

PRIMENA UNAPREĐENE REGULACIJE NAPONA U REALNOJ DISTRIBUTIVNOJ MREŽI

Z.Simendić¹, PD Elektrovojvodina d.o.o. Novi Sad "Elektrodistribucija Sombor", Sombor, Srbija
G.Švenda, Fakultet tehničkih nauka, Institut za energetiku, elektroniku i telekomunikacije, Novi Sad, Srbija
V.Strezoski, Schneider Electric DMS NS LLC, Novi Sad, Srbija
D.Đanić, Vladimir Nazora 60, B.Monoštor, Srbija

UVOD

Pre trideset godina pokazano je da se složen problem regulacije napona i reaktivnih snaga, koji predstavlja osnovnu upravljačku petlju u savremenim distributivnim sistemima, može dekuplovati na dva podproblema [1]: problem regulacije napona i problem regulacija reaktivnih snaga. Agregacijom rešenja ova dva podproblema dobija se rešenje problema regulacije napona i reaktivnih snaga. Ovaj rad se bavi praktičnom realizacijom regulacijom napona u distributivnim mrežama (DM). U tu svrhu analizirani su problemi primene klasične regulacije napona [2]. U skladu sa uočenim problemima razvijena je optimalna regulacija napona [3]. Njenom integracijom u DMS značajno je podignut kvalitet praktične primene regulacija napona u DM. Rezultati te primene prikazani su u [4,5]. Razvojem telekomunikacionih sistema, hardvera i pre svega DMS softvera stekli su se uslovi za dodatno poboljšanje regulacije napona u DM. Kao rezultat višegodišnje iskustva stečenog praktičnom primenom regulacije napona u realnim DM [2,6,7,8] njen matematički model je dodatno unapređen [9]. Mogućnosti primene regulacije napona integrisane u DMS prikazane su u ovom radu.

Nakon uvoda u drugom delu izvršena je postavka problema regulacije napona u savremenim distributivnim sistemima. Ukratko su upoređeni modeli klasične [2], optimalne [3] i unapređene [9] regulacije napona u DM. U istom delu teoretski su razmatrane mogućnosti (prednosti i mane) njihove praktične primene. Verifikacija različitih matematičkih modela i analiza mogućnosti njihove praktične primene izvršeni su u realnoj distributivnoj mreži ED Sombor. Pritom, posebno su razmatrane mogućnosti unapređene regulacije napona integrisane u DMS koja je praktično realizovana na dva načina: 1) centralizovano, kada se rezultati DMS softvera realizuju direktno iz DC i 2) lokalno kada se rezultati DMS softvera realizuju preko softvera u daljinskoj stanici. U petom i šestom delu dati su zaključak i referentno navedena literatura.

POSTAVKA PROBLEMA

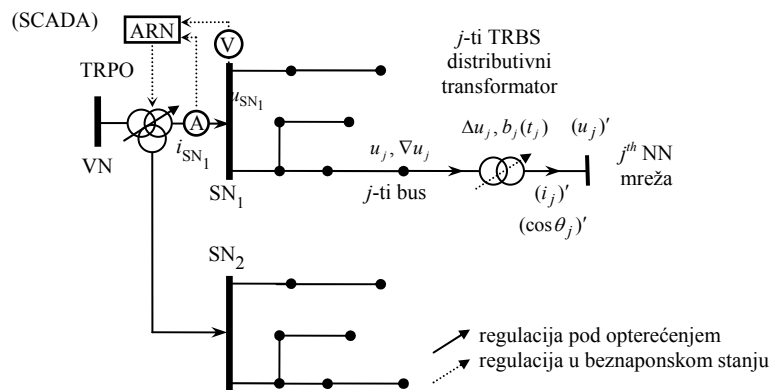
Postavka problema regulacije napona u DM izvršena je na osnovu trofazne DM koja je prikazana na slici 1. Razmatrana DM se sastoji od napojnog tronamotajnog transformatora VN/SN₁/SN₂ sa regulacijom napona pod opterećenjem (TRPO), izvor napajanja razmatrane DM; SN₁ i SN₂ mreže i L distributivnih transformatora SN₁/NN i SN₂/NN sa regulacijom u beznaponskom stanju (TRBS) – svaki od njih napaja svoju NN mrežu, samo je j -ti detaljno prikazan. Napojni transformator može da se kontroliše lokalno (pomoću automatskog regulatora napona - ARN) i daljinski (pomoću SCADA sistema).

Sve veličine na slici su prikazane u domenu relativnih jedinica [10]. Napon i struja na sekundaru TRPO naznačeni su sa u_{SN1} i i_{SN1} , respektivno. Napon j -tih SN sabirnica i pad napona od sekundaru TRPO do tih sabirnica naznačeni su sa u_j i $\forall u_j$, respektivno. Padovi napona do sabirnica u SN₁ i SN₂ mreži definisani su u

¹ Zoran Simendić, PD Elektrovojvodina d.o.o. Novi Sad "Elektrodistribucija Sombor", 25000 Sombor, Apatinski put b.b., e-mail: zoran.simendic@so.ev.rs, tel 025 482933, faks 025 429399.

odnosu na zajedničku tačku – sekundar TRPO (sabirnice SN_1). Pad napona j -tih SN sabirnica predstavlja razliku napona na sekundaru TRPO i napoja j -tih sabirnica. Napon, struja i faktor snage na NN strani j -tog TRBS naznačeni su sa $(u_j)'$, $(i_j)'$ i $(\cos\theta_j)'$, respektivno. Pad napona j -tog TRBS naznačen je sa Δu_j . Naponska podrška j -tog TRBS [3], zavisi od pozicije njegovog teretnog menjača $b_j(t_j)$. Konačno, napon na sekundaru TRBS (na NN strani) glasi:

$$(u_j)' = u_{MV_1} - \nabla u_j - \Delta u_j + b_j(t_j), \quad j = 1, 2, \dots L. \quad (1)$$



Slika 1 – Nadzirana DM

Problem regulacije napona DM detaljno je predstavljen u [3,11]. Mogućnosti rada klasične regulacije napona (KRN), zasnovane na ARN u napojnim transformatorskim stanicama, prezentovane su u [2]. Ako se zna da su ARN generalno podešene u skladu sa klasičnim principima kompenzacije pada napona [12,13]. Osnovni nedostaci KRN su:

1. ne postoji procedura koja bi omogućila da se obrađuju i TRBS;
2. osnovni cilj je održavanje napona DM u definisanim granica, ali bez mogućnost optimizacije;
3. vrednosti napona svih SN i NN čvorova DM uzimaju se u obzir indirektno – preko kontrole napona na sekundaru TRPO;
4. regulacija je veoma kruta jer ARN deluje jedino na osnovu lokalnih informacija (struje i napona na sekundaru TRPO), čime je zanemarena vremenska i prostorna raspodela opterećenja unutar nadzirane DM;
5. kada tronamotajni TRPO napaja dve SN mreže, jednu sa sekundara a drugu sa tercijera, njegov ARN deluje samo na osnovu informacija sa njegovog sekundara, pri čemu je režim SN mreže sa njegovog tercijeru potpuno zanemaren.

Veliki deo navedenih problema prevaziđen je razvojem Optimalne regulacije napona (ORN) [11,14]. Osnovni cilj OVC, ustanovljen u ranim godinama razvoja Distributivnih menadžment sistema (DMS), jeste određivanje optimalnih zakona regulacije TRPO i optimalnih pozicija regulacionih sklopki TRBS za razmatrani vremenski period. Takva ORN značajno je unapredila regulaciju napona DM. Ipak ORN, je kao i KRN, prilično kruta jer se teško nosi sa neizvesnostima koje nosi svakodnevno upravljanje DM (npr. iznenadne promene opterećenja, isprekidan rad distributivnih generatora, itd.). U skladu sa tim može se reći da je ORN pasivna jer TRPO rade isključivo u skladu sa zakonom regulacije koji je određen unapred, na manje više neizvesnim podacima.

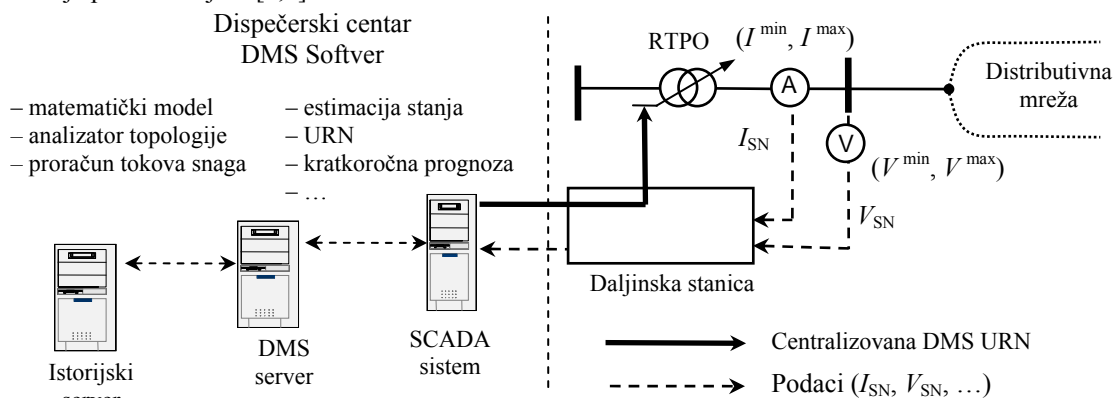
Intezivni razvoj DMS omogućio je da se proračuni u DM sprovodi u sasvim novom okruženju, sa velikom količinom podataka (kako podataka o mreži i potrošnji, tako podataka iz realnog vremena i istorije) i bogatim spiskom specijalizovanih DMS proračuna koje te podatke mogu kvalitetno da iskoriste (proračuni tokova snaga, estimacija stanja, kratkoročna prognoza opterećenja, optimalno uklopno stanje itd). Ova činjenica inicirala je da se preispita model ORN i mogućnosti njene praktične primene. Rezultat takvih istraživanja, koja su zasnovana pre svega na rezultatima primene regulacije napona u realnim DM [8,9] jeste model unapređene regulacije napona integrisane u DMS (URN). Njen mode detaljno je prikazan u [9].

UNAPREĐENA REGULACIJA NAPONA

Rezultati unapređene regulacije napona integrisane u DMS (URN) mogu da se realizuju na dva načina, primenom:

1. Centralizovane URN – regulaciju napona "vodio" DMS Softver iz dispečerskog centra (DC). Upravljanje sa regulacionom sklopkom TRPO se vrši direktno iz DC, preko SCADA sistema, a na osnovu rezultata periodičnih proračuna DMS softvera.
2. Lokalne URN – regulaciju napona "vodio" softver u daljinskoj stanici koji je ugrađen je algoritam sa funkcijom koju imaju klasični ARN. Promene parametara karakteristike zakona regulacije, rezultat periodičnih proračuna DMS softvera, realizuju se iz DC, daljinski, preko SCADA sistema. U slučaju prekida komunikacije između DC i napojne TS 110/x kV/kV, regulacija napona se sprovodi lokalno iz daljin. stanice.

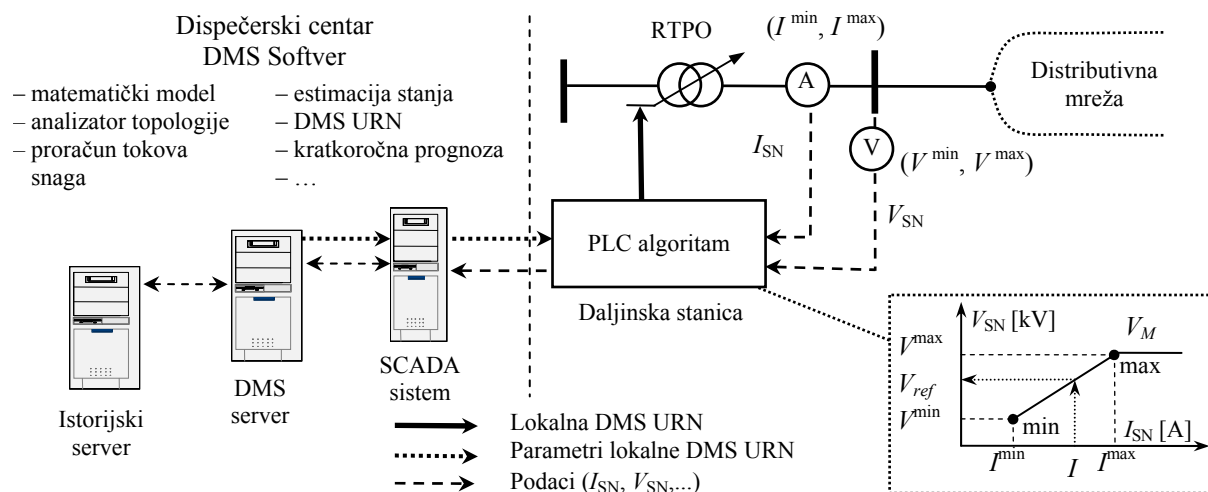
Centralizovana URN. Centralizovana URN regulacija znači da su nadležnosti klasičnog ARN preuzete od strane DMS Softvera koji direktno iz DC, preko SCADA sistema, upravlja sa pozicijom regulacionog otecpa na RTPO, slika 2. Dakle, u svakom trenutku, na osnovu aktuelnog režima i aktuelnih pozicija regulacionih otecpa na svim regulacionim transformatorima s regulacijom u bez-naponskom stanju (RTBS), određuje se optimalna pozicija regulacionog otecpa na RTPO i daje se nalog za njenu promenu. Na slici 2 centralizovana URN istaknuta je punom linijom [7,8].



Slika 2 – Centralizovana DMS URN

Lokalna URN. Osnovni problem direktnog komandovanja s pozicijom regulacione sklopke, iz DC, jeste mogućnost gubitka komunikacije između tog DC i napojne TS sa RTPO. U takvim situacijama razmatrani RTPO ostaje na poslednjoj zadatoj poziciji. Zbog tog nedostatka je razvijena lokalna URN koja putem PLC (Programmable Logic Controller) softvera instaliranog u daljinskoj stanici (Remote Terminal Unit) upravlja regulacionim otecpom RTPO. PLC softver je projektovan sa funkcionalnostima klasičnog ARN. ARN se podešava iz DC slanjem parametara s kojima je njegov zakon regulacije definisan. Ti parametri su određeni proračunima funkcije regulacije napona koja je integrisana u DMS [7] i iz DC se u daljinsku stanicu šalju putem SCADA sistema. U slučaju prekida komunikacije između DC i TS regulacija napona se realizuje na osnovu zadnje podešenih parametara. U slučaju dužeg prekida parametri podešenja PLC softvera se automatski prepodeše na unapred specificirana, uobičajena podešenja. Na ovaj način ostvarena je visoka pouzdanost praktične realizacije regulacije napona u DM i samim tim visok kvalitet napona koji se realizuje u DM sa takvom regulacijom napona. Pritom, lokalna URN je jednostavna za ugradnju i značajno je jeftinija od KRN koja se sprovodi na osnovu ARN.

Suštinska razlika između KRN i lokalne URN jeste brzina promene zakona regulacije. Za KRN zakon regulacije se implementira jednom za ceo razmatrani period (na osnovu režima sa očekivanim minimalnim i maksimalnim opterećenjem i očekivanu topologiju DM). Za razliku od tog pristupa centralizovana i lokalna URN se zasnivaju na dovoljno kvalitetnoj slici o aktuelnoj topologiji i režimu DM – na rezultatima rezidentnih DMS funkcija (*Analizator topologije, Estimacija stanja i Kratkoročna prognoza* [16,17]).



Slika 3 – Lokalna URN

Lokalna URN prikazana je na slici 3. Njeni osnovni koraci su: 1) u daljinsku stanicu se uvode izmerene

vrednosti struje I_{SN} i napona V_{SN} sa sekundara RTPO; 2) utvrđuje se odstupanje napona – razlika izmerene vrednosti V_{SN} i referentne vrednosti napona V_{ref} koja bi, na osnovu zakona regulacije, za izmerenu vrednost I_{SN} , trebala da se izmeri; 3) ako odstupanje napona prevazilazi unapred definisanu vrednost, preko PLC softvera se inicira promena pozicije regulacionog otepa, s ciljem da se odstupanje napona poništi.

EKSPERIMENT I REZULTATI

Verifikacija URN izvršena je na delu SN distributivne mreže "ED "Sombor" koja se snabdeva električnom energijom sa transformatora 1 u TS 110/20 kV/kV "Sombor 2". Sa transformatora 1, snage 31.5 MVA, potrošači se snabdevaju električnom energijom preko šest SN izvoda ukupne dužine 137 km i 134 TS 20/0.4 kV/kV ukupne instalirane snage 45 650 kVA. Preko njega se snabdeva ukupno 12 224 potrošača sa dela područja grada Sombora i potrošači u naseljima Bezdan, Bački Monoštor i Kupusina sa njihovim okolinama. Detaljan prikaz razmatrane DM, jednopolna šema, mesta na kojima su postavljeni SCADA i dubinska merenja, dat je u [15]. Za potrebe eksperimenta, postavljena su merenja na svakom od šest razmatranih SN izvoda, bar u po jednoj TS 20/0.4 kV/kV. Pritom, izabrane su opterećene TS 20/0.4 kV/kV (zbog većeg uticaja na rezultate funkcije *Estimacija stanja*) na početku, sredini i kraju izvoda: STS "Somborska – Železnička", MBTS "V. Nazor", MBTS "Škola", ZTS-K "Kozara", ZTS "Kneza Miloša 1", STS "Blok 273" i ZTS "Apatinski put - P. Šandora". Spisak TS 20/0.4 kV/kV sa merenjima, njihova pripadnost izvodima i pozicijama regulacionih sklopki njihovih TRBS prikazani su u tabeli 1. U toku eksperimenta snimane su jednogminutne vrednosti struja i napona kako na 20 kV tako i na 0.4 kV strani TRBS. Vremena na mernim uređajima su sinhronizovano sa vremenom DMS softvera. Za kvantitativne pokazatelje potrošnje iskorišćene su vrednosti maksimalnih struja TRBS koju su očitane prethodnog meseca.

Tabela 1 – Postojeće pozicije TRBS

Naziv izvoda	Naziv TS 20/0.4 kV/kV	Mesto	Poz. RTBN
"Aerodrom"	ZTS "Apatinski put - P. Šandora"	Kupusina	2
"Aerodrom"	STS "Somborska - Železnička"	Kupusina	2
"B.Monoštor"	MBTS "V. Nazora"	B.Monoštor	2
"Bezdan"	MBTS "Škola"	Bezdan	4
"Bezdan"	ZTS-K "Kozara"	Bezdan	3
"Centar III"	ZTS "Kneza Miloša 1"	Sombor	2
"Selenča I"	STS "Blok 273"	Sombor	3

U toku proračuna regulacije napona minimalna i maksimalna granica napona (na 20 i 0.4 kV) bila su postavljene na 1.10 i 0.95 r.u., respektivno. Eksperimenti su realizovani u tri perioda proleće, leto i jesen. Za svaki period broj razmatranih trenutaka (po karakterističnim danima) naglašen je u tabeli 2.

Tabela 2 – Periodi i broja dana sa eksperimentima

Br.	Period eksperimenta		Snimljeni trenuci		Tip dana				Ukupno dana
			sati	minuti	Radni dan	Subota	Nedelja	Praznik	
			broj	broj	broj	broj	broj	broj	
1	Proleće	04.06.2012 – 14.06.2012	240	14400	6	2	2	-	10
2	Leto	13.08.2012 – 24.08.2012	264	15584	7	2	2	-	11
3	Jesen	12.11.2012 – 23.11.2012	264	15840	7	2	2	-	11
U K U P N O			768	45824	20	6	2	-	32

U svim primerima kvalitet regulacije napona je kvantifikovan sumom kvadrata odstupanja realizovanih vrednosti napona na NN sabirnicama RTBS, od optimalnih vrednosti – vrednost štete [11,13]. Za razmatrani period trajanja T koji se sastoji od N merenja gde vremenski interval T^i (jedan minut) predstavlja vreme od momenta kada je realizovano i -to merenje do $i+1$ merenja. U zavisnosti od primenjenog modela za regulaciju napona, vrednost štete u periodu T je definisana sledećim izrazom:

$$\check{S}_\alpha^T [n.j.] = \sum_{i=1}^N T^i \sum_{j=1}^R C_j [(u_{ja}^i)' - (u_{jopt}^i)']^2 (E_j^i)', \quad \alpha \in \{LRN, CRN\}, \quad (2)$$

gde je sa R naznačen ukupan broj RTBN na kojima se vrši snimanje ($R=7$, tabela 4), sa $\alpha = LRN$ vrednosti koje su dobijene primenom lokalne URN, sa $\alpha = CRN$ vrednosti koje bi se postigle primenom centralizovane URN. Sa C_j i $(E_j^i)'$ su naznačeni konstanta štete, koja se realizuje na potrošačima, koji se napajaju sa j -te sabirnice [n.j./%²kWh] i električna energija koju taj potrošač preuzima u trenutku i [kWh]. Pri tom, sa tri razmatrana perioda obuhvaćeno je ukupno $N=45824$ momenata, tabela 2.

Za prikaz rezultata korišćena su dva kvantitativna pokazatelja odstupanja (greške) preestimirane, estimirane i izmerene vrednosti napona – očekivana (srednja) vrednost razlika:

ΔV_{sr}^{MP} – izmerene i preestimirane vrednosti napona svih momenata, u (%), na slikama označena sa "F":

$$\Delta V_{sr}^{MP} (\%) = \frac{100}{N} \left(\sum_{i=1}^N \frac{|V_i^M - V_i^P|}{V_i^P} \right), \quad (3)$$

ΔV_{sr}^{ME} – izmerene i estimirane vrednosti napona svih momenata, u (%), na slikama označena sa "H":

$$\Delta V_{sr}^{ME} (\%) = \frac{100}{N} \left(\sum_{i=1}^N \frac{|V_i^M - V_i^E|}{V_i^E} \right), \quad (4)$$

gde je V_i^P – preestimirana, V_i^M – izmerena i V_i^E – estimirana vrednost napona u trenutku i .

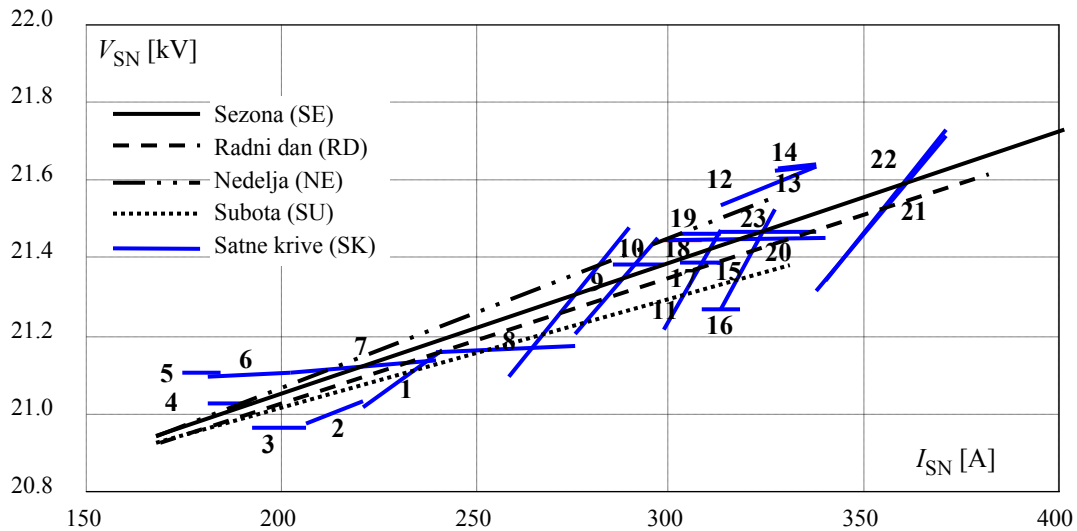
Srednje, očekivane, vrednosti odstupanja izmerenog od optimalnog napona [8] svih snimanih potrošača za celokupan razmatrani vremenski period T (apsolutne i procentualne vrednosti) definisane su sledećim izrazima:

$$\Delta V_{\alpha}^T [V] = \frac{1}{NR} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^R |V_{j\alpha}^i - V_{jopt}^i|, \quad \alpha \in \{LRN, CRN\}, \quad (5)$$

$$\Delta V_{\alpha}^T [\%] = \frac{100}{NR} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^R \frac{|V_{j\alpha}^i - V_{jopt}^i|}{V_{jopt}^i}, \quad \alpha \in \{LRN, CRN\}. \quad (6)$$

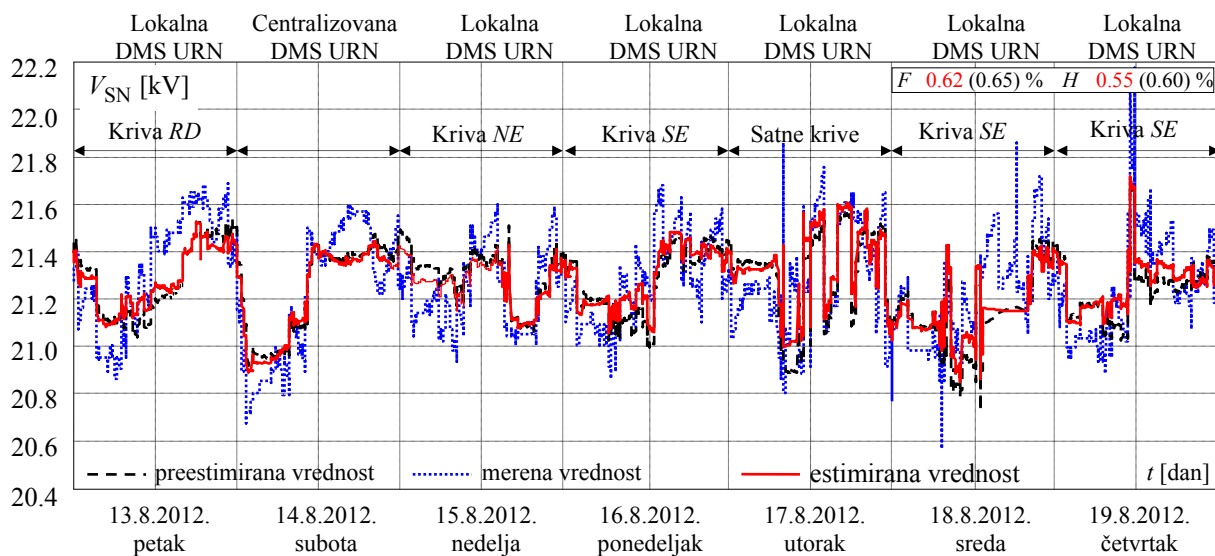
U nastavku detaljno su prikazani rezultati za period leto. Sumarni rezultati za tri razmatrana perioda prikazani su na kraju ove glave.

Eksperiment leto – Za realizaciju lokalne URN u sezoni leto iskorišćeni su optimalne krive zakona regulacije čiji su parametri dobijeni modom planiranja URN [9]. Na slici 4 su prikazane krive zakona regulacije dobijene za sezonu leto, radni dan, subotu, nedelju i svaki sat (npr. kriva naznačena brojem 2 predstavlja optimalni zakon regulacije za period od 1 do 2 sata). Vrednosti parametara zakona regulacije su iz DC, putem SCADA sistema, slate u daljinsku stanicu, gde su iskorišćeni da se prepodese parametri PLC softvera [18].

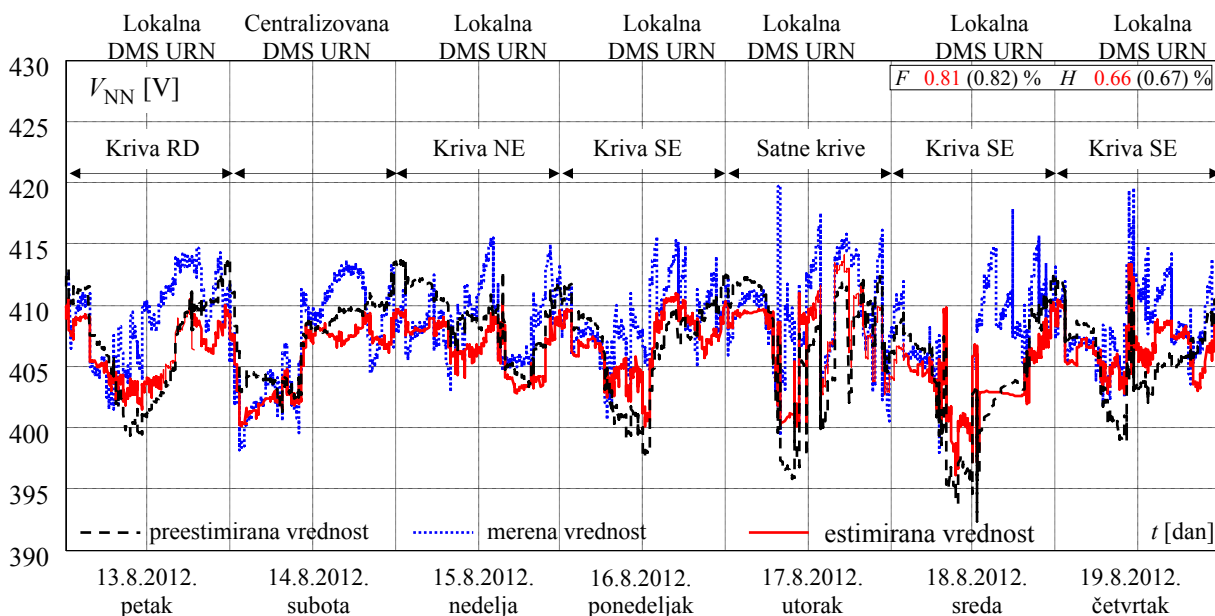


Slika 4 – Planirane krive zakona regulacije za leto

Na slikama 5 i 6 je istaknut period od sedam dana. Isprekidanom crnom linijom predstavljena je preestimirana vrednost, punom crvenom linijom estimirana vrednost, a tačkastom plavom linijom izmerena vrednost napona. U tom periodu menjan je tip URN (centralizovana i lokalna; centralizovana URN je realizovana samo tokom subote). Primeri lokalne URN realizovani su za različite planirane krive zakona regulacije (dobijene satne krive, za radni dan, nedelju, subotu i celu sezonu, slika 4). Kvantitativni pokazatelji estimacije stanja (F i H), na slikama istaknuti u zagradama, odnose se na period cele sezone za koju su vršeni eksperimenti, dok su za prikazane dane vrednosti tih pokazatelja istaknute crvenom bojom. Treba naglasiti da su vrednosti kvantitativnih pokazatelja estimacije stanja (F i H) imanje od 1% ;ime je omogućena kvalitetna regulacija napona.



Slika 5 – 20 kV napon transformatora 1, leto



Slika 6 – 0.4 kV napon MBTS "V. Nazora", leto

U tabeli 3 je prikazana ukupna šteta nastala primenom centralizovane URN za subotu 14.8.2012 – \dot{S}_{CRN}^T i ukupna šteta nastale primenom lokalne URN za ostale prikazane dane – \dot{S}_{LRN}^T . Ukupna šteta obuhvata sve TS 20/0.4 kV/kV koje snabdeva transformator 1 TS 110/20 kV/kV. U tabeli 3, kolona 7, naznačene su krive zakona regulacije koje su po danima korišćene za lokalnu URN. Razmatrani su i primeri u kojima su korišćene neodgovarajuće krive (npr, tokom ponedeljka kriva za subotu). Za primere kada je primenjena lokalna URN, primenom DMS softver simulirano je kolika bi bila šteta da je regulacija napona realizovana primenom centralizovane URN (tabela 3, kolona 9).

Analizom rezultata koje su dobijeni primenom lokalne URN sa različitim krivama zakona regulacije, može se uočiti sledeće:

- 1) Primenom dnevnih kriva zakona regulacije ostvaruju se neznatno veća šteta (do 4%), nego primenom centralizovane URN.
- 2) Primenom sezonskih krivi ostvarena je veća štete, do 8%.
- 3) Primenom neodgovarajućih krivih ostvarena je znatno veća šteta, čak i do 28%.

Na osnovu rezultata prikazanih u tabeli 3 može se uočiti da je šteta nastala primenom lokalne URN veća za 8.7%, nego šteta nastala primenom centralizovane URN. Ako se izuzmu dani kada su namerno korišćene krive od drugih dana i lošiji rezultati odstupanja s satnim krivama, šteta je neznatno veća, oko 5%.

Tabela 3 – Uporedni podaci centralizovane URN i lokalne URN za period eksperimenta tokom leta

LETO					Central. URN	Lokalna URN			$\Delta \dot{S}^T = \dot{S}_{LRN}^T - \dot{S}_{CRN}^T$	
Datum	Sat	Dan	Trajanje perioda	Vrsta URN	\dot{S}_{CRN}^T	Tip krive	\dot{S}_{LRN}^T	\dot{S}_{CRN}^T	\dot{S}_{LRN}^T	\dot{S}_{CRN}^T
–	[h]	–	[min.]		[n.j.]	–	[n.j.]	[n.j.]	[n.j.]	%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
13.8.2012	00-24	Petak	1 440	Lokalna	–	RD	880 415	840 828	39 586	4.50
14.8.2012	00-24	Subota	1 439	Centralizov.	687 603	–	–	–	–	–
15.8.2012	00-24	Nedelja	1 440	Lokalna	–	NE	792 568	742 858	49 709	6.27
16.8.2012	00-24	Ponedeljak	1 439	Lokalna	–	SE	767 129	738 905	28 223	3.68
17.8.2012	00-01	Utorak	60	Lokalna	–	SK 1	26 238	21 528	4 710	17.95
	01-02		60	Lokalna	–	SK 2	23 382	16 934	6 447	27.58
	02-03		60	Lokalna	–	SK 3	23 319	15 270	8 048	34.51
	03-04		60	Lokalna	–	SK 4	23 551	14 634	8 917	37.86
	04-05		60	Lokalna	–	SK 5	23 635	14 665	8 970	37.95
	05-06		60	Lokalna	–	SK 6	24 429	16 056	8 373	34.27
	06-07		60	Lokalna	–	SK 7	27 065	20 998	6 067	22.42
	07-08		60	Lokalna	–	SK 8	25 720	24 932	788	3.07
	08-09		60	Lokalna	–	SK 9	33 303	27 835	5 468	16.42
	09-10		60	Lokalna	–	SK 10	37 019	30 283	6 735	18.20
	10-11		60	Lokalna	–	SK 11	33 496	26 320	7 175	21.42
	11-12		60	Lokalna	–	SK 12	28 523	28 519	3	0.01
	12-13		60	Lokalna	–	SK 13	30 354	30 145	209	0.69
	13-14		60	Lokalna	–	SK 14	30 761	30 486	274	0.89
	14-15		60	Lokalna	–	SK 15	26 137	25 594	543	2.08
	15-16		60	Lokalna	–	SK 16	20 140	20 140	0.00	0.00
	16-17		60	Lokalna	–	SK 17	32 535	19 902	12 633	38.83
	17-18		60	Lokalna	–	SK 18	33 105	20 030	13 075	39.49
	18-19		34	Lokalna	–	SK 19	17 596	16 107	1 489	8.47
	19-20		60	Lokalna	–	SK 20	35 316	35 303	13	0.04
	20-21		60	Lokalna	–	SK 21	50 399	50 276	122	0.24
	21-22		60	Lokalna	–	SK 22	50 859	50 387	472	0.93
	22-23		60	Lokalna	–	SK 23	39 261	39 261	0	0.00
	23-00		60	Lokalna	–	SK 24	26 661	26 586	75	0.28
00-24	1 414	Lokalna	–	SK	722 816	622 201	100 614	13.92		
18.8.2012	00-24	Sreda	1 191	Lokalna	–	SE	669 122	622 022	47 099	7.04
19.8.2012	00-24	Četvrtak	1 482	Lokalna	–	SE	751 410	720 397	31 013	4.13
20.8.2012	00-24	Petak	1 422	Lokalna	–	RD	646 040	626 530	19 510	3.02
21.8.2012	00-24	Subota	1 440	Lokalna	–	SU	695 145	680 962	6 641	0.97
22.8.2012	00-24	Nedelja	1 437	Lokalna	–	SU	886 737	637 927	248 810	28.06
23.8.2012	00-24	Ponedeljak	1 440	Lokalna	–	SU	714 159	679 203	34 955	4.89
UKUPNO			15 584	–	695 145	–	7 518 003	6 911 838	606 165	8.7

Tabela 4 – Kvalitet napona NN sabirnica

Period T	Vrsta regulacije napona α	u_α/u_{opt}				ΔV_α^T [%]				\dot{S}_α^T	$\dot{S}_{LRN}^T / \dot{S}_{CRN}^T$
		\bar{x}	min	max	σ	1%	2%	5%	prosek		
Proleće	Lokalna URN	0.99	0.91	1.04	0.95	39.48	79.50	99.98	1.57	11 293	6.07
	Centralizovana URN	0.99	0.93	1.03	0.75	42.24	62.58	99.93	1.39	10 607	
Leto	Lokalna URN	1.00	0.94	1.07	0.88	26.25	56.97	99.98	1.88	8 869	8.24
	Centralizovana URN	0.99	0.93	1.05	0.80	26.46	59.54	99.51	1.81	8 138	
Jesen	Lokalna URN	1.00	0.92	1.05	1.17	29.35	59.77	99.41	2.26	18 014	10.91
	Centralizovana URN	0.99	0.94	1.04	0.94	28.27	52.36	98.97	1.82	16 048	
Ukupno	Lokalna URN	0.99	0.91	1.07	0.93	31.21	60.30	99.79	1.95	38 176	8.86
	Centralizovana URN	0.99	0.93	1.05	0.85	32.12	59.80	99.80	1.71	34 793	

Eksperimenti proleće, leto i jesen – U tabeli 4 je prikazan kvalitet rezultata lokalne i centralizovane URN na NN sabirnicama, u RTBS sa dubinskim merenjima. Odnos realizovane i optimalne vrednosti napona u_α/u_{opt} .

$\alpha \in \{LRN, CRN\}$, kvantifikovan je sa svojom očekivanom (\bar{x}), minimalnom (min) i maksimalnom (max) vrednosti i vrednošću standardne devijacije (σ). Prikazan je i procentualni broj RTBS s naponima čije vrednosti ne odstupaju više od 1, 2, odnosno 5% od optimalnih vrednosti – ΔV_{α}^T [%]. Može se uočiti da su vrednosti odstupanja napona dobijene primenom lokalne URN neznatno lošije od vrednosti koje su dobijene primenom centralizovane URN. Srednja vrednost odstupanja napona od optimalnih za lokalnu i centralizovanu URN su 1.95% i 1.71%, respektivno. Na kraju su prikazane vrednosti štete koje su ostvarene primenom lokalne URN (\dot{S}_{LRN}^T) i koje bi se ostvarile primenom centralizovane URN (\dot{S}_{CRN}^T). Konačno, šteta koja nastaje primenom lokalne URN je veća za 8,86 % od štete koja bi nastala primenom centralizovane URN.

ZAKLJUČAK

U radu je praktično verifikovano da se primenom unapređene regulacije napona integrisane u DMS (URN) mogu ne samo prevazići problemi primene klasične regulacije napona već i značajno povećati efikasnost regulacije napona i kvalitet isporučene električne energije. Verifikacija je izvršena u realnom vremenu u distributivnoj mreži ED Sombor, u dužem vremenskom intervalu, na dva načina: 1) primenom lokalne i 2) primenom centralizovane URN. Rezultati dobijeni primenom lokalne URN neznatno su lošiji od rezultata koji bi se ostvarili primenom centralizovane DMS URN. Pritom jasno je naznačeno da kod primene lokane URN najveći uticaj i značaj ima planiranje krive zakona regulacije, odnosno s kojim parametrima je lokalna URN podešena.

LITERATURA

1. J.J.Grainger, S.Civanlar: "Volt/Var Control on Distribution Systems with Lateral Branches Using Shunt Capacitors and Volt Regulators – Parts I-III", *IEEE Trans. on PAS*, Vol. PAS-104, No.11, 1985, pp. 3278-3297.
2. Z.Simendić, V.Strezoski, G.Švenda: "Analiza rada automatskih regulatora napona u ED Sombor", *JUKO CIGRE 28 savetovanje 2007*, Vrnjačka Banja, STK-B5
3. V.Strezoski, N.Katić, D.Janjić: "Voltage control integrated in distribution management systems", *EPSR*, 60, 2006, pp. 85-97
4. Z.Simendić, G.Švenda, V.Strezoski, V.Mijatović: "Regulacija napona distributivnih mreža integrisana u DMS", *JUKO CIRED Regional Conference on electricity distribution*, Vrnjačka Banja, Serbia, R-4.6, 2008.
5. G.S.Švenda, V.C.Strezoski, Z.J.Simendić, 2009, "Verifikacija funkcije regulacije napona integrisane u DMS", *Elektroprivreda*, br. 4, str. 39-47
6. G.Švenda, V.Strezoski, R.Bibić: "Regulacija napona u eksploataciji distributivnih mreža", *Elektroprivreda*, br. 3, 2008, str. 28-42
7. G.Švenda, V.Strezoski, Z.Simendić, V.Mijatović: "Real-Time Voltage Control Integrated in DMS", *20th International Conference on electricity Distribution – CIRED*, 2009, Prague, Session No. 3.
8. G.Švenda, V.Strezoski, Z.Simendić, A.Car: "Kombinovana centralizovana i lokalna regulacije napona distributivnih mreža", *VII JUKO CIRED Regional Conference on electricity distribution*, R-4.07, Vrnjačka Banja, Serbia, 2010.
9. G.Švenda, Z.Simendić, V.Strezoski: "Advanced Voltage Control Integrated in DMS", *Electrical Power and Energy Systems*, No.43, 2012, pp. 333-343
10. V.Strezoski: "A New Scaling concept in Power System Analysis", *IEE Proc.-Gener. Transm. Distrib*, 143 (5), 1996, pp. 399-406
11. V.Strezoski, D.Janjić, 1997, "Sistem regulacije napona radijalnih distributivnih mreža", Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad
12. F.A.Viawan, A.Sannino, J.Daelder: "Voltage control with on-load tap changers in medium voltage feeders in presence of distributed generation", *EPSR, USA*, 77, 2007, pp. 1314-1322
13. R.Pelissier: "Les reseaux d'énergie électrique" – Tome 1, Dunod, Paris, France, 1971.
14. A.Sarić, M.Čalović, V.Strezoski: "Fuzzy multi-objective algorithm for multiple solution of distribution systems voltage control", *EPES*, Vol. 25, No.2, 2003, pp. 145-153
15. Z.Simendić: "Unapređena regulacija napona i njena integracija u distributivni menadžment sistem", doktorska disertacija, Fakultet tehničkih nauka – Novi Sad, Novi Sad, Srbija, 2013.
16. Z.Simendić, V.Strezoski, G.Švenda: "In-Field Verification of the Real-Time Distribution State Estimation", *18th International Conference on Electricity Distribution – CIRED*, Turin, 6-9 June 2005, Session No.3.
17. Z.Simendić, G.Švenda, V.Strezoski, V.Mijatović: "Verifikacija funkcije estimacija stanja u ED Sombor", *JUKO CIRED Regional Conference on electricity distribution*, Zlatibor, Serbia and Montenegro, 2006.
18. Z.Simendić, G.Švenda, A.Car, D.Glišić, M.Bjedov: "Softver za regulaciju napona smešten u daljinsku stanicu", *VII JUKO CIRED Regional Conference on electricity distribution*, 26.9.-1.10, R-4.08, Vrnjačka Banja, Serbia, 2010.