

Regulacija napona u distributivnoj mreži sa distributivnim generatorom

PROJEKAT

Stefan Đorđević

Novi Sad, 2019.

S A D R Ź A J

1	ZADATAK	3
2	OPIS TEST MREŽE.....	4
3	REŠENJE PROBLEMA I REZULTATI.....	8
4	ZAKLJUČAK	21
5	LITERATURA	22

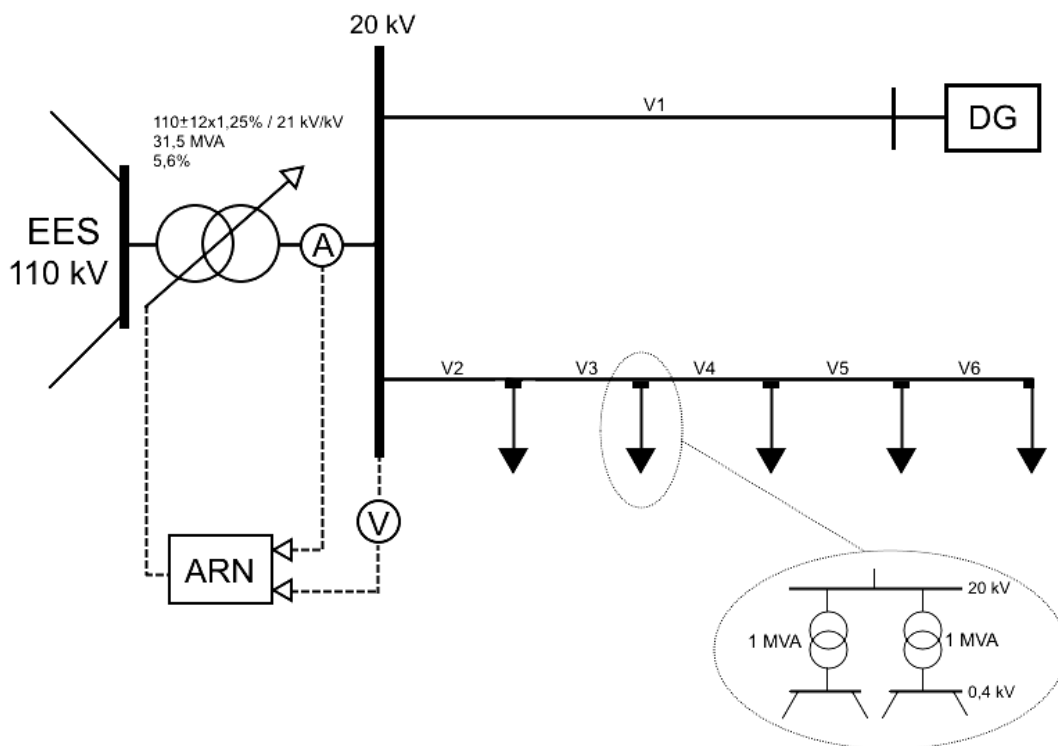
1 ZADATAK

Kao posledica tokova snaga (struja) na čvorovima EES-a realizuju se naponi različitih vrednosti. Te vrednosti više, ili manje odstupaju od nominalnih vrednosti, vrednosti za koje su potrošači konstruisani. Prilikom tog odstupanja potrošači trpe određenu štetu [3,5,7]. Napon (uz učestanost) predstavlja najvažniji pokazatelj kvaliteta isporučene električne energije i režima EES-a i kao takav zahteva neprekidan nadzor i regulaciju. Kako se vrednosti napona u sistemu mogu kontrolisati (regulisati), sledi da se može kontrolisati i šteta, kako na malim, tako i na velikim grupama potrošača [1,2,4,8].

Potrebno je na jednom primeru test distributivne mreže primeniti sistem regulacije napona u cilju održavanja najboljeg mogućeg napona na potrošačima, tj. napon što bliži nominalnom naponu potrošača. Kao resurse za regulaciju napona upotrebiti automatski regulator napona (ARN) sa regulacionim transformatorom (RTr). Pored toga, ispitati efekte priključenja distributivnog generatora u distributivnu mrežu, na kvalitet regulacije napona koja se sprovodi na osnovu ARN sa prethodno podešenim zakonom regulacije. Prikazati i komentarisati dobijene rezultate.

2 OPIS TEST MREŽE

Test mreža, radijalna distributivna mreža naponskog nivoa 20kV, prikazana je na slici 2.1. Ona se sastoji od pet transformatorskih stanica SN/NN (TS 20/0.4 kV/kV) i jedne transformatorske stanice VN/SN (TS 110/21 kV/kV) koja se nalazi u korenu mreže, kao i jednog distributivnog generatora (DG) koji je priključen na posebnom izvodu naponskog nivoa 20kV. TS 20/0.4 kV/kV su međusobno povezane kablovskim deonicama istih karakteristika i dužina. DG je sa sabirnicama sekundara TRr povezan preko kablovskog voda koji je na slici 2.1 označen sa V1.



Slika 2.1 – Test mreža

U TS 110/21 kV/kV, nalazi se napojni regulacioni transformator RTr VN/SN prenosnog odnosa 110/21 kV/kV sa regulacijom pod opterećenjem, sa 25 regulacionih otcepa na primaru RTr (sa pozicijama od -12 do +12). Promena napona po jednom otcepu iznosi 1,25%. Prividna snaga RTr je 31,5 MVA, a napon kratkog spoja 5,6%. Sa pozicijom regulacione sklopke, upravlja se preko ARN-a, u skladu sa zakonom regulacije i izmerenim vrednostima modula fazora napona i struje na sekundaru RTr.

Distributivni generator je snage 10 MVA i radi sa faktorom snage 1.

U DM je takođe instalisano pet TS SN/NN od kojih se svaka sastoji od po dva Tr prenosnih odnosa 20/0,4 kV/kV, nominalne snage 1 MVA. Potrošnja priključena na sabirnice naponskog nivoa 0,4 kV TS SN/NN predstavlja ekvivalentnu potrošnju svih potrošača koji se napajaju preko tih sabirnica. Svi potrošači u mreži su modelovani kao potrošači konstantne vrednosti modula struje i konstantnog faktora snage. Potrošači se razlikuju po tipu potrošnje. Prvi izvod je tipa – industrija, drugi izvod je tipa – javna rasveta, dok su preostala tri izvoda tipa – domaćinstvo. Potrošnja svakog potrošača je zadata preko normalizovanog dnevnog hronološkog dijagrama (24h).

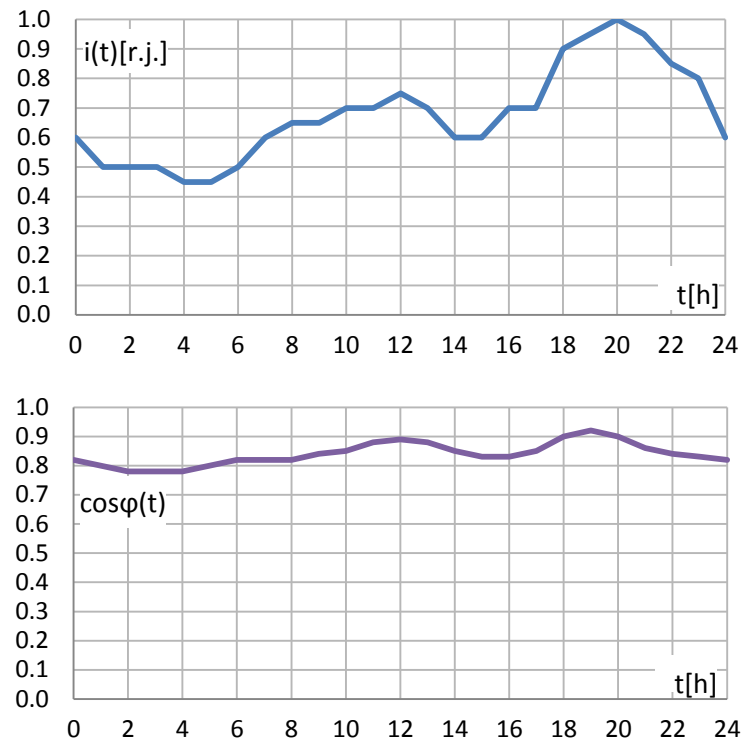
Vrednosti podužnih parametara deonica, kao i dužina deonica, dati su u tabeli 1.

Tabela 1: Vrednosti podužnih parametara deonica¹

Deonica	r [Ω/km]	x [Ω/km]	g [S/km]	b [S/km]	dužina [km]
V_{1-6}	0,209	0,117	0,0	0,000116	2

U nastavku su dati normalizovani hronološki dijagrami potrošnje svih potrošača u mreži.

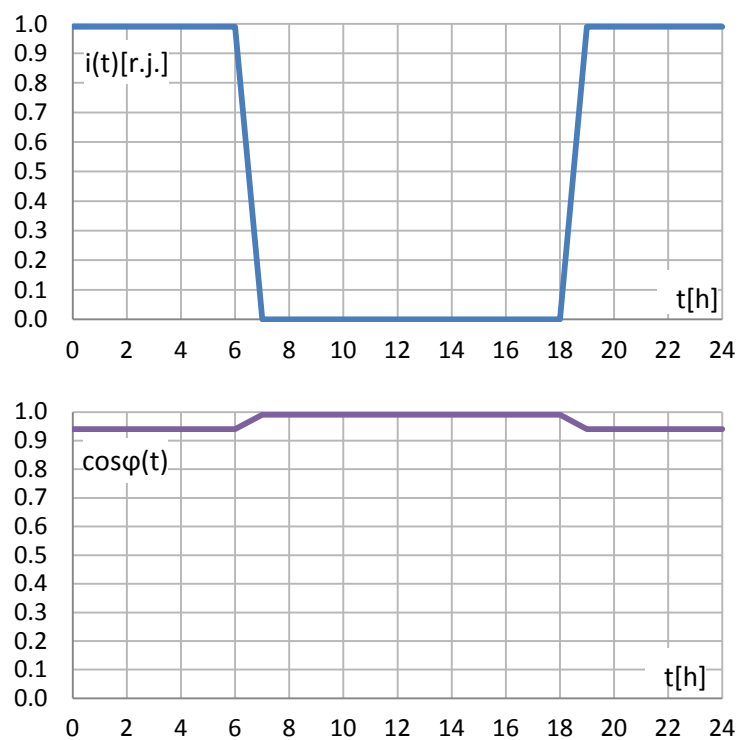
I tip - domaćinstvo



Slika 2.2 – Dnevni hronološki dijagram potrošnje tipa domaćinstvo

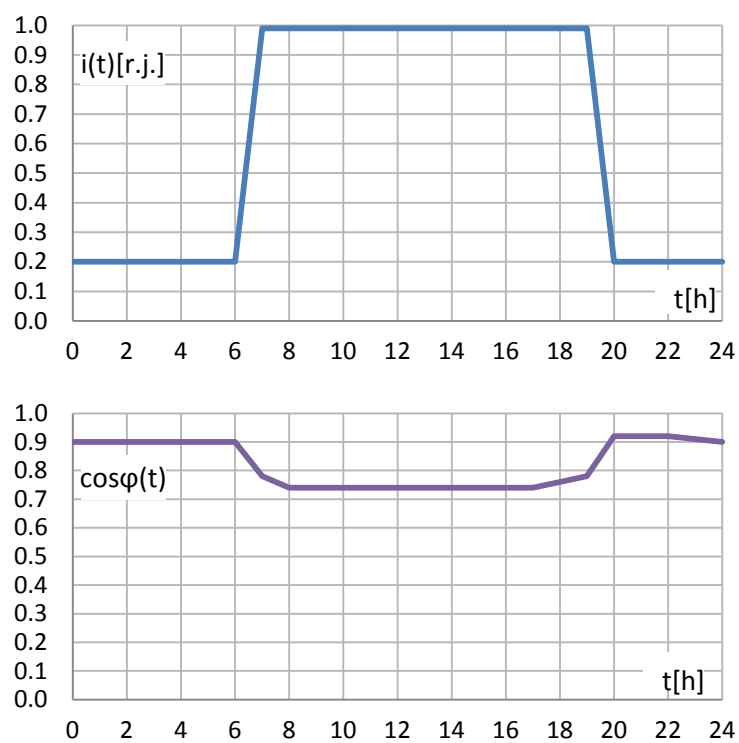
¹ r – podužna redna rezistansa, x – pod. redna reaktansa, g – pod. redna konduktansa, b – pod. redna susceptansa

II tip - javna rasveta



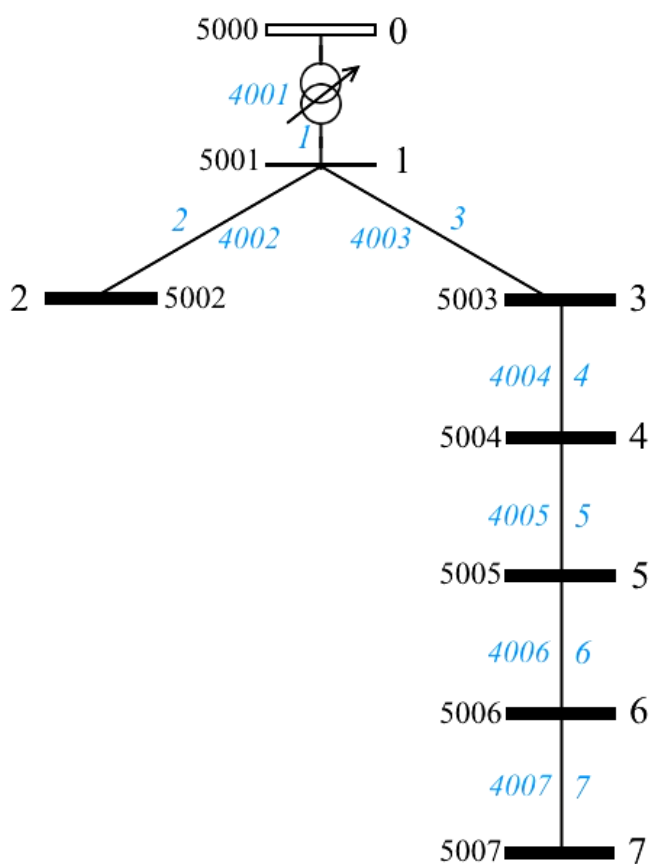
Slika 2.3 – Dnevni hronološki dijagram potrošnje tipa javna rasveta

III tip - industrija



Slika 2.4 – Dnevni hronološki dijagram potrošnje tipa industrija

Na slici 2.5 data je i struktura test mreže sa numerisanim čvorovima i granama po lejerima i njihovim šiframa. Mrežu čine 8 čvorova. TS SN/NN predstavljaju potrošačke čvorove. Čvor naznačen sa nulom, predstavlja koren mreže, VN sabirnice RTr.



Slika 2.2 – Struktura test mreže

3 REŠENJE PROBLEMA I REZULTATI

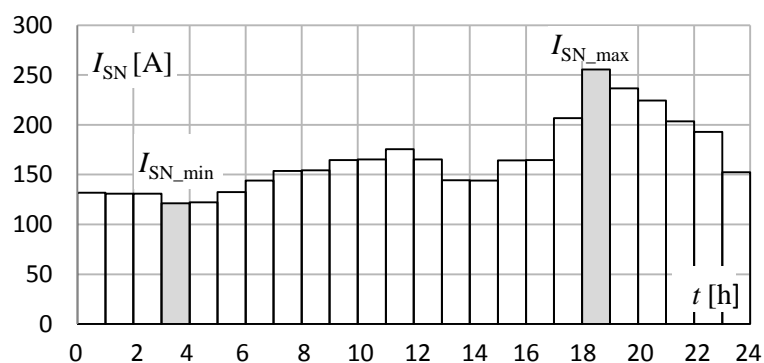
Za regulisanje napona u mreži, neophodan je uvid u režim DM u određenim periodima od značaja. Promenljive stanja mreže dobijaju se iterativnim postupkom za proračun tokova snaga, na bazi poznatog izvora napajanja mreže (korena) i poznatih potrošnji u svim čvorovima [5]. Potrošnja je zadata za svaki od 24 sata, preko parametra I i $\cos\phi$ potrošača. ARN na osnovu zakona regulacije upravlja pozicijom regulacione sklopke, čime reguliše napon u DM. Proračunom tokova snaga i ostvarene štete na potrošačima (štete koja se ostvaruje pri odstupanju ostvarenog napona na potrošačima od njihovog nominalnog napona [2]) za sve pozicije regulacione sklopke za svaki sat potrošnje, dolazi se do one pozicije regulacione sklopke u kojoj se ima minimalna ostvarena šteta na potrošačima, odnosno do optimalne pozicije i optimalnog napona pri kome potrošači trpe najmanju štetu. Na osnovu tih poznatih optimalnih tačaka u svakom satu (struja opterećenja transformatora / napon na njegovom sekundaru), odnosno tačke (I_{min} , U_{min}) i tačke (I_{max} , U_{max}) zadaje se linearna karakteristika ARN, odnosno njegov zakon regulacije. Na osnovu određenog zakona regulacije, ARN upravlja sa regulacionom sklopkom na primaru RTr, odnosno reguliše napon na njegovom sekundaru (u cilju ostvarivanja najboljeg mogućeg napona na potrošačima).

U radu se razmatra regulacija režima DM sa različitim vrednostima proizvodnje generatora, od 0 do 10 MVA, u koracima od 1 MVA.

Za rešavanje projektnog zadatka, formiran je program u programskom jeziku FORTRAN.

Rezultati:

Na slici 3.1 prikazan je dnevni hronološki dijagram opterećenja RTr VN/SN za razmatranu test mrežu – moduo struje na sekundaru RTr. Dijagram je dobijen proračunom tokova snaga za datu mrežu.



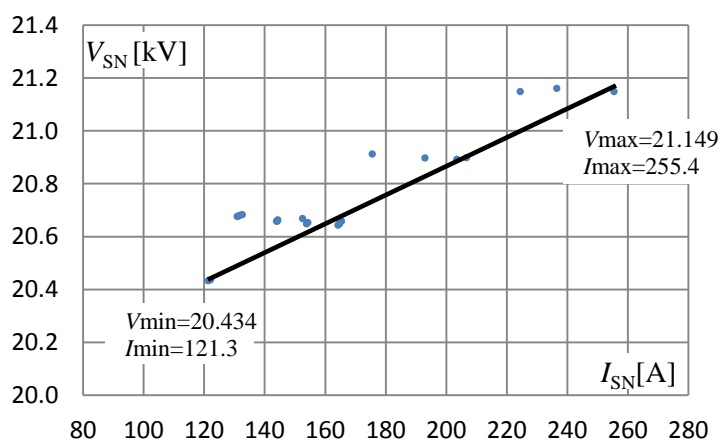
Slika 3.1 – Opterećenje RTr VN/SN

Minimalna i maksimalna vrednost opterećenja RTr naznačene su sa I_{SN_min} i I_{SN_max} na slici 3.1. Ove vrednosti, sa trenutkom kada su ostvarene, prikazane su u tabeli 3.1. Na osnovu ove dve karakteristične vrednosti može se odrediti zakon regulacije ARN-a.

Tabela 3.1: Maksimalna i minimalna vrednost opterećenja napojnog transformatora

	dan (24h)	
	min	max
I_{SN} [A]	121,3	255,4
t [h]	4	19

Na osnovu prethodnih rezultata definiše se linearni zakon regulacije ARN-a, koji je prikazan na slici 3.2. Definiše se tako što se zadaju dve optimalne tačke. Jedna koja predstavlja minimalnu vrednost opterećenja RTr VN/SN ($I_{min}=121,3$ A) i za to opterećenje optimalnu vrednost napona na SN sabirnicama ($V_{min}=20,434$ kV). I druga koja predstavlja maksimalnu vrednost opterećenja RTr VN/SN ($I_{max}= 255,4$ A) i za to opterećenje optimalnu vrednost napona na SN sabirnicama ($V_{max}= 21.149$ kV).



Slika 3.2 – Zakon regulacije ARN-a sa ucrtanim optimalnim tačkama za svaki sat potrošnje

Na slici 3.2 su, takođe, za svaki sat potrošnje naznačene preostale optimalne tačke – opterećenje na sekundaru RTr i za njega optimalna vrednost napona na SN sabirnicama RTr. Optimalna vrednost napona je ona vrednost napona na SN sabirnicama RTr pri kojima se ima najbolji napon na potrošačima (najmanja ukupna šteta). Šteta predstavlja kvantifikaciju kvaliteta napona i računa se kao proizvod kvadrata odstupanja vrednosti modula napona ostvarenog na potrošaču od vrednosti optimalnog napona, električne energije potrošača i konstante štete [2].

U nastavku su prikazane tabele sa vrednostima: modula struje na sekundaru RTr, optimalnih napona, optimalnih pozicija reg. sklopke, kao i ukupne štete (ukupne minimalne štete) koja je ostvarena na svim potrošačima, na dva načina kada je tražen i korišćen optimalni zakon regulacije i kada je regulacija napona realizovana na osnovu unapred određenog zakona regulacije.

Tabela 3.2: Optimalni zakon regulacije

T [h]	I_{SN} [A]	U_{OPT} [kV]	t_{OPT}	Šteta
1	131.76	20.681	1	678.0
2	130.97	20.677	1	668.1
3	130.97	20.677	1	668.1
4	121.26	20.434	2	533.0
5	122.03	20.437	2	545.7
6	132.56	20.684	1	690.0
7	144.14	20.659	1	1074.0
8	153.81	20.649	1	1232.6
9	154.25	20.654	1	1247.9
10	164.63	20.649	1	1699.8
11	165.29	20.659	1	1697.6
12	175.52	20.913	0	2098.4
13	165.29	20.659	1	1697.6
14	144.31	20.664	1	1049.4
15	143.88	20.659	1	1034.2
16	164.19	20.644	1	1686.6
17	164.63	20.649	1	1699.8
18	206.64	20.899	0	2987.9
19	255.42	21.149	-1	4446.0
20	236.49	21.161	-1	2696.8
21	224.42	21.149	-1	2389.7
22	203.46	20.893	0	2113.7
23	192.93	20.898	0	1567.5
24	152.49	20.669	1	787.0

Tabela 3.3: Regulacija pri unapred određenom zakonu regulacije

T [h]	I_{SN} [A]	$U_{\check{z}.o.}$ [kV]	t_{OPT}	$U_{o.SN}$ [kV]	Šteta
1	131.8	20.489	2	20.429	1007.4
2	131.0	20.485	2	20.426	984.2
3	131.0	20.485	2	20.426	984.2
4	121.3	20.432	2	20.434	533.0
5	122.0	20.436	2	20.437	545.7
6	132.6	20.493	2	20.432	1025.1
7	144.1	20.555	1	20.659	1074.0
8	153.8	20.606	1	20.649	1232.6
9	154.2	20.609	1	20.654	1247.9
10	164.6	20.664	1	20.649	1699.8
11	165.3	20.668	1	20.659	1697.6
12	175.5	20.723	1	20.656	2400.9
13	165.3	20.668	1	20.659	1697.6
14	144.3	20.556	1	20.664	1049.4
15	143.9	20.554	1	20.659	1034.2
16	164.2	20.662	1	20.644	1686.6
17	164.6	20.664	1	20.649	1699.8
18	206.6	20.889	0	20.899	2987.9
19	255.4	21.150	-1	21.149	4446.0
20	236.5	21.049	-1	21.161	2696.8
21	224.4	20.985	0	20.886	4254.7
22	203.5	20.872	0	20.893	2113.7
23	192.9	20.816	0	20.898	1567.5
24	152.5	20.600	1	20.669	787.0

U tabeli 3.2 prikazani su rezultati kada je tražen optimalni zakon regulacije, a u tabeli 3.3 kada je regulacija napona realizovana pri unapred određenom zakonu regulacije. Oznake u tabelama predstavljaju:

T – vreme potrošnje

I_{SN} – moduo struje na sekundaru RTr

U_{OPT} – optimalni napon na SN sabirnicama RTr

$U_{\check{z}.o.}$ – željeni optimalni napon na sabirnicama RTr na osnovu unapred određenog zakona regulacije

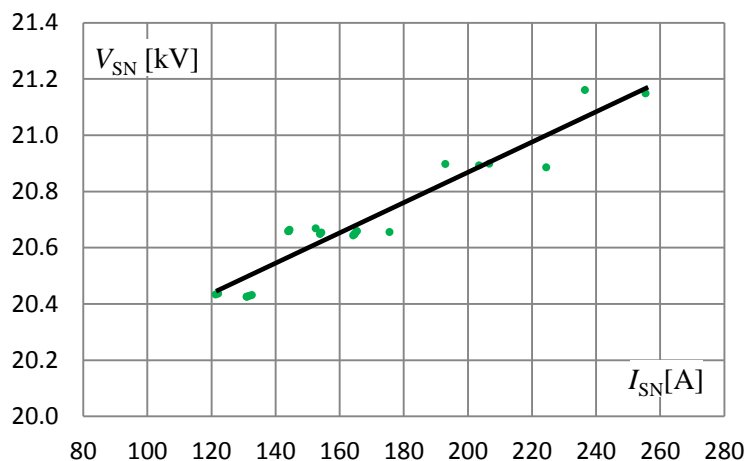
$U_{o.SN}$ – ostvaren napon na sabirnicama RTr pri regulaciji

t_{OPT} – pozicija reg. sklopke na primaru RTr kojom se ostvaruje U_{opt} (tabela 3.2), odnosno $U_{o.SN}$ (tabela 3.3)

Šteta – minimalna ukupna šteta koja se ostvaruje na potrošačima

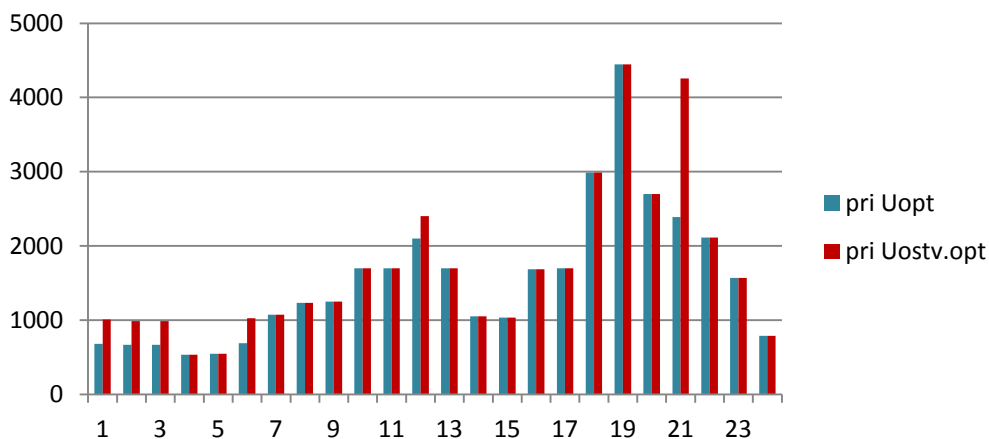
Pri traženju optimalnog zakona regulacije dobijene su optimalne vrednosti napona (U_{OPT}). Za te optimalne vrednosti napona na SN sabirnicama RTr na potrošačima se ostvaruju najbolji mogući naponi. Prilikom regulacije na osnovu linearnog zakona regulacije ARN-a, unapred određenog, dobija se željeni optimalni napon na sekundaru TR-a ($U_{\check{z}.o.}$), ali pošto prenosni odnos regulacionog transformatora ima diskretne vrednosti koje su definisane pozicijom regulacione sklopke na sekundaru će se imati moguće vrednosti ostvarenih optimalnih napona ($U_{o.SN}$), odnosno napona ostvarenih onim pozicijama regulacione sklopke kojima se ostvaruju naponi najbliži optimalnim. Vrednosti ostvarenih optimalnih napona ($U_{o.SN}$) se pri tome razlikuju od vrednosti optimalnih napona

(U_{OPT}). Takav je slučaj u prvom satu potrošnje ($T = 1h$). Za opterećenje RTr od 131,8 A optimalna vrednost napona na sabirnicama SN iznosi 20,681 kV, ostvarena kada je reg. sklopka na poziciji 1. Dok se na osnovu realizovane regulacije na sabirnicama ostvaruje napon u vrednosti od 20,429 kV, ostvarena kada je reg. sklopka na poziciji 2. Slično se dešava i u drugom, trećem, šestom, dvanaestom i dvadeset prvom satu.



Slika 3.3 – Regulacija napona na osnovu unapred određenog zakona regulacije

Tačke na slici 3.3, koje se nalaze oko linearne karakteristike zakona regulacije, upravo predstavljaju te ostvarene optimalne vrednosti napona na SN sabirnici RTr ($U_{O,SN}$) na osnovu unapred određenog zakona regulacije ARN.

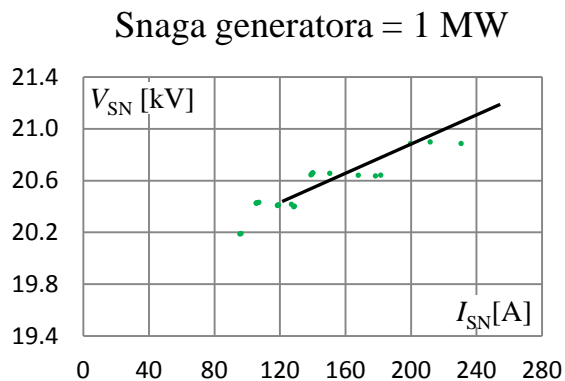


Slika 3.4 – Ostvarena ukupna šteta na potrošačima

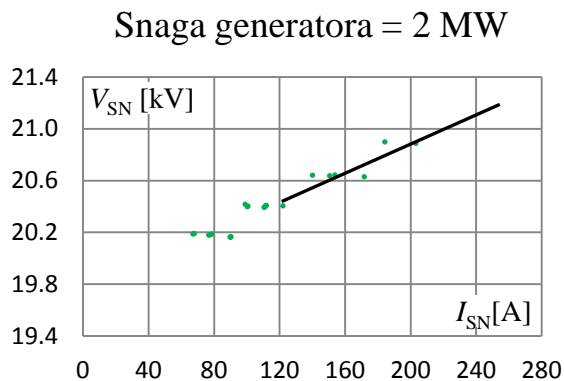
Zbog linearne karakteristike zakona regulacije i diskretnih vrednosti prenosnog odnosa RT-a, imaju se takvi naponi na potrošačima koji se razlikuju od prvobitnih optimalnih napona, što se ogleda u (ne tako značajnom) povećanju štete, što je prikazano na slici 3.4. Plavom bojom su označene vrednosti ukupne minimalne štete ostvarene na potrošačima pri optimalnom naponu, a crvenom bojom pri ostvarenom naponu na SN sabirnicama RTr. Šteta je zbog razlike ostvarenog i optimalnog

napona porasla u karakterističnim časovima potrošnje koji su prethodno navedeni. U dvadeset prvom satu šteta je povećana za 80%, što je i najveće povećanje.

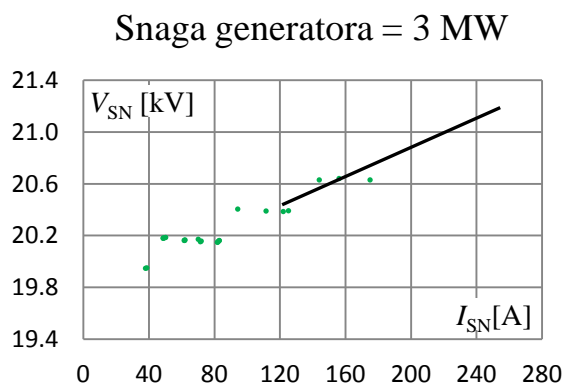
U nastavku slede rezultati dobijeni pri realizovanoj regulaciji sa različitim vrednostima snage distributivnog generatora.



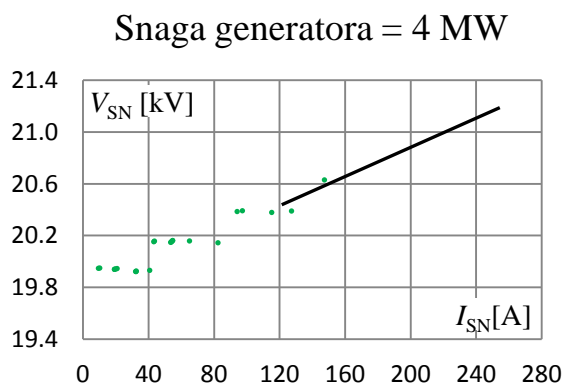
Slika 3.5 – Regulacija pri snazi gen. od 1 MW



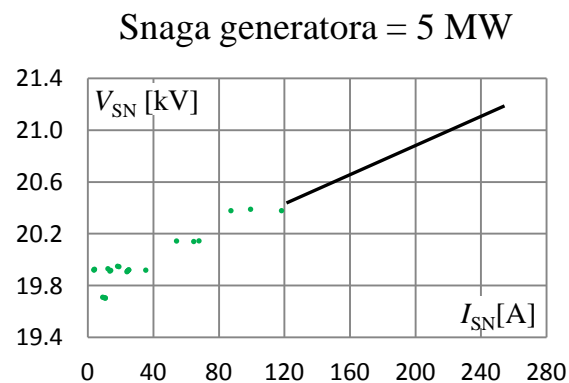
Slika 3.6 – Regulacija pri snazi gen. od 2 MW



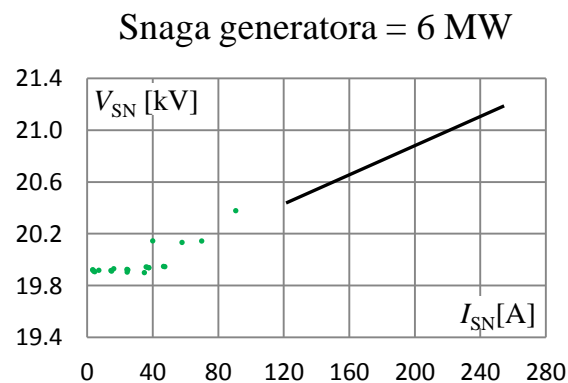
Slika 3.7 – Regulacija pri snazi gen. od 3 MW



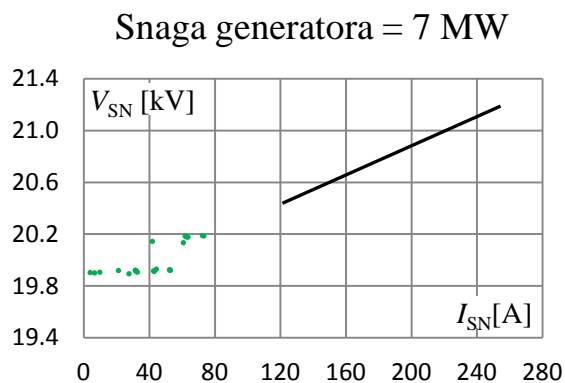
Slika 3.8 – Regulacija pri snazi gen. od 4 MW



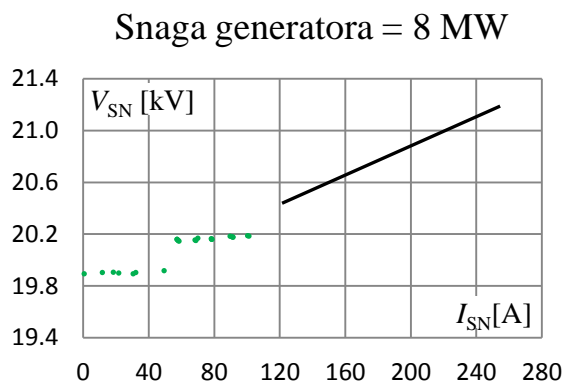
Slika 3.9 – Regulacija pri snazi gen. od 5 MW



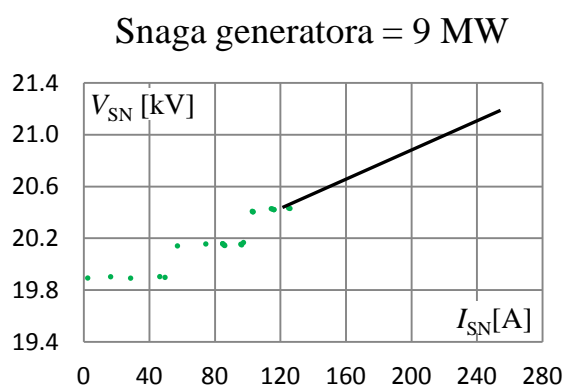
Slika 3.10 – Regulacija pri snazi gen. od 6 MW



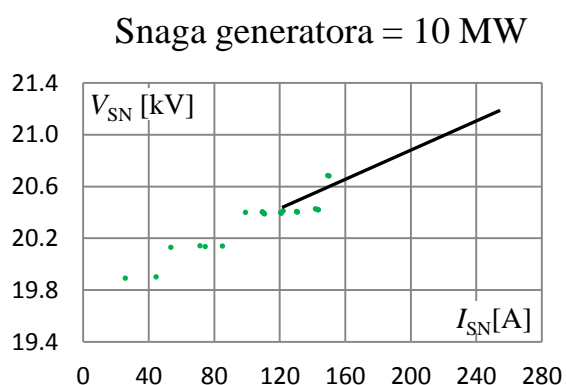
Slika 3.11 – Regulacija pri snazi gen. od 7 MW



Slika 3.12 – Regulacija pri snazi gen. od 8 MW

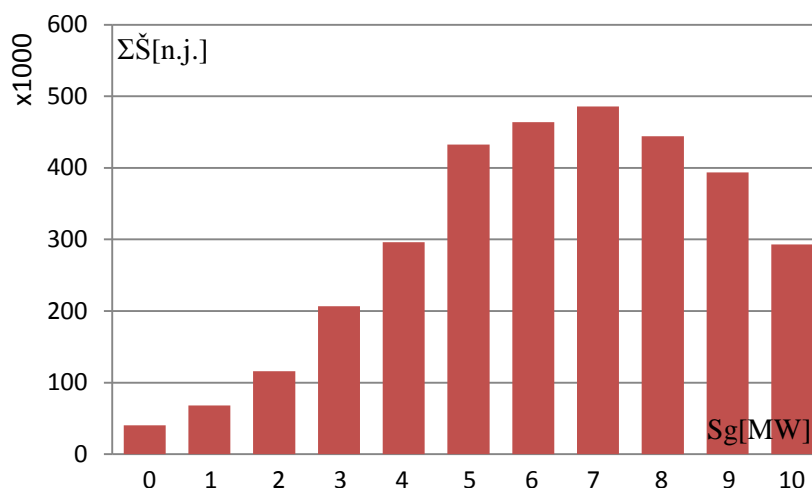


Slika 3.13 – Regulacija pri snazi gen. od 9 MW



Slika 3.14 – Regulacija pri snazi gen. od 10 MW

Na slikama 3.5 – 3.14 prikazan je unapred određen zakon regulacije ARN-a sa ostvarenim optimalnim tačkama pri realizovanoj regulaciji na osnovu pomenutog zakona regulacije u slučajevima različite snage DG. Na slikama se može primetiti da se pri uključenju DG regulacijom ARN-a, sa postojećim zakonom regulacije, u mreži ostvaruju pogrešni optimalni naponi na SN sabirnicama RTr, kao i na potrošačima. Može se, takođe primetiti da se povećanjem proizvodnje DG-a, ostvareni naponi sve više udaljavaju od optimalne linearne k-ke zakona regulacije. Time se odstupanje ostvarenog napona na potrošačima od onog nominalnog napona potrošača povećava, čime potrošači trpe sve veću i veću štetu. Međutim, pri snazi DG od 5 MW i više, u određenim časovima potrošnje struja u vodu V1 ima veću vrednost od struje koja otiče od SN sabirnica RTr ka potrošačima, pa će se tako određeni ostvareni naponi približavati optimalnom zakonu regulacije ARN. To je slučaj jer ampermetar meri moduo struje, tj. ne registruje „smer” struje). Najmanje odstupanje javlja se pri snazi DG od 1MW, dok je najveće pri snazi DG od 7 MW.



Slika 3.15 – Ukupna šteta za jedan dan na svim potrošačima pri različitoj Sg DG-a

Na slici 3.15 prikazane su vrednosti ukupne štete za jedan dan na svim potrošačima u slučajevima različite snage DG (Sg). Već pri snazi DG od 1 MW, zbog pogrešnih optimalnih napona na potrošačima pri regulaciji, šteta je veća za 70 % od one prilikom optimalne regulacije, a pri snazi DG od 2 MW šteta je uvećana za ogromnih 180%. Šteta je pri 7 MW DG-a najveća (najveće odstupanje ostvarenih napona pri realizovanoj regulaciji od optimalnih napona) i uvećana je čak 12 puta. Kako su ostvareni naponi bliži onim optimalnim, tako se i šteta ostvarena na potrošačima manja.

U nastavku slede tabele sa detaljnijim rezultatima dobijenih pri realizovanoj regulaciji sa različitim vrednostima snage DG.

Tabela 3.4: Regulacija pri snazi generatora od 0 MW

=====					
SNAGA GENERATORA: 0.0 [MW]					
=====					
T[h]	I _{sn} [A]	U _{z.o.} [kV]	t _{opt}	U _{o.sn} [kV]	U _{p5} [kV]

1	131.9	20.489	2	20.429	19.677
2	131.1	20.485	2	20.426	19.677
3	131.1	20.485	2	20.426	19.677
4	121.3	20.432	2	20.434	19.752
5	122.0	20.436	2	20.437	19.752
6	132.7	20.493	2	20.432	19.678
7	144.1	20.555	1	20.659	19.846
8	153.8	20.606	1	20.649	19.769
9	154.3	20.609	1	20.654	19.771
10	164.6	20.664	1	20.649	19.698
11	165.3	20.668	1	20.659	19.706
12	175.7	20.723	1	20.656	19.636
13	165.3	20.668	1	20.659	19.706
14	144.3	20.556	1	20.664	19.848
15	143.9	20.554	1	20.659	19.845
16	164.2	20.662	1	20.644	19.695
17	164.6	20.664	1	20.649	19.698
18	206.6	20.889	0	20.899	19.679
19	255.4	21.150	-1	21.149	19.742
20	236.5	21.049	-1	21.161	19.731
21	224.6	20.985	0	20.886	19.521
22	203.5	20.872	0	20.893	19.666
23	192.9	20.816	0	20.898	19.739
24	152.5	20.600	1	20.669	19.780

Tabela 3.5: Regulacija pri snazi generatora od 1 MW

=====					
SNAGA GENERATORA: 1.0 [MW]					
=====					
T[h]	Isn[A]	Uz.o. [kV]	t_opt	Uo.sn[kV]	U_p5[kV]
1	106.3	20.356	2	20.429	19.677
2	105.5	20.352	2	20.426	19.677
3	105.5	20.352	2	20.426	19.677
4	95.5	20.300	3	20.188	19.506
5	96.2	20.304	3	20.191	19.506
6	107.1	20.361	2	20.432	19.678
7	118.7	20.422	2	20.408	19.594
8	128.4	20.474	2	20.398	19.517
9	128.8	20.476	2	20.403	19.520
10	139.4	20.531	1	20.650	19.698
11	140.0	20.535	1	20.659	19.707
12	150.4	20.590	1	20.656	19.637
13	140.0	20.535	1	20.659	19.707
14	118.9	20.423	2	20.413	19.596
15	118.4	20.421	2	20.408	19.593
16	138.9	20.529	1	20.644	19.695
17	139.4	20.531	1	20.650	19.698
18	181.5	20.756	1	20.642	19.421
19	230.6	21.017	0	20.886	19.478
20	211.7	20.916	0	20.898	19.467
21	199.7	20.852	0	20.886	19.521
22	178.3	20.739	1	20.636	19.408
23	167.8	20.683	1	20.641	19.481
24	127.0	20.467	2	20.417	19.528

Tabela 3.6: Regulacija pri snazi generatora od 2 MW

=====					
SNAGA GENERATORA: 2.0 [MW]					
=====					
T[h]	Isn[A]	Uz.o. [kV]	t_opt	Uo.sn[kV]	U_p5[kV]
1	77.7	20.211	3	20.183	19.431
2	76.9	20.206	3	20.180	19.431
3	76.9	20.206	3	20.180	19.431
4	67.1	20.154	3	20.188	19.506
5	67.9	20.158	3	20.191	19.506
6	78.5	20.215	3	20.187	19.432
7	90.1	20.276	3	20.163	19.348
8	100.3	20.328	2	20.398	19.517
9	100.7	20.330	2	20.403	19.520
10	111.1	20.385	2	20.399	19.447
11	111.8	20.389	2	20.408	19.455
12	122.1	20.444	2	20.405	19.385
13	111.8	20.389	2	20.408	19.455
14	90.3	20.277	3	20.167	19.350
15	89.8	20.275	3	20.163	19.347
16	110.6	20.383	2	20.393	19.443
17	111.1	20.385	2	20.399	19.447
18	153.8	20.610	1	20.643	19.421
19	203.2	20.871	0	20.887	19.479
20	184.3	20.770	0	20.898	19.467
21	171.7	20.706	1	20.629	19.264
22	150.6	20.593	1	20.637	19.408
23	140.1	20.537	1	20.641	19.482
24	99.0	20.321	2	20.417	19.528

Tabela 3.7: Regulacija pri snazi generatora od 3 MW

=====					
SNAGA GENERATORA: 3.0 [MW]					
=====					
T[h]	Isn[A]	Uz.o. [kV]	t_opt	Uo.sn[kV]	U_p5[kV]
1	49.4	20.065	3	20.183	19.431
2	48.7	20.061	3	20.180	19.431
3	48.7	20.061	3	20.180	19.431
4	37.9	20.008	4	19.948	19.265
5	38.7	20.013	4	19.951	19.265
6	50.2	20.069	3	20.186	19.431
7	61.8	20.130	3	20.163	19.348
8	71.4	20.182	3	20.153	19.271
9	71.9	20.184	3	20.158	19.274
10	82.2	20.240	3	20.153	19.201
11	82.9	20.243	3	20.162	19.209
12	94.2	20.299	2	20.405	19.385
13	82.9	20.243	3	20.162	19.209
14	62.0	20.132	3	20.167	19.350
15	61.5	20.129	3	20.163	19.347
16	81.8	20.237	3	20.148	19.198
17	82.2	20.240	3	20.153	19.201
18	125.2	20.464	2	20.392	19.169
19	175.0	20.725	1	20.630	19.221
20	156.1	20.624	1	20.641	19.209
21	144.0	20.560	1	20.630	19.264
22	122.0	20.447	2	20.386	19.157
23	111.5	20.391	2	20.390	19.230
24	70.1	20.175	3	20.172	19.282

Tabela 3.8: Regulacija pri snazi generatora od 4 MW

=====					
SNAGA GENERATORA: 4.0 [MW]					
=====					
T[h]	Isn[A]	Uz.o. [kV]	t_opt	Uo.sn[kV]	U_p5[kV]
1	20.0	19.920	4	19.943	19.190
2	19.2	19.916	4	19.940	19.190
3	19.2	19.916	4	19.940	19.190
4	9.4	19.863	4	19.948	19.265
5	10.2	19.868	4	19.950	19.264
6	20.8	19.924	4	19.946	19.190
7	32.4	19.985	4	19.923	19.107
8	43.2	20.036	3	20.153	19.271
9	43.6	20.039	3	20.158	19.273
10	54.0	20.094	3	20.153	19.201
11	54.7	20.098	3	20.162	19.209
12	65.0	20.153	3	20.159	19.139
13	54.7	20.098	3	20.162	19.209
14	32.5	19.986	4	19.927	19.109
15	32.1	19.984	4	19.923	19.107
16	53.5	20.092	3	20.148	19.198
17	54.0	20.094	3	20.153	19.201
18	97.3	20.319	2	20.392	19.169
19	147.4	20.580	1	20.630	19.221
20	127.3	20.479	2	20.390	18.958
21	115.2	20.414	2	20.379	19.013
22	94.1	20.302	2	20.386	19.157
23	82.4	20.246	3	20.145	18.984
24	40.7	20.030	4	19.932	19.041

Tabela 3.9: Regulacija pri snazi generatora od 5 MW

=====					
SNAGA GENERATORA: 5.0 [MW]					
=====					
T[h]	Isn[A]	Uz.o. [kV]	t_opt	Uo.sn[kV]	U_p5[kV]
1	9.9	19.799	5	19.708	18.954
2	10.7	19.803	5	19.705	18.955
3	10.7	19.803	5	19.705	18.955
4	19.0	19.855	4	19.947	19.264
5	18.2	19.851	4	19.950	19.264
6	9.1	19.794	5	19.711	18.955
7	3.9	19.841	4	19.922	19.107
8	13.5	19.892	4	19.913	19.031
9	14.0	19.894	4	19.918	19.033
10	24.3	19.949	4	19.914	18.960
11	25.0	19.953	4	19.922	18.968
12	35.4	20.009	4	19.920	18.898
13	25.0	19.953	4	19.922	18.968
14	4.1	19.842	4	19.927	19.109
15	3.7	19.839	4	19.922	19.106
16	23.9	19.947	4	19.908	18.957
17	24.3	19.949	4	19.914	18.960
18	67.9	20.174	3	20.146	18.924
19	118.3	20.435	2	20.379	18.970
20	99.4	20.334	2	20.390	18.958
21	87.4	20.270	2	20.379	19.012
22	64.7	20.157	3	20.141	18.911
23	54.2	20.101	3	20.145	18.984
24	12.3	19.886	4	19.931	19.041

Tabela 3.10: Regulacija pri snazi generatora od 6 MW

=====					
SNAGA GENERATORA: 6.0 [MW]					
=====					
T[h]	Isn[A]	Uz.o. [kV]	t_opt	Uo.sn[kV]	U_p5[kV]
1	36.7	19.943	4	19.942	19.189
2	37.5	19.947	4	19.939	19.189
3	37.5	19.947	4	19.939	19.189
4	47.3	19.999	4	19.947	19.264
5	46.5	19.995	4	19.949	19.264
6	35.9	19.938	4	19.945	19.190
7	24.4	19.878	4	19.922	19.106
8	14.8	19.827	4	19.913	19.030
9	14.4	19.824	4	19.917	19.032
10	4.0	19.805	4	19.913	18.960
11	3.3	19.809	4	19.922	18.968
12	7.0	19.865	4	19.919	18.898
13	3.3	19.809	4	19.922	18.968
14	24.2	19.877	4	19.926	19.108
15	24.7	19.879	4	19.922	19.106
16	4.5	19.803	4	19.908	18.957
17	4.0	19.805	4	19.913	18.960
18	39.9	20.030	3	20.146	18.923
19	90.6	20.290	2	20.379	18.969
20	69.8	20.190	3	20.145	18.712
21	57.8	20.125	3	20.134	18.767
22	34.8	20.013	4	19.901	18.671
23	24.3	19.957	4	19.905	18.744
24	16.1	19.833	4	19.931	19.041

Tabela 3.11: Regulacija pri snazi generatora od 7 MW

=====					
SNAGA GENERATORA: 7.0 [MW]					
=====					
T[h]	Isn[A]	Uz.o. [kV]	t_opt	Uo.sn[kV]	U_p5[kV]

1	62.7	20.086	3	20.181	19.429
2	63.5	20.091	3	20.178	19.429
3	63.5	20.091	3	20.178	19.429
4	73.3	20.143	3	20.186	19.504
5	72.5	20.139	3	20.189	19.504
6	61.9	20.082	3	20.185	19.430
7	52.6	20.021	4	19.921	19.106
8	43.0	19.970	4	19.912	19.030
9	42.6	19.968	4	19.917	19.032
10	32.2	19.913	4	19.912	18.959
11	31.5	19.909	4	19.921	18.967
12	21.2	19.853	4	19.919	18.897
13	31.5	19.909	4	19.921	18.967
14	52.4	20.020	4	19.926	19.108
15	52.9	20.023	4	19.921	19.105
16	32.7	19.915	4	19.907	18.956
17	32.2	19.913	4	19.912	18.959
18	9.8	19.886	4	19.906	18.683
19	60.8	20.146	3	20.134	18.723
20	41.9	20.046	3	20.144	18.711
21	27.6	19.981	4	19.894	18.527
22	6.6	19.869	4	19.901	18.670
23	3.9	19.813	4	19.904	18.743
24	44.3	19.976	4	19.930	19.040

Tabela 3.12: Regulacija pri snazi generatora od 8 MW

=====					
SNAGA GENERATORA: 8.0 [MW]					
=====					
T[h]	Isn[A]	Uz.o. [kV]	t_opt	Uo.sn[kV]	U_p5[kV]

1	90.5	20.229	3	20.181	19.428
2	91.3	20.234	3	20.177	19.428
3	91.3	20.234	3	20.177	19.428
4	101.1	20.286	3	20.185	19.503
5	100.3	20.282	3	20.188	19.503
6	89.6	20.225	3	20.184	19.429
7	78.3	20.165	3	20.160	19.345
8	68.7	20.114	3	20.151	19.269
9	68.2	20.111	3	20.155	19.271
10	57.9	20.056	3	20.151	19.199
11	57.2	20.052	3	20.160	19.207
12	49.3	19.996	4	19.918	18.896
13	57.2	20.052	3	20.160	19.207
14	78.1	20.163	3	20.165	19.347
15	78.5	20.166	3	20.160	19.345
16	58.4	20.059	3	20.146	19.195
17	57.9	20.056	3	20.151	19.199
18	18.3	19.831	4	19.906	18.682
19	30.4	20.003	4	19.894	18.483
20	11.6	19.903	4	19.904	18.471
21	0.5	19.838	4	19.894	18.526
22	21.6	19.849	4	19.900	18.670
23	32.0	19.904	4	19.904	18.742
24	69.9	20.119	3	20.169	19.280

Tabela 3.13: Regulacija pri snazi generatora od 9 MW

=====					
SNAGA GENERATORA: 9.0 [MW]					
=====					
T[h]	Isn[A]	Uz.o. [kV]	t_opt	Uo.sn [kV]	U_p5 [kV]

1	115.3	20.372	2	20.426	19.674
2	116.1	20.376	2	20.422	19.674
3	116.1	20.376	2	20.422	19.674
4	125.9	20.428	2	20.431	19.749
5	125.1	20.424	2	20.434	19.749
6	114.5	20.367	2	20.429	19.675
7	103.2	20.307	2	20.405	19.590
8	96.4	20.256	3	20.150	19.268
9	95.9	20.254	3	20.155	19.270
10	85.6	20.199	3	20.150	19.198
11	84.8	20.194	3	20.159	19.206
12	74.5	20.139	3	20.157	19.136
13	84.8	20.194	3	20.159	19.206
14	102.9	20.306	2	20.409	19.593
15	103.4	20.309	2	20.405	19.590
16	86.1	20.201	3	20.145	19.195
17	85.6	20.199	3	20.150	19.198
18	46.4	19.974	4	19.905	18.681
19	2.4	19.860	4	19.894	18.483
20	16.4	19.814	4	19.904	18.470
21	28.6	19.879	4	19.893	18.525
22	49.6	19.991	4	19.899	18.669
23	57.2	20.047	3	20.142	18.981
24	97.5	20.262	3	20.168	19.279

Tabela 3.14: Regulacija pri snazi generatora od 10 MW

=====					
SNAGA GENERATORA: 10.0 [MW]					
=====					
T[h]	Isn[A]	Uz.o. [kV]	t_opt	Uo.sn [kV]	U_p5 [kV]

1	142.6	20.514	2	20.425	19.673
2	143.4	20.519	2	20.421	19.673
3	143.4	20.519	2	20.421	19.673
4	150.0	20.571	1	20.682	20.001
5	149.2	20.566	1	20.685	20.001
6	141.7	20.510	2	20.428	19.674
7	130.4	20.450	2	20.404	19.589
8	120.9	20.399	2	20.394	19.513
9	120.4	20.396	2	20.399	19.515
10	110.1	20.341	2	20.395	19.443
11	109.3	20.337	2	20.404	19.451
12	99.0	20.281	2	20.401	19.381
13	109.3	20.337	2	20.404	19.451
14	130.2	20.448	2	20.408	19.592
15	130.7	20.451	2	20.404	19.589
16	110.6	20.344	2	20.389	19.439
17	110.1	20.341	2	20.395	19.443
18	71.2	20.116	3	20.143	18.920
19	25.6	19.856	4	19.893	18.482
20	44.4	19.956	4	19.903	18.469
21	53.4	20.022	3	20.131	18.764
22	74.4	20.134	3	20.137	18.908
23	84.9	20.190	3	20.141	18.981
24	122.0	20.404	2	20.413	19.524

U tabelama 3.4 – 3.13 prikazani su rezultati kada je regulacija napona realizovana pri unapred određenom zakonu regulacije u slučajevima različite snage DG. Oznake u tabelama predstavljaju:

T – vreme potrošnje

I_{SN} – moduo struje na sekundaru RTr

U_{ž.o.} – željeni optimalni napon na sabirnicama RTr na osnovu unapred određenog zakona regulacije

U_{O,SN} – ostvaren napon na sabirnicama RTr pri regulaciji

t_{OPT} – pozicija reg. sklopke na primaru RTr kojom se ostvaruje U_{O,SN}

U_{p5} – moduo napona na potrošaču u petom izvodu

U prethodnim tabelama nalaze se vrednosti ostvarenih napona na sabirnicama RTr pri realizovanoj regulaciji (U_{O,SN}), kao i moduo struje na sekundaru RTr (I_{SN}), u svim slučajevima različitih snaga DG. Vrednosti tih struja i napona predstavljaju ostvarene optimalne tačke na slikama 3.5 – 3.14. Naponi na SN sabirnicama RTr ostvareni realizovanom regulacijom u svakom od slučajeva, odstupaju od optimalnih vrednosti napona. Time su na potrošačima ostvareni pogrešni naponi i potrošači trpe određenu štetu. Na primer, kada je opterećenje RTr najveće (a to je u T=19h) optimalna vrednost napona na sabirnicama RTr iznosi 21,149 kV, dok se ostvarenom regulacijom pri snazi DG od 1 MW ostvaruje napon od 20, 886 kV. Sa snagom DG od 7 MW ostvaruje se napon od 20,134 kV, dok kod snage od 10 MW napon ima vrednost 19,893 kV. Na ovom primeru se može videti koliko je odstupanje ostvarenog napona od onog optimalnog na SN sabirnicama RTr u određenom času potrošnje. Usvakom od slučajeva, vrednsot napona na petom izvodu ne ide ispod granice od 0.9*U_n (U_n – nominalni napon na potrošačima).

4 ZAKLJUČAK

Na osnovu proračuna tokova snaga, samim tim i poznatog stanja mreže pri kojoj se ima najbolji mogući napon na potrošačima, određeni su optimalni naponi na sabirnici SN, a time i linearni zakon regulacije ARN-a. Usled linearnosti zakona regulacije, kao i diskretnih vrednosti prenosnog odnosa regulacionog transformatora, koje su definisane pozicijom regulacione sklopke, regulacijom se ostvaruju naponi koji se znatno ili neznatno razlikuju od optimalnih napona. To odstupanje se može smanjiti drugačijom karakteristikom zakona regulacije ARN-a. U slučajevima različitih vrednosti snage distribuiranog generatora, pri postojećem zakonu regulacije ARN-a, regulacijom se ostvaruju naponi koji znatno odstupaju od optimalnih. Ovo, u kritičnim slučajevima, može izazvati nesagledive štete po potrošače. Za bolju optimizaciju, potreban je zakon regulacije prilagođen određenim slučajevima, odnosno određenim režimima mreže.

5 LITERATURA

1. G.S.Švenda: *Osnovi elektroenergetike – matematički modeli i proračuni*, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet Tehničkih Nauka, 2007.
2. G.S.Švenda: *Predavanja iz predmeta Specijalizovani softveri u elektroenergetici*, Fakultet Tehničkih Nauka, Novi Sad, 2017.
3. V.Strezoski: *Analiza elektroenergetskih sistema I*, skripta, Fakultet Tehničkih Nauka, Novi Sad, 2010.
4. V.Strezoski: *Analiza elektroenergetskih sistema II*, skripta, Fakultet Tehničkih Nauka, Novi Sad, 2010.
5. D.Popović, D.Bekut, V.Dabić: *Specijalizovani DMS Algoritmi*, Prosveta, Novi Sad, 2011.
6. H.Saadat: *Power System Analysis*, The McGraw-Hill Companies, New York, 1999.
7. N.Rajaković: *Analiza elektroenergetskih sistema II*, Elektrotehnički fakultet, Akademska misao, Beograd, 2008.
8. MR Publication: *On-Load Tap-Changers for Power Transformers*, A Technical Digest, 2003.
9. D.Nedić: *Tap Adjustment in AC Load Flow*, UMIST, Septembar, 2002
10. Arthur R.Bergen, Vijay Vittal: *Power Systems Analysis*, Prentice Hall, New Jersey, 2000.
11. D.P.Kothari, I.J.Nagrath: *Modern Power System Analysis*, Tata McGraw-Hill, New Delphi, 2003.