

POBOLJŠANJE NAPONSKIH PRILIKA U NISKONAPONSKOJ DISTRIBUTIVNOJ MREŽI UGRADNJOM REGULACIONOG TRANSFORMATORA

VOLTAGE CONDITIONS IMPROVEMENT IN THE LOW VOLTAGE DISTRIBUTION NETWORK INTRODUCING REGULATION TRANSFORMER

Nikola MILOŠEVIĆ, Elektrodistribucija Srbije, Ogranak ED Subotica, Srbija
Milan MILANKO, Elektrodistribucija Srbije, Ogranak ED Subotica, Srbija
Siniša RISTIĆ, Elektrodistribucija Srbije, Ogranak ED Novi Sad, Srbija

KRATAK SADRŽAJ

Zbog velike udaljenosti krajnjeg kupca od distributivne transformatorske stanice 20(10)/0,4 kV i preopterećenosti niskonaponskog izvoda dolazi do odstupanja kvaliteta napona u nedozvoljenim granicama. U ovom radu predstavljeno je rešavanje problema loših naponskih prilika kod krajnjih kupaca na niskom naponu ugradnjom regulacionog transformatora. Nakon potvrde da je kvalitet napona kod kupaca niži od zadatih vrednosti prema standardu SRPS EN 50160, najpre je potrebno odrediti lokaciju u niskonaponskoj mreži gde će se postaviti regulacioni transformator. Na osnovu izbora lokacije određuje se tip i snaga regulacionog transformatora koji će se ugraditi. Zatim treba proveriti nosivost stuba na izabranoj lokaciji, prema gabaritu i težini izabranog regulacionog transformatora, i po potrebi predvideti zamenu stuba. Kada se izabere odgovarajući stub, neophodno je proveriti uzemljenje istog prema instrukcijama proizvođača regulacionog transformatora i prema tehničkim preporukama.

U drugom delu rada dat je primer montaže regulacionog transformatora sa tehničkim rešenjima u Ogranku ED Subotica. Merenje kvaliteta napona vršeno je pre i posle postavljanja predmetnog transformatora mrežnim analizatorima kod kupca sa najlošijim naponom na posmatranom niskonaponskom izvodu. Na kraju su navedene i opisane prednosti ugradnje regulacionog transformatora.

Ključne reči: kvalitet napona, regulacioni transformator, poboljšanje naponskih prilika

ABSTRACT

Due to the long distance of the end customer from the 20(10)/0.4 kV substation and the overloading of the low voltage feeder, the quality of voltage is not within the allowed limits. This paper presents solving bad low voltage conditions by introducing a regulation transformer. After confirmation that low voltage conditions are below the prescribed value, according to the EN 50160 standard, determining the location where to set regulation transformer on a low voltage utility grid comes first. The choice of location determines what type and power rate the regulation transformer will be installed. Next, the pole loading of the selected pole should be examined according to the size and weight of the selected regulation transformer, and, if needed, the replacement of the pole should be predicted, too. After selecting a suitable pole, it is necessary to check the grounding of the pole according to the transformer manufacturer instructions and technical recommendations.

The second part of the paper provides an example of an installed regulation transformer with technical solutions in ED Subotica (electric power distribution utility). Upon the installation, voltage quality measuring results before and after the installation are given. The measurement of voltage quality was performed by network analyzers at the customer with the worst voltage quality conditions at the observed low voltage feeder. At the end are enlisted and described advantages of regulation transformer installation.

Keywords: voltage quality, regulation transformer, voltage conditions improvement

Nikola MILOŠEVIĆ, Elektrodistribucija Srbije, Ogranak ED Subotica, nikola.milosevic@ods.rs
Milan MILANKO, Elektrodistribucija Srbije, Ogranak ED Subotica, milan.milanko@ods.rs
Siniša RISTIĆ, Elektrodistribucija Srbije, Ogranak ED Novi Sad sinisa.ristic@ods.rs

UVOD

Na početku izgradnje i razvoja elektrodistributivnih mreža primarni zahtev je bio elektrifikacija svih domaćinstava. Transformatorske stanice (TS) i vodovi građeni su prema tadašnjim potrebama i u skladu sa važećim zakonskim regulativama. Mali broj TS i velika dužina niskonaponskih izvoda iz istih karakterisao je distributivne mreže u početku, pogotovo u ruralnim sredinama. Vremenom, dolazi do povećanja potrošnje konzuma, kao rezultat sve višeg životnog standarda i zahtevnijih električnih uređaja. Kao rezultat svega je povećan pad napona u mreži, tako da je rad električnih uređaja otežan, a u nekim slučajevima nije ni moguć.

Prema današnjim zakonskim regulativama u Srbiji je oblast kvaliteta napona definisana standardom SPRS EN 50160 (Karakteristike napona isporuke električne energije iz javnih električnih mreža) [1]. Ovaj standard propisuje da pod normalnim radnim uslovima, izuzimajuće situacije koje nastaju usled kvara ili prekida u napajanju, tokom svakog perioda jedne nedelje 95% desetominutnih srednjih efektivnih vrednosti napona napajanja mora biti u opsegu od $U_n \pm 10\%$, i 100% desetominutnih srednjih efektivnih vrednosti napona napajanja moraju biti u opsegu $U_n +10\%/-15\%$.

Pored standarda SRPS EN50160 u Srbiji postoje i propisi koje uređuju oblast kvaliteta električne energije. To su Zakon o energetici [2], Uredba o uslovima isporuke i snabdevanja električnom energijom [3], i Pravila o radu distributivnog sistema[4].

Zakon o energetici definiše poslove Agencije za energetiku Republike Srbije (AERS), pa je tako posao AERS-a da preduzme mere kojima se postiže obezbeđivanje visokih standarda usluge u snabdevanju električnom energijom. Takođe, Zakon obavezuje operatora distributivnog sistema (ODS) da donese Pravila o radu distributivnog sistema električne energije. Na ista pravila AERS daje saglasnost. Pravilima o radu distributivnih sistema električne energije u tački 2.2. bliže definišu zahteve u pogledu kvaliteta napona. U skladu sa Zakonom, kojim je predviđeno propisivanje bližih uslova isporuke električne energije stupila je na snagu Uredba o uslovima isporuke i snabdevanja električnom energijom, i ona predstavlja osnovni dokument kojim se regulišu neka od pitanja vezanih za kvalitet isporuke električne energije.

U ovom radu biće predstavljeni mogući načini za poboljšanje naponskih prilika u niskonaponskoj distributivnoj mreži upotrebom regulacionih transformatora kao najefikasnijim rešenjem iz ugla ODS-a i kupca električne energije. Ukratko su opisani preduslovi za ugradnju regulacionog transformatora, dat je primer rešavanja naponskih prilika duž NN voda u Ogranku ED Subotica, da bi se na kraju sumirale prednosti korišćenja ovog rešenja.

KLASIČNI NAČINI REŠAVANJA NEPOVOLJNIH NAPONSKIH PRILIKA KOD KUPACA U NISKONAPONSKOJ ELEKTRODISTRIBUTIVNOJ MREŽI

Rešavanje nepovoljni naponskih prilika kod kupaca u NN mreži može se ostvariti na više načina, odnosno moguće je izvršiti povećanje napona promenom broja navojaka u distributivnom transformatoru, povećanje preseka provodnika, ugradnja kondenzatorskih baterija, i kao poslednja opcija izgradnja novog SN voda i distributivne trafostanice.

Klasični načini rešavanja nepovoljnih naponskih prilika:

- Provera rasporeda monofaznih potrošača na trofaznoj liniji vrši se ukoliko su naponi kod kupca zadovoljavajući na dve faze, a na trećoj nisu, obzirom da se često dešava da je najniža faza najviše opterećena. Ovo rešenje jeste brzo i jeftino ali je od koristi u veoma malom broju slučajeva.
- Povećanje napona na pripadajućoj transformatorskoj stanici 20(10)/0,4kV pomerajući regulacionu preklapku na maksimalnu dozvoljenu vrednost od 253V. Ovakvim rešenjem krajnjim kupcima moguće je obezbediti zadovoljavajući kvalitet napona, međutim sa druge strane je štetno za potrošače koji su najbliži trafostanici, odnosno pri najmanjim nesimetričnim opterećenjima dolazi do porasta napona iznad dozvoljenih vrednosti u podopterećenim fazama. Na ovaj način se ne rešava smanjenje harmonijskih izobličenja, ni selektivnosti i osetljivosti reagovanja zaštite. Ovo rešenje jeste brzo i jeftino ali je neefikasno.
- Povećanje preseka provodnika ugradnjom provodnika većeg preseka (ili vođenjem paralelnih provodnika) efikasnije je rešenje od prethodnog rešenja. Ali ako se radi o ugradnji provodnika na stubove dodatno se opterećuje stubno mesto, a pri nesimetričnim režimima opterećenja u zavisnosti od preseka provodnika i dužine niskonaponskog voda ponovo se ne ostvaruje zadovoljavajuća visina napona kod najudaljenijih potrošača. Ne rešava se ni problem selektivnosti i osetljivosti reagovanja zaštite, niti se smanjuje

harmonijska izobličenja. Investicija je skupa i ograničena u pogledu obezbeđenja odgovarajuće visine napona kod krajnjeg potrošača, a neefikasna u pogledu selektivnosti i osetljivosti reagovanja zaštite i smanjenja harmoničnih izobličenja.

- Ugradnja kondenzatorskih baterija i povećanje preseka provodnika, predstavlja značajnu investiciju, a postoji mogućnost porasta napona iznad 260V, kao i značajno povećanje harmonijskih izobličenja, a ne omogućava selektivnost reagovanja na zaštitu.
- Izgradnja novog SN voda i distributivne TS 20(10)/0,4 kV je značajna investicija, pogotovo ako se radi o manjoj grupi potrošača na kraju dugačkog NN voda.

Za mali broj potrošača koji su značajno udaljeni od SN mreže, imaju loš kvalitet električne energije, najekonomičnije i najefikasnije rešenje je postavljanje regulacionog transformatora u NN mrežu.

UGRADNJA REGULACIONOG TRANSFORMATORA

Da bi se rešile naponske prilike u NN distributivnoj mreži ugradnjom regulacionog transformatora neophodno je:

- izabrati lokaciju (stub na koji se ugrađuje) na koji se ugrađuje na osnovu proračunatog pada napona
- izbora regulacionog transformatora na osnovu jednovremene snage potrošača iza mesta ugradnje
- proveru nosivosti stuba na izabranoj lokaciji
- postavljanje uzemljenja prema instrukcijama proizvođača regulacionog transformatora i prema tehničkim preporukama
- montaža regulacionog transformatora.

Izbor lokacije-stuba

Krećemo od sagledavanja kompletnog NN izvoda iz TS 20(10)/0,4 kV na kome se nalaze potrošači sa nedozvoljenim padom napona. Posebnu pažnju potrebno je obratiti na preseke i tip provodnika duž NN voda, broj potrošača i mesta priključenja istih. Takođe, potrebno je izmeriti sva rastojanja od TS 20(10)/0,4 kV do svakog potrošača. Sa ovim ulaznim podacima možemo izvršiti proračun tokova snaga i naponskih prilika.

Maksimalno jednovremeno opterećenje možemo računati na 2 načina.

- 1) „Tehnička preporuka br.13“ [5], definiše da maksimalno jednovremeno opterećenje (P_{mpk}) dobijamo prema izrazu

$$P_{mpk} = P_{mj1} \cdot n \quad (1)$$

gde je :

P_{mj1} - prosečno učešće jednog stana u maksimalnom jednovremenom opterećenju

n - broj stanova

$$P_{mj1} = 8,5 \cdot \left(0,25 + \frac{0,75}{\sqrt{n}}\right) \text{ za } n \leq 20; \quad (2)$$

$$P_{mj1} = \frac{1}{n} \cdot 0,51 \cdot n^{0,88} \text{ za } n > 20 \quad (3)$$

- 2) „Distributivne i industrijske mreže“ [6], daje izraz na osnovu koga se verovatnoćom od 95% može izračunati maksimalna godišnja snaga n seoskih domaćinstava na osnovu njihove godišnje potrošnje električne energije (W_{Σ}), ima oblik:

$$P_V = 0,00837 \cdot W_{\Sigma}^{2/3} \cdot n^{1/3} \cdot \left(\sqrt{1 - \frac{1}{4 \cdot n}} + \frac{1,12}{\sqrt{n}}\right)^2 \quad (4)$$

Kako su pojedinačno vršna opterećenja nejedновременa, mora se naći faktor jednovremenosti koji pomnožen sa vršnom snagom jednog domaćinstva definiše deo snage koji jednovremeno učestvuje u vršnom opterećenju posmatranog elektroenergetskog objekta. Faktor jednovremenosti grupe od n domaćinstava može se računati pomoću izraza:

$$j_n = 0,2535 \left(\sqrt{1 - \frac{1}{4 \cdot n} + \frac{1,12}{\sqrt{n}}} \right)^2 \quad (5)$$

Sada možemo izračunati snagu sa kojom trebamo proračunavati tokove snaga i padove napona.

$$P_{V1} = j_n \cdot P_V \quad (6)$$

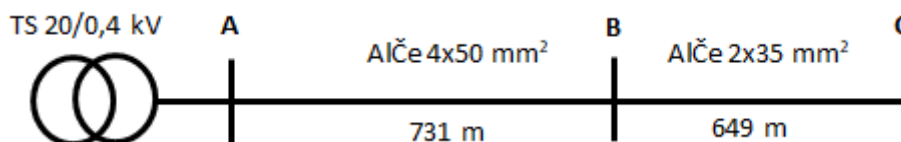
U ovom radu korišteni su izrazi prema načinu broj 2.

Padove napona računamo prema „M. Nimrihter, Elektrodistributivni sistemi“ [7], uz poznavanje karakteristika voda (podužne rezistanse i reaktanse).

$$U_i = U_k - (R + jX) \cdot I \quad (7)$$

U ovom radu korišten je interni program za padove napona koji se koristi u DP Novi Sad. Program je u Excelu i dostupan je za upotrebu. Na osnovu proračuna pada napona dobijamo informaciju u kom čvoru NN mreže se napon spušta ispod dozvoljene vrednosti. Taj čvor će biti lokacija ugradnje regulacionog transformatora. Ako nije konstruktivno izvodljivo u pogledu zahteva proizvođača regulacionih transformatora i stanja na terenu, da se postavi na lokaciju prema proračunima, može se pomeriti lokacija ali da se ne narušava kvalitet napajanja potrošača. Uglavnom je to pomeranje prema izvoru napajanja.

U posmatranom slučaju u Ogranku ED Subotica imamo situaciju prema slici:



SLIKA 1 – KONFIGURACIJA NN MREŽE U KOJOJ REŠAVAMO PROBLEM NAPONSKIH PRILIKA

Prema izrazima (4), (5) i (6) dobijamo maksimalnu jednovremenu snagu za NN izvod od 57,08 kW. Prema programu koji se koristi u DP Novi Sad, napon na kraju trofazne mreže, odnosno u tački B je 373 V, dok je na kraju izvoda u tački C fazni napon 189 V. Ovdje je nedvosmisleno izabrana tačka B kao lokacija ugradnje regulacionog transformatora, obzirom da je u ovoj tački liniski napon još uvek u dozvoljenim granicama i da imamo dve faze trofaznog niskonaponskog voda na koje trebamo povezati monofazni regulacioni transformator.

Izbor regulacionog transformatora

Kada znamo lokaciju ugradnje, tada znamo i broj potrošača iza regulacionog transformatora. Ovdje ponovo izračunavamo maksimalnu jednovremenu snagu prema izrazima (4), (5) i (6) za potrošače od izabrane lokacije do kraja NN mreže. Na osnovu dobijene vrednosti maksimalne jednovremene snage biramo prvu veću nominalnu vrednost snage regulacionog transformatora.

U primeru za Ogranak ED Subotica maksimalna jednovremena snaga za 6 potrošača između tačke B i C je 12,75kW. Na osnovu izračunate snage biramo regulacioni transformator snage 18 kVA, odnosno samoupravljivi regulacioni transformator tipa VROT-18, prema katalogu „Regulatori napona i mrežni autotransformatori“ [8].

Izbor stuba na odabranoj lokaciji

U ovom radu razmatrani su samo stubovi dužine 9 m, iz razloga što posmatramo čistu NN mrežu. Na teritoriji DP Novi Sad postoji tendencija da se svi drveni stubovi zamene novim betonskim. Ako je na lokaciji ugradnje regulacionog transformatora drveni stub, odmah se predviđa zamena odgovarajućim betonskim.

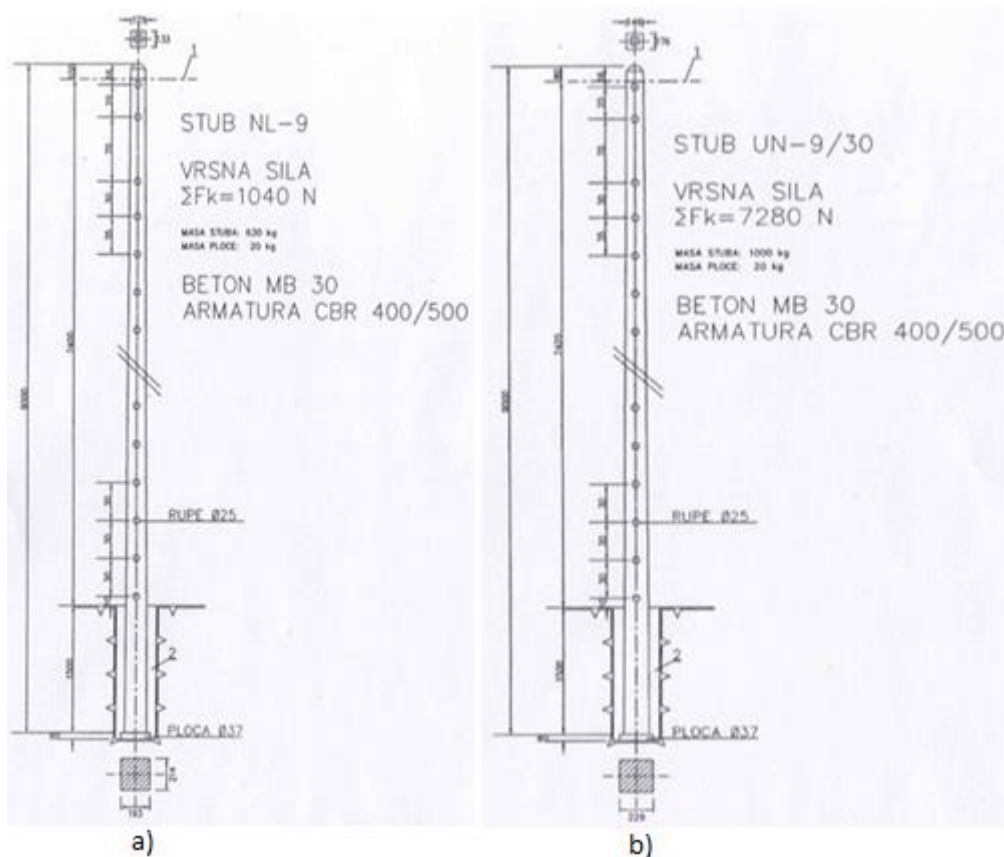
Prema „Projekat za izvođenje Armirano-betonski stub dužine 9 m“ [9], armirano-betonski stub dužine 9m (stub NL9) dužina stuba u zemlji je 1,5 m, dužina stuba van zemlje je 7,5m, broj i presek provodnika je 4x50 mm², dozvoljeno naprezanje po provodniku je 5 daN/mm², težina jednog izolatora i potpore je 2 daN, težina konzole 40 daN, težina provodnika 50 mm² bez leda je 0,196 daN/m, težina provodnika je 50 mm² sa ledom je 0,754 daN/m, pritisak vetra na provodnike i stub je 50daN/m², razmak stubova je 40 m. Za najnepovoljniji slučaj, gde

je uzeta u obzir težina stuba, izolatora, pribora, provodnika, zaštitne užadi, pritiska vetra na stub i provodnike, sile zatezanja svih provodnika, dobija se vršna sila koju stub na svom vrhu mora trajno da izdržava, i ta sila je 1040 N za stub NL 9. Ova sila odgovara težini od 109 kg.

Prema „Projekat za izvođenje Armirano-betonski stub 30° dužine 9 m“ [10], armirano-betonski stub 30° dužine 9 m (stub UN-9/30), sa svim ulaznim podacima za proračun kao i stub NL 9, sa razlikom što ovaj stub treba da omogući lom NN mreže od 30°. U najnepovoljnijem slučaju stub UN-9/30 treba da izdrži silu od 7280 N. Ova sila odgovara težini od 742 kg.

Treba takođe naglasiti da proizvođači betonsko-armiranih stubova ispituju izdržljivost svojih proizvoda sa 180% nominalnih vrednosti sila.

Ako znamo da je težina jednog monofaznog regulacionog transformatora (tipa VROT) oko 100 kg, i da se postavlja na visinu 1m ispod najnižeg provodnika NN mreže (gde je vršna sila manja u odnosu na vrh stuba), dolazimo do zaključka da se u monofaznoj mreži može postaviti jedan regulacioni transformator na stub NL9. Dok u trofaznim mrežama gde trebamo postaviti 3 monofazna regulaciona transformatora, obavezno je postavljanje stuba UN-9/30.



SLIKA 2 - IZGLLED STUBOVA SA VRŠNIM SILAMA A) STUB NL 9 I B) STUB UN-9/30

Čelično rešetkasti stubovi (ČRS) od 9m koji se proizvode na osnovu tipskih projekata za NN mrežu imaju najmanju vršnu silu od 9500N, pa smo sigurni da se oni mogu upotrebljavati u svim slučajevima montaže regulacionih transformatora. Naravno postavljanjem ČRS stuba značajno poskupljujemo investiciju.

U primeru Ogranka ED Subotica, u tački B sa Slike 1 je već bio postavljen stub UN-9/30. U ovom slučaju je zadržan postojeći stub obzirom da zadovoljava nosivost.

Postavljanje uzemljenja

„Tehnička preporuka br. 9“ [11], propisuje da za stubove NN vodova od metala i armiranog betona ne izvode se posebni uzemljivači, niti se preduzimaju posebne zaštitne mere u pogledu ispunjenja uslova bezbednosti od napona dodira (napon koraka se ne proračunava, niti je potreban dokaz merenjem, bez obzira na mesto ugradnje stuba, vrstu i napon voda, kao i način uzemljenja neutralne tačke). Uzemljenje neutralnog provodnika izvodi se na svakom radijalnom ogranku NN mreže dužem od 200 m pomoću jednog uzemljivača koji se postavlja kod

krajnjeg stuba ogranka, ili pomoću više uzemljivača raspoređenih kod stubova koji se nalaze na udaljenosti najviše 200 m od krajnjeg stuba ogranka. Pri tome ukupna otpornost uzemljenja neutralnog provodnika, mereno kod krajnjeg stuba ogranka zajedno sa uzemljivačima stubova, ne sme da pređe vrednost od $R_{om} \leq 10 \Omega$, osim u slučaju da se na kraju ogranka nalazi neki objekat (zgrada) u kojem je izveden temeljni uzemljivač i sprovedena mera izjednačenja potencijala.

Prema [8] i „Uputstvo za eksploataciju, montažu, održavanje i skladištenje samoupravljivih uređaja za korekciju napona u niskonaponskim mrežama“ [12], za stub na koji se postavlja regulacioni transformator potrebno je uraditi združeno uzemljenje, tako da otpornost združenog uzemljenja bude manja od $R_z < 5\Omega$.

Montaža regulacionog transformatora sa tehničkim rešenjem u Ogranku ED Subotica

U Gradu Subotici naselja Kelebija i Makova sedmica pripadaju predelu izuzetnih odlika „Subotička peščara“ i nalaze se uz granicu Srbije sa Mađarskom, na području Subotičko-Horgoške peščare. Na jednom delu ih razdvaja ulica Jovana Mikića, koja je ujedno i najduža ulica u gradu Subotica, dužine 8,3 km. Na krajnjim delovima ulice Jovana Mikića nekada su bili vinogradi sa ponekom kućom, zatim su se počele graditi vikendice, dok je danas taj deo popunjen i sa većim kućama pa čak i firmama. Vremenom se i elektrodistributivna mreža širila i trenutno imamo najlošije naponske prilike u delu koji je prikazan na slici 1. Krajnji potrošač je udaljen od TS 20/0,4 kV 1380 m, od toga je poslednjih 649 m monofazna linija. Na osnovu proračuna tokova snaga i pada napona odlučeno je da se regulacioni transformator postavi na početku monofazne linije. Izabran je samoupravljivi uređaj za korekciju napona u NN mrežama tipa VROT-18, koji je postavljen na stub UN-9/30.

Prema [12], VROT-18 je specijalan tip upravljivog transformatora čiji rad je zasnovan na principu upravljanja promenjivom strukturom galvanski razdvojenog kola. Upravljačka kutija VROT-18 je opremljena elektronikom koja je galvanski odvojena od NN mreže i vodi transformator. Specijalni izvršni elemente elektronike daje nalog za ulazak transformatora u regulaciju. Osiguračka kutija opremljena je automatskim osiguračem velike rasklopne moći.

Na slici 3 prikazano je tehničko rešenje u Ogranku ED Subotica za poboljšanje naponskih prilika u NN mreži u ulici Jovana Mikića. Primer sa slike 3, razlikuje se u odnosu na ostala rešenja u tome što je ovde postavljen poliesterski orman (POMM-1) sa prozirnim vratima na visinu od 1,5 m iznad zemlje. U orman je postavljen automatski osigurač velike rasklopne moći. Poliesterski orman je pričvršćen na stub i povezan sa VROT-18 bakarnim provodnicima postavljenim u metalno rebrasto crevo (SAPA). Na ovaj način može se vizuelno ustanoviti statusno stanje rasklopnog i zaštitnog elementa, takođe može se njime i manipulirati, a ne mora se penjati do regulacionog transformatora. Ovo rešenje može se primeniti i kod monofazne i kod trofazne izvedbe.

Rezultati merenja pre i posle postavljanja regulacionog transformatora

U ovom delu su prikazana merenja veličine napona kod poslednjeg potrošača pre i posle postavljanja regulacionog transformatora. Sa slika 4, 5, 6 i 7 možemo videti da ugradnjom regulacionog transformatora značajno povećavamo kvalitet napona napajanja potrošača, ali u našem slučaju nismo u potpunosti rešili problem obzirom da prema slici 6, vidimo da je desetominutna usrednjena vrednost napona imala minimalnu vrednost od 192,1 V, odnosno da je od 1008 usrednjenih desetominutnih vrednosti napona 5 ispod dozvoljene granice od 195,5 V. Ovo se može rešiti zamenom provodnika većeg preseka duž dela monofazne deonice, ili još bolje rešenje je postavljanje monofaznog samonosećeg kablovskog snopa (SKS-a) odgovarajućeg preseka.

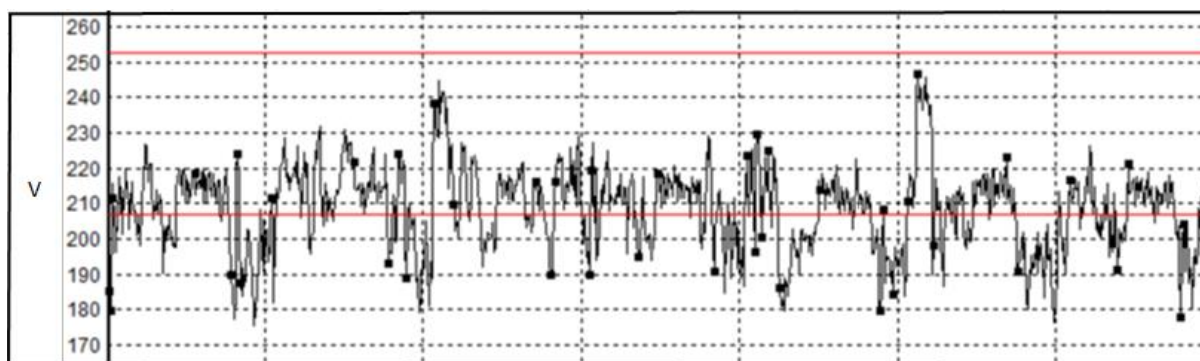


SLIKA 3 – TEHNIČKO REŠENJE U OGRANKU ED SUBOTICA ZA POBOLJŠANJE NAPONSKIH PRILIKA U NN MREŽI U ULICI JOVANA MIKIĆA, A) STUB UN-9/30 SA VROT-18 I B) POMM-1 SA AUTOMATSKIM OSIGURAČEM

Na slici 4 su prikazane su vrednosti napona prema standardu EN 50160, pre postavljanja regulacionog transformatora, dok su na slici 5 isti ti isti ti rezultati prikazani grafički.

Name	Test results	Nominal	Lower Limit %	Upper Limit %
Aggregation	% OK needed		Lower Limit	Upper Limit
Number of aggregations	% OK	AVG of aggregations	MIN of aggregations	MAX of aggregations
Slow Variations V rms L1	Test failed	230,0 V	-10,0%	+10,0%
10 min	95,0	207 V	207 V	253 V
1006	60,0	208,9 V	175,7 V	246,7 V
Slow Variations V rms L1	Test failed	230,0 V	-15,0%	+10,0%
10 min	100,0	195,5 V	195,5 V	253 V
1006	85,9	208,9 V	175,7 V	246,7 V

SLIKA 4 – VREDNOSTI NAPONA PREMA EN 50160 KOD POSLEDNJEG POTROŠAČA PRE POSTAVLJANJA REGULACIONOG TRANSFORMATORA

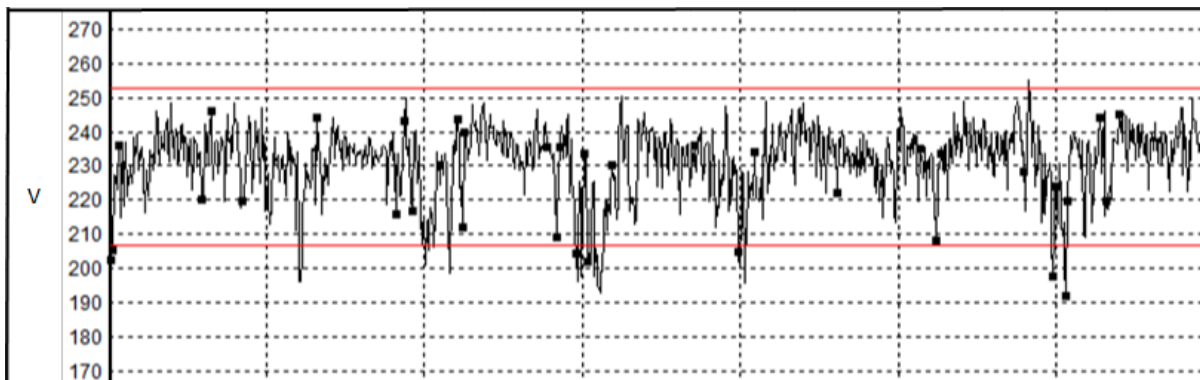


SLIKA 5 – GRAFIČKI PRIKAZ NAPONA PREMA EN 50160 KOD POSLEDNJEG POTROŠAČA PRE POSTAVLJANJA REGULACIONOG TRANSFORMATORA

Na slici 6 tabelarno su prikazane izmerene vrednosti napona prema standardu EN 50160 kod poslednjeg potrošača, posle postavljanja regulacionog transformatora.

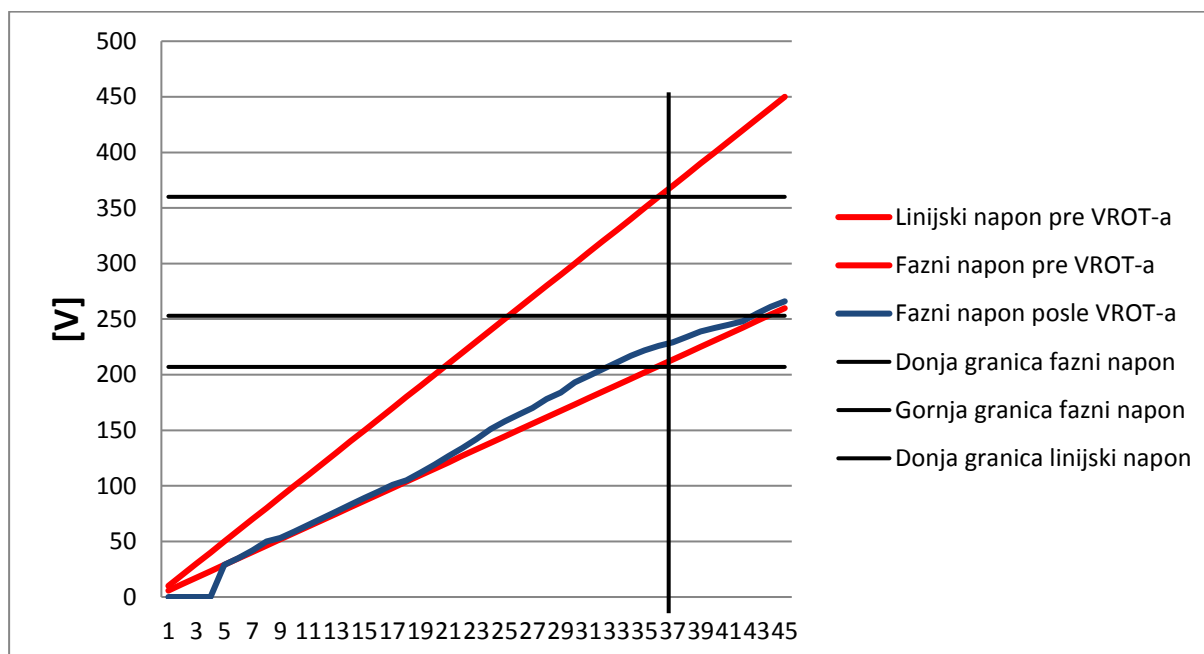
Name	Test results	Nominal	Lower Limit %	Upper Limit %
Aggregation	% OK needed		Lower Limit	Upper Limit
Number of aggregations	% OK	AVG of aggregations	MIN of aggregations	MAX of aggregations
Slow Variations V rms L1	Test failed	230,0 V	-15,0%	+10,0%
10 min	100,0		195,5 V	253 V
1006	99,5	231,7 V	192,1 V	255 V
Slow Variations V rms L1	Test passed	230,0 V	-10,0%	+10,0%
10 min	95,0		207 V	253 V
1006	96,4	231,7 V	192,1 V	255 V

SLIKA 6 - VREDNOSTI NAPONA PREMA EN 50160 KOD POSLEDNJEG POTROŠAČA POSLE POSTAVLJANJA REGULACIONOG TRANSFORMATORA



SLIKA 7 – GRAFIČKI PRIKAZ NAPONA PREMA EN 50160 KOD POSLEDNJEG POTROŠAČA POSLE POSTAVLJANJA REGULACIONOG TRANSFORMATORA

Sa slika 4, 5, 6 i 7 takođe možemo videti da oscilacije napona iza regulacionog transformatora zavise od oscilacija napona pre regulacionog transformatora. Da bi se to potvrdilo, u radionici Ogranka ED Subotica na ispitni pult je povezan regulacioni transformator tip VROT-18, date su mu ulazne vrednosti linijskog napona u koracima od po 10V (od 0V do 450V). Vršena su merenja sa opterećenjem i bez opterećenja, dobijeni su približno isti rezultati. Na osnovu merenja dobijen je grafik prikazan na slici 8. Sa grafika vidimo da je delovanje regulacionog transformatora ograničeno u pogledu povećanja napona u zavisnosti od ulaznog linijskog napona.



SLIKA 8 – REZULTATI MERENJA NAPONA NA ULAZU I IZLAZU VROT-A U RADIONIČKIM USLOVIMA

ZAKLJUČAK

Ugradnjom regulacionog transformatora u NN mrežu, moguće je na relativno brz i učinkovit način naponske prilike duž NN voda svesti unutar granica definisanih standardom SRPS EN 50160. Naravno treba voditi računa da je svaka situacija zaseban slučaj koji se mora detaljno analizirati. Optimalnim rešenjem za postavljanje regulacionih transformatora u NN mrežu, između ostalog postizemo:

- poboljšanje naponskih prilika
- smanjenje gubitaka energije pri prenosu do potrošača
- bolji kvalitet isporuke električne energije
- znatno nižu investiciju od klasične (novi SN vod i TS 20/0,4 kV)
- eliminisan uticaj viših harmonika zbog galvanskog odvajanja
- eliminisano opterećenje neutralnog provodnika u trafostanici, kod velikih nesimetrija jer je na mestu ugradnje $I_0=0$
- simetriranje opterećenja po faznim provodnicima
- selektivnost i osetljivost zaštite duž NN voda

LITERATURA

1. SRPS EN 50160:2012, „Karakteristike napona isporučene električne energije iz javnih električnih mreža“
2. Zakon o energetici ("Sl. glasnik RS", br. 145/2014 i 95/2018 - dr. zakon)
3. Uredba o uslovima isporuke i snabdevanja električnom energijom ("Sl. glasnik RS", br. 63/2013 i 91/2018)
4. EPS DISTRIBUCIJA DOO, „Pravila o radu distributivnog sistema“
5. EPS - Direkcija za distribuciju električne energije „Tehnička preporuka br.13“, Beograd, 1998.
6. N. Rajaković, D. Tasić, G. Savanović, Distributivne i industrijske mreže, Akademska misao, Beograd, 2004.
7. M. Nimrihter, Elektrodistributivni sistemi, 2009, Novi Sad.
8. FMT Zaječar AD, Katalog regulatori napona i mrežni autotransformatori
9. „Betonjerka“ AD Sombor, 2016, Projekat za izvođenje Armirano-betonski stub dužine 9 m
10. „Betonjerka“ AD Sombor, 2016, Projekat za izvođenje Armirano-betonski stub 30° dužine 9 m
11. JP Elektroprivreda Srbije, Beograd, 2010, „Tehnička preporuka br. 9“
12. FMT Zaječar AD, Uputstvo za eksploataciju, montažu, održavanje i skladištenje samoupravljivih uređaja za korekciju napona u niskonaponskim mrežama