i mjerenje napona (preko otporničkih ili kapacitivnih djelila) s modernim uređajima za praćenje snage i tokova energije, može se implementirati mrežni sustav za prikupljanje podataka. Podaci s vremenskom oznakom visoke rezolucije, koji pristižu iz dislociranih područja, mogu se uskladiti i analizirati. Integriranje nadređene komunikacijske veze zasnovane na žičanim ili bežičnim tehnologijama dograđeno integriranom komunikacijskom vezom prema terenskim uređajima, koja se temelji na NB-PLC

/ LoRa, omogućuje aktivno upravljanje opterećenjem punjača EV, velikih potrošača te distribuirane proizvodnje. Koristeći usluge „oblaka“ uz korištenje specijaliziranih baza podataka prikladnih za izuzetno velike količine podataka pohranjenih u vremenskim serijama podataka, može se izvesti analiza mrežnog opterećenja za efikasan način rada NN mreže. Daljnja istraživanja bit će usmjerena ka nalaženju načina za povezivanje i upravljanjem potrošača unutar stambenih jedinica i poslovnih prostora.

7. LITERATURA

- [1] Stephen Robson, A. Manu Haddad, On the use of LoRa for Power Line Communication, Research Gate, 2019 54th International Universities Power Engineering Conference (UPEC)
- [2] Ms Kiran N. Jadhav, Prof. P.M. Soni, A Review on Application of Narrowband Power Line Communication In Medium Voltage Smart Distribution Grid, International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), Volume: 04 Issue: 11, Nov -2017
- [3] Theofilos A Papadopoulos, Christos G. Kaloudas, Andreas Chrysochos, Grigoris Papagiannis, Application of Narrowband Power-Line Communication in Medium-Voltage Smart Distribution Grids, IEEE Transactions on Power Delivery 28(2):981-988, April 2013
- [4] 61850-3 Communication networks and systems in substations - part 3 General requirements, siječanj 2002.
- [5] Dr Ian Watson, Goran Šagovac, dipl.ing., Mag. Ivan Sokac ml. , Mag. Zvonimir Petrovic, Poveznica nadzora kvalitete napajanje NN mreže i punionica električnih vozila i pametnih gradova, HRVATSKI OGRANAK MEĐUNARODNE ELEKTRODISTRIBUCIJSKE KONFERENCIJE - HO CIRED, 7. (13.) savjetovanje, Šibenik, 17. - 20. svibnja 2020.
- [6] Noelia Uribe-Pérez et al., Smart Grid Applications for a Practical Implementation of IP over Narrowband Power Line Communications, <http://www.mdpi.com/journal/energies>
- [7] Damir Crnarić et al., Mjerenja na niskom naponu, HRO-CIGRE Rovinj, Studeni 2018,
- [8] Miguel Seijo Simó et al., "Cybersecurity Vulnerability Analysis of the PLC PRIME Standard, <https://doi.org/10.1155/2017/7369684>
- [9] Dzemo Borovina et al., Investigation of Narrow-Band Power-Line Carrier Communication System Performance in Rural Distribution Grids", <http://dx.doi.org/10.5755/j01.eie.24.1.20149>
- [10] IEC 61850-3 Communication networks and systems in substations - part 3 General requirements, 2013
- [11] Thota Venkata Pruthvi et al., Implementation of OCPP Protocol for Electric Vehicle Applications, <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201>
- [12] Open Charge Point Interface 2.1.1, document version: 2.1.1-RC1, <https://github.com/ocpi>
- [13] McKinsey&Company, Smart Cities: Digital Solutions for a more livable future, Full report, 2018, www.mckinsey.com
- [14] Berkeley data base, <https://www.oracle.com/technetwork/database/database-technologies/berkeleydb/index-085366.html>
- [15] CASANDRA DATA BASE, <http://cassandra.apache.org/>
- [16] Gjelaj, Marjan et.al. Optimal Design of DC Fast-Charging Stations for EVs in Low Voltage Grids, Proceedings of 2017 IEEE Transportation Electrification Conference
- [17] <https://www.smartcitiesworld.net/smart-cities-profile>