

REGULACIJA NAPONA U NISKONAPONSKOJ MREŽI PRIMENOM BESKONTAKTNIH REGULATORA

V. ALEKSIĆ¹, JP EPS
M. ZDRAVKOVIĆ, ODS EPS Distribucija, ogranak Vranje
A.JANJIĆ, Univerzitet u Nišu, Elektronski fakultet

1. UVOD

Problemi u radu NN mreže delom su izazvani i zbog promena napona usled oscilacija opterećenja. Odstupanja napona javljaju se zbog statičke regulacije napona podešavanjem odvojka transformatora u transformatorskim stanicama gde je napon kompenzovan za prosečne vrednosti opterećenja. U slučaju rada distribuiranog izvora u SN ili NN mreži protok snage je dvosmeran, što znači još više promena napona u distributivnoj mreži. Visina promena zavisi takođe od konfiguracije i jačine mreže. Upravljanje promenama napona vrši se aktivnom regulacijom napona u transformatorskim stanicama 110/35 (20)kV ili s manjom impedansom kroz pojačanje mreže. Međutim, sve više pažnje poklanja se i regulaciji napona u NN mreži.

U Srbiji je oblast kvaliteta napona uređena standardom SRPS EN 50160: 2012 (Karakteristike napona isporučene električne energije iz javnih električnih mreža) koji je u svemu identičan sa standardom EN50160 izdatim od strane CENELEC-a i koji je preveden na srpski jezik. Ovaj standard propisuje da pri normalnim pogonskim uslovima, bez uzimanja u obzir prekida napajanja, 95% 10-minutnih srednjih vrednosti efektivne vrednosti napona svakog nedeljnog intervala (bilo kojeg) mora biti u opsegu: $\pm 10\%$ U_n . Preostalih 5% 10-minutnih srednjih vrednosti efektivne vrednosti napona svakog nedeljnog intervala (bilo kojeg) mora biti u opsegu: $U_n + 10\%$ / -15% (tj. maksimalno: 253 V, a minimalno: 195,5 V).

Pored ovog standarda, u službenoj upotrebi u našoj zemlji je i nekoliko propisa koji uređuju oblast kvaliteta isporučene električne energije, kao što su:

- Zakon o energetici, Republika Srbija, Službeni glasnik broj 145/2014
- Uredba o uslovima isporuke i snabdevanja električnom energijom ("Sl. glasnik RS", br. 63/2013)
- Pravila o radu distributivnog sistema, EPS 15. decembar 2009.

Usvajanjem Zakona o energetici Republike Srbije uspostavljena je zakonodavna osnova za regulaciju kvaliteta isporuke električne energije. U skladu sa Zakonom, jedan od zadataka Agencije za energetiku Republike Srbije je usklađivanje aktivnosti energetske subjekata na obezbeđivanju redovnog snabdevanja kupaca energijom i uslugama u skladu sa njihovim obavezama utvrđenim ovim Zakonom. Zakonom je takođe predviđeno pravo i dužnost elektroenergetskih inspektora da proveravaju urednost isporuke i kvalitet električne energije koja se isporučuje kupcima. U skladu sa Zakonom, kojim je predviđeno propisivanje bližih uslova isporuke električne energije, 1.1.2006. je stupila na snagu Uredba o uslovima isporuke električne energije („Službeni glasnik Republike Srbije” broj 107/05). Uz Zakon, Uredba u ovom trenutku predstavlja osnovni dokument kojim se regulišu neka od pitanja vezanih za kvalitet isporuke električne energije i kao takva predstavlja podlogu za regulaciju kvaliteta isporučene električne energije.

Članom 2 Uredbe o uslovima isporuke i snabdevanja električnom energijom, predviđeno je da operator prenosnog, odnosno distributivnog sistema korisniku sistema omogući isporuku, odnosno preuzimanje električne energije, pod uslovima utvrđenim Zakonom o energetici i pravilima kojima se regulišu kvalitet isporuke električne energije. Operator sistema dužan je da održava napon u sistemu uz dopušteno odstupanje od $\pm 10\%$ nazivnog napona za sve naponske nivoe izuzev 400 kV, gde je dopušteno odstupanje od $\pm 5\%$ nazivnog napona. Izuzetno, ako usled kvara na elektroenergetskim objektima ili nepredviđenog opterećenja, nije moguće uspostaviti naponsko stanje iz stava 2. ovog člana, dozvoljena su i veća odstupanja, u kom slučaju je operator

¹ vladica.aleksic@eps.rs

sistema dužan da odmah preduzme raspoložive mere i u najkraćem mogućem roku uspostavi dopušteno naponsko stanje.

Pored ove uredbe, Zakon je stvorio i okvir za donošenje pravila o radu distributivne mreže kojima se utvrđuju tehnički i drugi uslovi za bezbedan pogon distributivnog sistema i obezbeđivanje pouzdane i kontinuirane isporuke električne energije kupcima. Pravilima o radu distributivnog sistema sagledane su obaveze operatora distributivnog sistema ne samo u toku eksploatacije, već i u toku planiranja razvoja sistema U ovom radu opisana su praktična iskustva u radu automatskog beskontaktnog regulatora postavljenog na stubu NN nadzemne mreže u ED Vranje. Prikazani su i rezultati merenja napona sa i bez prisustva regulatora i dati zaključci o mogućnostima njihove primene u NN mreži.

2. REGULACIJA NAPONA

Regulacija napona u NN mreži može se ostvariti na više načina. U klasične metode spadaju povećanje napona promenom broja navojaka u distributivnom transformatoru, kao i povećanje preseka provodnika ili ugradnja kondenzatorskih baterija. Pregled klasičnih metoda dat je nastavku.

2.1. Klasične metode regulacije napona

- a) Povećanje napona na pripadajućoj transformatorskoj stanici 10 (20)/0.42 kV na maksimalno dozvoljenu visinu 253 V predstavlja neefikasno rešenje, s obzirom da krajnji potrošači ne dobijaju zadovoljavajuću visinu napona, a sa druge strane je štetno jer pri najmanjim nesimetričnim opterećenjima dolazi do porasta napona iznad dozvoljenih vrednosti u podopterećenim fazama. U zavisnosti od stepena nesimetrije taj napon može da premaši i vrednost od 260 V u trajanju dužem od 500 ms. Na ovaj način se takođe ne rešava smanjenje harmoničnih izobličenja, ni selektivnosti i osetljivosti reagovanja zaštite. Ovo rešenje jeste jeftino, ali neefikasno.
- b) 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 smanjuju harmonijska izobličenja. Investicija je skupa i ograničena u pogledu obezbeđenja odgovarajuće visine napona kod krajnjih potrošača, a neefikasna u pogledu selektivnosti i osetljivosti reagovanja zaštite i smanjenja harmonijskih izobličenja.
- c) Povećanje preseka provodnika i ugradnja kondenzatorskih baterija, predstavlja značajniju investiciju, a postoji mogućnost porasta napona iznad 260 V u trajanju dužem od 500 ms, kao i značajno povećanje harmonijskih izobličenja, a ne omogućava selektivnost reagovanja zaštite.
- d) Izgradnja SN elektroenergetskog voda sa pripadajućom transformatorskom stanicom 10(20)/0.42 efikasna je metoda, ali investiciono zahtevna, naročito ako se radi o manjoj grupi potrošača na kraju postojećeg niskonaponskog elektroenergetskog voda, a u prečniku od 100 m ne postoji mogućnost priključka na sredjenaponski elektroenergetski vod.

2.2. Automatska regulacija napona

Pored klasičnih metoda, dostupne su i varijante sa ugradnjom autotransformatora, kao i beskontaktnih transformatora koje su razmatrane u studiji rađenoj za potrebe JP EPS [1]. U studiji je razmatrano više varijanti, od kojih je prva bila ugradnja automatskog regulatora napona domaćeg proizvođača FMT Zaječar, tipa VROT 18. Automatski regulator napona „sistem VROT-18” je uređaj raspregnutog tipa koji nezavisno upravlja karakterom i režimom opterećenja po fazi, a za upravljanje koristi linijski napon. Kako je ovaj regulator već prisutan u našim distributivnim mrežama, pažnja je u ovom radu posvećena alternativnim rešenjima. Kao druga varijanta, razmatran je klasični autotransformator, sa promenljivim brojem navojaka. U nastavku je dat izgled ovog regulatora, kao i regulacionog transformatora

2.2.1. Automatski regulator sa servo motorom



Slika 1 Izgled uređaja i regulacionog transformatora

Prednost ovog uređaja je izuzetno povoljna cena (1500 €), niski troškovi montaže i napredne funkcije monitoringa, jer je moguće i daljinski pratiti željene parametre. Nedostatak je, kao i kod klasičnih regulatora, habanje kontakata i veliki broj mehaničkih delova koji mogu da budu uzrok nepouzdanog rada. Zbog toga je analizirana i treća varijanta regulacije napona - elektronski beskontaktni regulator.

2.2.2. Beskontaktni regulator ZBW 30

Karakteristike regulatora odabranog za pilot postrojenje u ED Vranje date su u sledećoj tabeli.

Tabela 1 Karakteristike regulatora ZBW 30

Tip	ZBW beskontaktni regulator napona	
Snaga (kVA)	30	
Ulaz	Regulacioni opseg	400V ± 20%
	Frekvencija	50 Hz
Izlaz	Un (V)	400 V
	Tačnost	± 1,5% od izlaznog napona
	In (A)	45
	Struja u „by pass“ režimu	36
	Vreme reagovanja	20 ms
	Efikasnost	98%
	Oblik signala	sinusoida
Zaštita	Previsoki napon	Za vrednosti napona većih od 20 % od nominalnih, prekida se rad regulatora
	Preniski napon	Za vrednosti napona nižih od 20 % od nominalnih, prekida se rad regulatora
	Prekid faze	Prekida se rad regulatora
	Preopterećenje	Prekida se rad nakon 3 min trajanja preopterećenja
	Kratak spoj	Automatski osigurač
	„By pass“	Automatski /ručni „by pass“
Indikacija	Napon	Digitalni displej efektvne vrednosti sve 3 faze
	Struja	Digitalni displej efektvne vrednosti sve 3 faze

	Status	Radni ili „by pass“
	Zaštita	Prorada prenaponske, preskostrujne zaštite ili prorada osigurača
Princip rada	DSP procesor	
Hlađenje	Ventilator sa ugrađenim termometrom	
Održavanje	Automatsko	
Mogućnost preopterećenja	5 x In tokom 1 sekunde	
Temperaturni opseg	-20 ⁰ C do + 50 ⁰ C	
Stepen zaštite	IP 54	

Izgled regulatora prikazan je na sledećoj slici.



Slika 2. Elektronski regulator napona

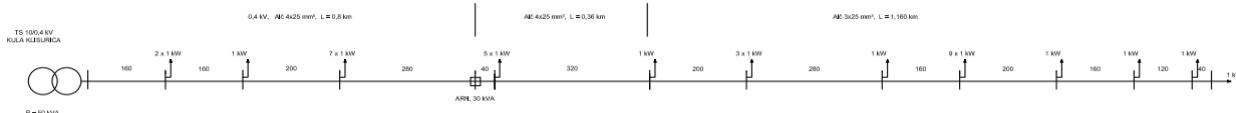
Cena ovog regulatora ne odstupa značajno od prethodne varijante (regulator snage 30 kVA košta približno 2000 € bez troškova montaže), te je zbog znatno boljih karakteristika on usvojen kao rešenje koje je korišćeno u pilot postrojenju realizovanom u okviru pomenute studije.



Slika 3. Izgled regulatora na stubu NN mreže

3. REZULTATI MERENJA

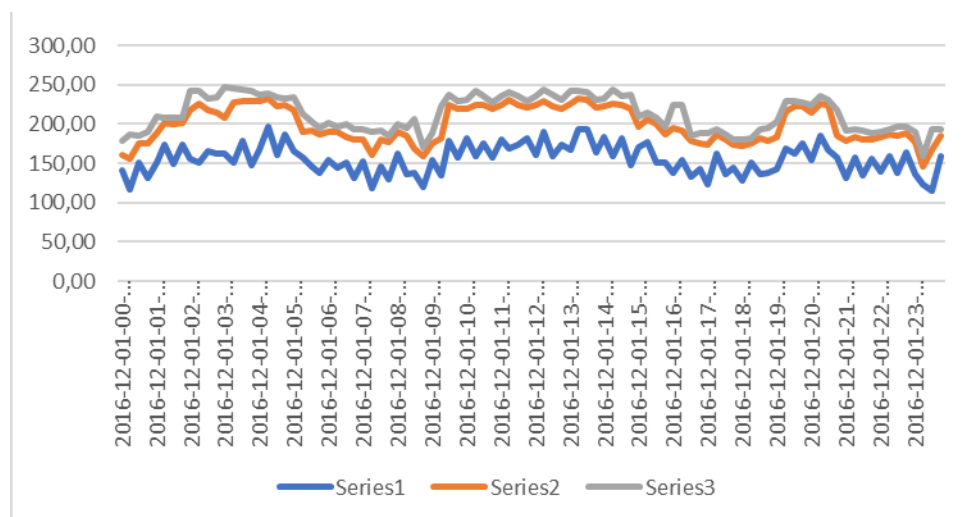
Regulator napona postavljen je krajem 2016. godine, prema urađenom projektu priključenja, na NN izvodu TS 10/0,4 kV Korbevac. Regulator je postavljen približno na sredini NN voda (lokacija je prikazana na slici 4), a merenje napona vršeno je mrežnim analizatorom postavljenim na kraju voda u periodu od nekoliko meseci.



Slika 4. Jednopolna šema NN mreže

Mrežni analizator postavljen je na kraju voda, u električnu instalaciju domaćinstva blizu poslednjeg stuba mreže, tako da su izmerene vrednosti napona niže u odnosu na izračunate vrednosti, zbog padova napona u priključnim vodovima.

Na sledećoj slici prikazane su 15 – minutne vrednosti napona i to: minimalne vrednosti napona izmerene u 15 –minutnom periodu, obeležene su plavom bojom. Maksimalne vrednosti napona zabeležene u 15 –minutnom periodu obeležene su sivom bojom. Narandžastom bojom obeležene su srednje vrednosti svih merenih napona u 15 – periodu (sva merenja vršena su sa vremenskom rezolucijom od 1 sekunde).



Slika 5 15 – minutne vrednosti napona na kraju voda bez regulatora napona. Series 1 – minimalne vrednosti Series 2 – srednje vrednosti, Series 3 – maksimalne vrednosti napona

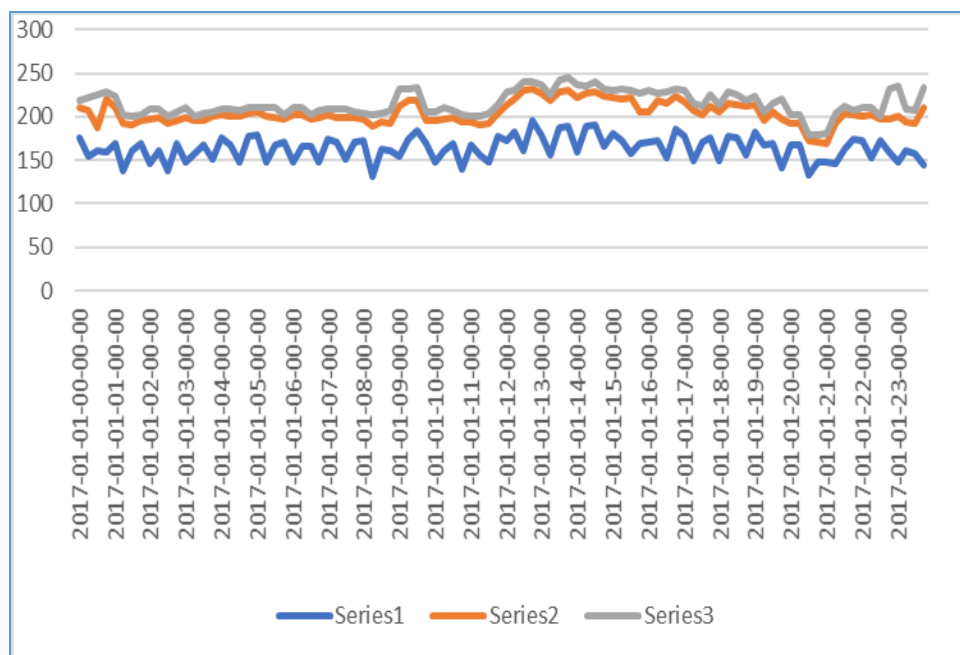
Tabela 2 Statistička analiza izmerenih vrednosti

	U min	U sr	U max
Srednja vrednost	131,5385358	189,1569	205,7428
Standardna greška	0,31599053	0,335516	0,309445
Medijana	130,6595	189,8425	207,094
Moda	121,091	193,887	208,407

Standardna devijacija	16,8692781	17,91165	16,51983
Opseg	132,238	132,613	154,338
Minimum	79,166	98,194	104,279
Maximum	211,404	230,807	258,617
Sum	374884,827	539097,1	586367
Nivo poverenja (95,0%)	0,619593284	0,657879	0,606758

Izmerene vrednosti, bez prisustva regulatora pokazuju veoma velika odstupanja od dozvoljenih vrednosti. U toku rada regulatora, vršena su i test ispitivanja male hidroelektrane priključene na 10 kV mrežu sa koje se napaja i TS 10/0,4 V Korbevac, tako da su sva četiri režima rda MHE bila prisutna u izmerenim vrednostima (maksimalne i minimalne vrednosti proizvodnje i potrošnje). Minimalne vrednosti napona, koje odgovaraju maksimalnoj potrošnji i minimalnoj proizvodnji dostižu čak vrednosti od 130V. Simulacionim proračunima je dobijena vrednost od 180 V u mreži, ali se ove vrednosti odnose na trofaznu mrežu i simetrična opterećenja potrošača. Uzimajući u obzir nesimetriju, jednofazne potrošače, velike padove napona na kućnom priključku, jasno je zašto su ove vrednosti manje od proračunatih. Međutim, relativni odnosi napona u ova četiri režima poklapaju se sa proračunatim vrednostima

Od početka novembra, regulator je podešen na nominalne vrednosti napona i primetno je poboljšanje naponskih prilika na mreži. Mnogo manja odstupanja vidljiva su i na dijagramu prikazanom na sledećoj slici.



Slika 6 15 – minutne vrednosti napona na kraju voda sa regulatorom napona. Series 1 – minimalne vrednosti Series 2 – srednje vrednosti, Series 3 – maksimalne vrednosti napona

Primetno je da je minimalna vrednost napona značajno povećana (152V u odnosu na 131V, ili 13%), ali se to odnosi i na srednju i na maksimalnu vrednost. Primetna je i deformacija krive srednjih i maksimalnih vrednosti, što je i očekivano s obzirom na rad regulatora napona i smanjivanje maksimalnih vrednosti

Tabela 3 Statistička analiza izmerenih vrednosti za novembar

	U min	U sr	U max
Srednja vrednost	153,2532	202,2814	216,3187
Standardna greška	0,349379	0,376541	0,374603
Medijana	152,6975	205,2505	222,0785
Moda	145,089	208,085	190,683
Standardna devijacija	18,30826	19,73164	19,63004
Opseg	116,704	108,723	112,022
Minimum	103,797	135,72	146,05
Maximum	220,501	244,443	258,072
Nivo poverenja (95,0%)	0,685072	0,738333	0,734532

ZAKLJUČAK

Kao rešenje za regulaciju napona u prisustvu distribuirane proizvodnje, studija je pokazala neosporne prednosti beskontaktnih automatskih regulatora napona, od kojih možemo navesti sledeće:

- jednostavna i brza ugradnja;
- mala investicija kada se radi rekonstrukcija mreže;
- znatno veća efikasnost sistema pri prenosu energije duž niskonaponskog voda;
- smanjeni gubici energije pri prenosu do potrošača;
- mogućnost prenosa znatno veće snage na veće udaljenosti uz održavanje kontinuiranih naponskih prilika duž niskonaponskog voda u granicama definisanim standardima EN 50160;
- eliminisan uticaj viših harmonika zbog galvanskog odvajanja;
- eliminisano opterećenje neutralnog provodnika u trafostanici, kod velikih nesimetrija, jer je na mestu ugradnje $I_0=0$;
- zaštita potrošača od previsokog napona pri kratkom spoju faznog i neutralnog provodnika ili prekidu neutralnog provodnika;
- simetrisanje opterećenja po faznim provodnicima;
- postignuta selektivnost i osjetljivost djelovanja zaštite duž niskonaponskog voda;
- u kombinaciji sa samonosivim kablovskim snopom ne zahteva održavanje tog voda, naročito ako elektroenergetski vod prolazi kroz područja sa visokom vegetacijom;
- vrlo podesan je kao zamena za TS 10/0.4 kV, do 50 kVA pri napajanju malih potrošača;
- ukoliko se koristi kao zamena za TS 10/0.4 kV, do 50 kVA, smanjen je broj ispada glavnih magistralnih vodova 10(20) kV zbog kvarova na visokonaponskom vodu koji prolazi kroz područja sa visokom vegetacijom i napaja trafostanicu TS 10/0.4 kV male snage;

Međutim, svaka situacija je partikularni slučaj koji se mora detaljno analizirati. U slučajevima većih snaga distribuiranih izvora, pojave povratne snage i većih naponskih oscilacija, potrebno je analizirati i druge opcije, koje uključuju i ugradnju „smart“ transformatora SN/NN sa automatskom regulacijom napona, ili ugradnju autotransformatora na srednjenaponskom nivou.

LITERATURA

1. Zakon o energetici, Republika Srbija, Službeni glasnik broj 145/2014
2. Pravila o radu distributivnog sistema,
3. European Committee for Electrotechnical Standardisation, Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution systems, EN 50160, SRPS EN 50160, Karakteristike napona isporučene električne energije iz javnih distributivnih mreža, Institut za standardizaciju Srbije, 2012
4. Studija „Regulacija napona u distributivnoj mreži u prisustvu distribuirane proizvodnje primenom autotransformatora“ Netico Solutions d.o.o. 2017.