

Tomislav Sinjeri
HEP – ODS d.o.o., Elektra Koprivnica
tomislav.sinjeri@hep.hr

Martin Bolfek
HEP – ODS d.o.o., Elektra Koprivnica
martin.bolfek@hep.hr

Goran Pakasin
HEP – ODS d.o.o., Elektra Koprivnica
goran.pakasin@hep.hr

POBOLJŠANJE KVALITETE ELEKTRIČNE ENERGIJE UGAĐANJEM AUTOMATSKE REGULACIJE NA VISOKONAPONSKOJ RAZINI

SAŽETAK

Mrežna pravila zahtijevaju, od operatera distribucijskog sustava, održavanje mrežnog napona unutar točno određenih granica. Operator, kako bi kompenzirao padove napona na mjestimično dugim vodovima, ima mogućnost regulacije uz pomoć automatske naponske preklopke na transformatoru koje su u nadležnosti operatera prijenosnog sustava.

U referatu je analiziran način podešenja automatske regulacije u transformatorskoj stanici 110/35 kV Selnik na distribucijskom području (DP-u) Koprivnica, koje je izveo operator distribucijskog sustava u suradnji s nadležnim operatorom prijenosnog sustava. U obzir su uzete trenutne prilike u mreži, a prezentirani su konkretni rezultati ugađanja po dubini mreže kao i učinak koji takvo ugađanje ima na poboljšanje vrijednosti određenih parametara kvalitete električne energije.

Ključne riječi: kvaliteta električne energije, automatska regulacija

POWER QUALITY IMPROVEMENT BY ADJUSTING HIGH VOLTAGE AUTOMATIC REGULATION

SUMMARY

Operators of distribution systems are required by Mrežna pravila to maintain network voltage within certain limits. In order to compensate for the voltage drops on somewhat long lines, the operator has the ability to control voltage with automatic transformer voltage switch which lies under transmission system operator's jurisdiction.

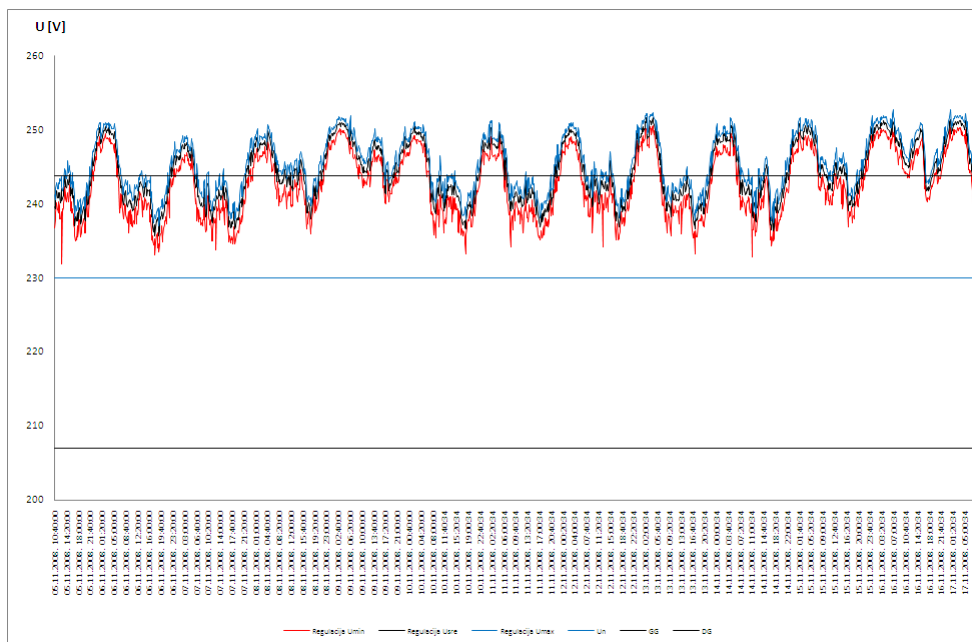
The paper analyses how the adjustments to automatic regulation in transformer station 110/35 kV Selnik in DP Koprivnica were made by distribution system operator in cooperation with transmission system operator. Current network circumstances are taken into consideration, while concrete results of in depth network tuning as well as the effect that such tuning has on power quality improvement are presented.

Key words: power quality, automatic regulation

1. UVOD

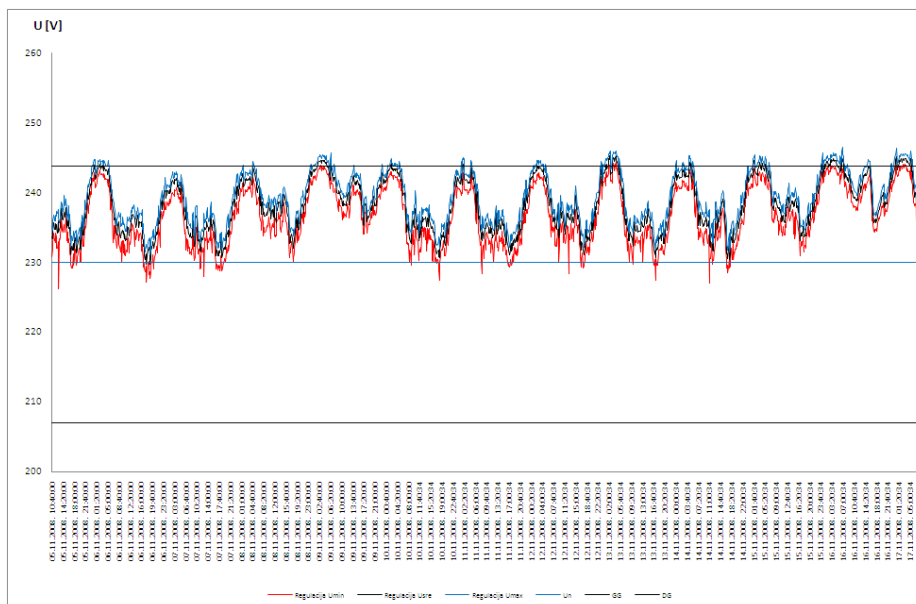
Kada je u pitanju kvaliteta električne energije postoje određeni zahtjevi definirani Mrežnim pravilima koji se postavljaju na operatera distribucijskog sustava. Između ostalog, točno su definirane granice unutar kojih smije oscilirati srednja vrijednost napona mjerena na mjestu predaje električne energije kupcima. Sasvim

općenito govoreći, srednja vrijednost napona, prije svega zbog prirode potrošnje (veća potrošnja tijekom dana, manja tijekom noći), može i značajno oscilirati pogotovo u slučaju transformatorskih stanica koje su u fizičkom smislu udaljenije od transformatorskih stanica višeg naponskog nivoa (slika 1).



Slika 1. Sedmodnevni dijagram napona u TS Stari Gradac 3

Za očekivati je da je u tom slučaju napon kod kupca električne energije nepovoljan, iako to uvelike ovisi o presjeku vodiča na dotičnom niskonaponskom izlazu. U slučaju kada srednja vrijednost napona na mjestu predaje električne energije kupcu prelazi donju ili gornju granicu propisanu prije spomenutim Mrežnim pravilima, a uzrok tomu je pad napona u vrijeme povećanog konzuma, tada se navedeni problem najbrže rješava pomicanjem naponske preklopke na samom transformatoru 10/0.4 kV, dok se istovremeno predlaže, ovisno o trenutnom stanju mreže na dotičnom mjestu i njena rekonstrukcija.

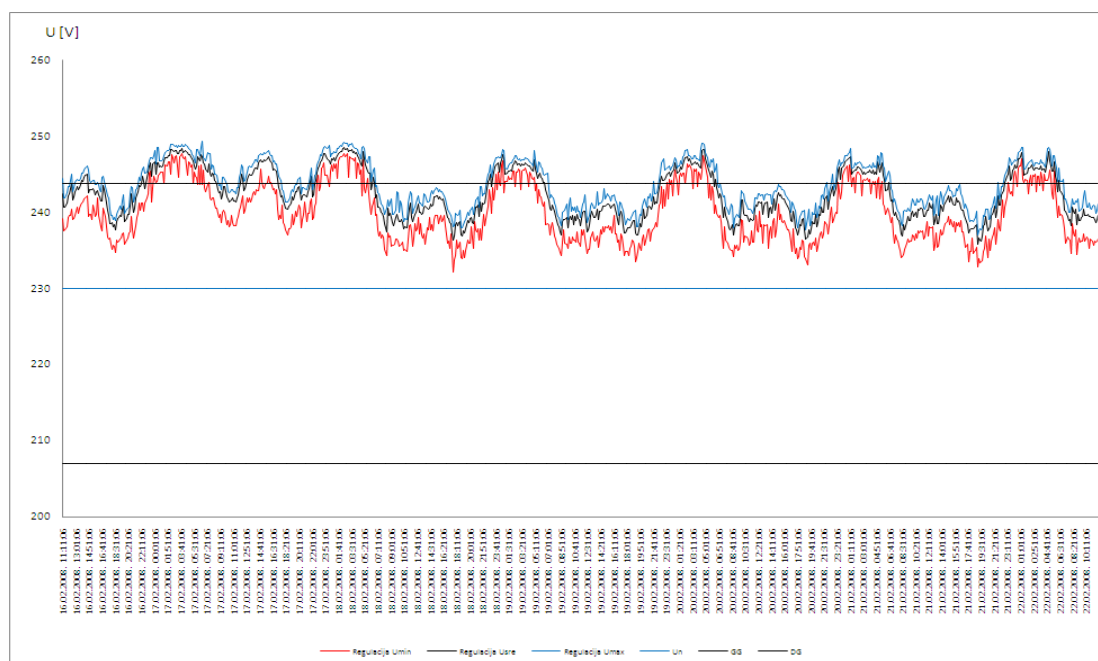


Slika 2. Sedmodnevni dijagram napona u TS Stari Gradac 3 nakon spuštanja naponske preklopke

Kako za rekonstrukciju mreže ili barem dotičnog niskonaponskog izlaza često nije moguće zadovoljiti određene uvjete (najčešće ekonomske prirode), takvo rješenje nije moguće izvesti u kratkom ili barem prihvatljivom roku za kupca električne energije. Jedino rješenje tada je pomicanje naponske preklopke na transformatoru. Uobičajeno, napon se preklopkama na transformatorskim stanicama prijenosnog omjera 10(20)/0.4 kV mijenja u pet koraka od 2,5% nazivnog napona, što će reći kako je

moгуće maksimalno povećati odnosno smanjiti napon za 5% od njegove nazivne vrijednosti. I tada se javlja problem jer čak i ako na taj način djelujemo na iznos napona, on opet može prelaziti granice određene pravilima (slika 2).

Slični problemi, ali potencijalno opasniji kada je u pitanju funkcionalnost i životni vijek električnih uređaja, javljaju se zbog napona na srednjenaponskoj razini. Prilikom ugradnje transformatorskih stanica novijeg tipa (prijenosnog omjera 10(20)/0,42 kV) u ne malom broju slučajeva kupci su se žalili na naponske prilike, te je mjerenje kvalitete električne energije pokazalo da je srednja vrijednost napona viša od dopuštenog iako je naponska preklopka u takvom položaju da smanjuje napon sekundara za 5%. Nazivni napon na sekundaru transformatora, iako veći od starijih tipova transformatora za samo 20 V, dovoljno je veći da uzrokuje probleme (slika 3).



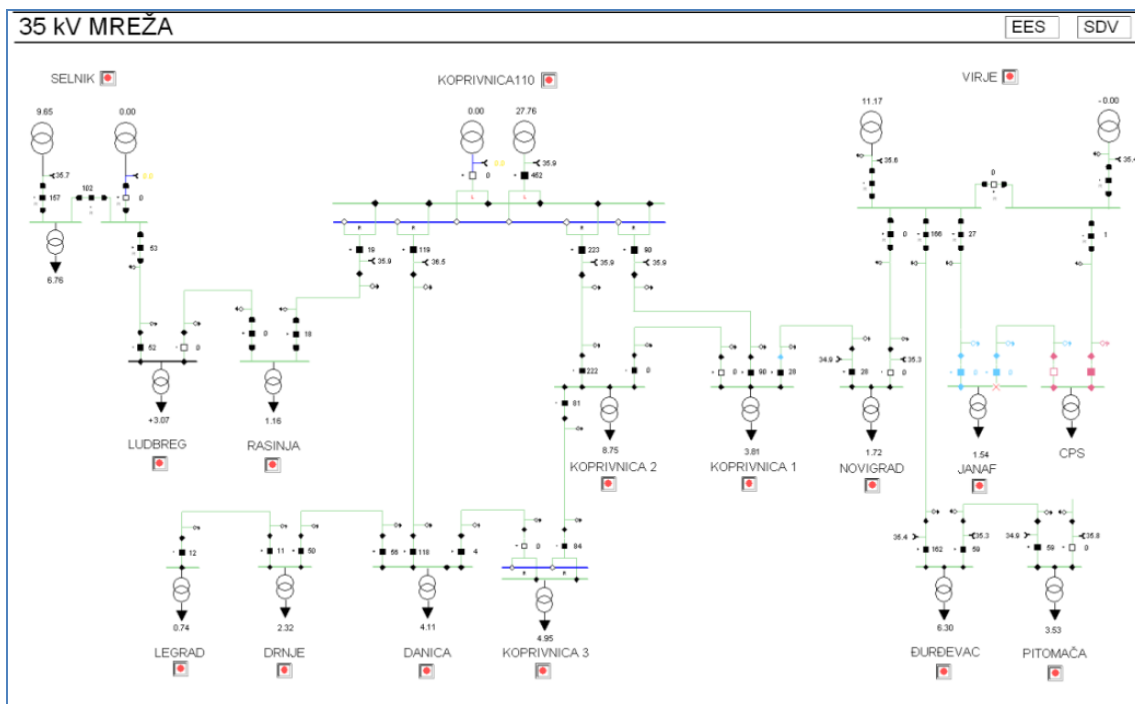
Slika 3. Dijagram napona u TS 10(20)/0,42 kV Vladimira Nazora-Pitomača sa naponskom preklompkom u položaju 1/5

2. POSTUPAK PODEŠENJA AUTOMATSKE REGULACIJE

Oba navedena problema, onaj previsokog napona i velikih dnevnih oscilacija srednje vrijednosti napona mogu se riješiti odgovarajućim ugađanjem automatskih regulatora na transformatorskim stanicama 110/35 kV, na 35 kV-tnoj naponskoj razini. Kako spomenuta naponska razina nije u domeni Operatera distribucijskog sustava, ovaj se postupak izveo uz pomoć i suradnju kolega iz prijenosnog sustava.

2.1. Osnovni način rada regulatora

Kao što je prikazano slikom 4. distribucijsko područje Koprivnica sastoji se od tri transformatorskih stanica prijenosnog omjera 110/35 kV. Naponski regulatori u spomenutim stanicama različitog su tipa, no ono što je bitno kod ovog konkretnog problema jest da svaki ima mogućnost regulacije napona u zavisnosti o veličini struje u danom trenutku. Zadajući određene parametre, operator distribucijskog sustava kvantitativno definira linearnu zavisnost napona na regulatoru o struji koja u tom trenutku prolazi kroz transformator. Svi regulatori na spomenutom području imaju mogućnost regulacije napona u koracima od po 1,5% nazivnog napona.



Slika 4. Shema 35 kV mreže DP-a Koprivnica

Operatoru su na raspolaganju podaci iz SCADA sustava gdje se mogu dobiti rasponi u kojima se kreće iznos struje za određeni transformator. Ono što se želi postići kako bi se razriješila gore spominjana problematika, jest podesiti regulator na način da podiže napon u trenutku povećane potrošnje, a smanji napon kada je ta potrošnja manja. Kako bi se regulator udesio baš na taj način, operateru su na raspolaganju tri parametra: Ograničenje, gradijent i početna vrijednost, a računa mora voditi i o četvrtom parametru tzv. mrtvoj zoni. Princip podešenja je manje ili više isti, iako se regulatori međusobno razlikuju, dok iznosi za pojedine parametre ponajviše ovise o konfiguraciji mreže na određenom području.

Prvi spomenuti parametar je tzv. početna vrijednost (engl. setpoint value). To je vrijednost koju će regulator nastojati održavati na 35 kV strani 110/35 kV transformatora u praznom hodu. Obzirom da se mjerenje napona na sekundaru vrši preko naponskog transformatora, za zadanu vrijednost unosi se vrijednost izražena u [V], ali sa sekundarne strane naponskog mjernog transformatora. Drugim riječima unese se vrijednost od primjerice 100 V kao zadana, a tek nakon što u regulatoru unesemo vrijednost prijenosnog omjera mjernog transformatora (koji u našem slučaju iznosi $35 \text{ kV}/100 \text{ V} = 350$), prikazuje se na zaslonu stvarna vrijednost zadane vrijednosti kao i trenutno odstupanje od iste.

Mrtva zona (engl. permissible regulative deviation [Xwz]) je prostor oko zadane vrijednosti unutar kojeg regulator ne mijenja položaj naponske preklopke. Prilikom unosa vrijednosti za mrtvu zonu uzima se u obzir činjenica da „mrtva zona“ oko neke zadane vrijednosti mora biti nešto veća od mogućnosti regulacije kako bi se minimizirao broj promjena položaja naponske preklopke (u našem slučaju riječ je o pomacima od po 1.5%). Imajući to na umu računamo:

$$\pm X_{wz} = 0.6 \cdot \Delta U_{reg} \quad (1)$$

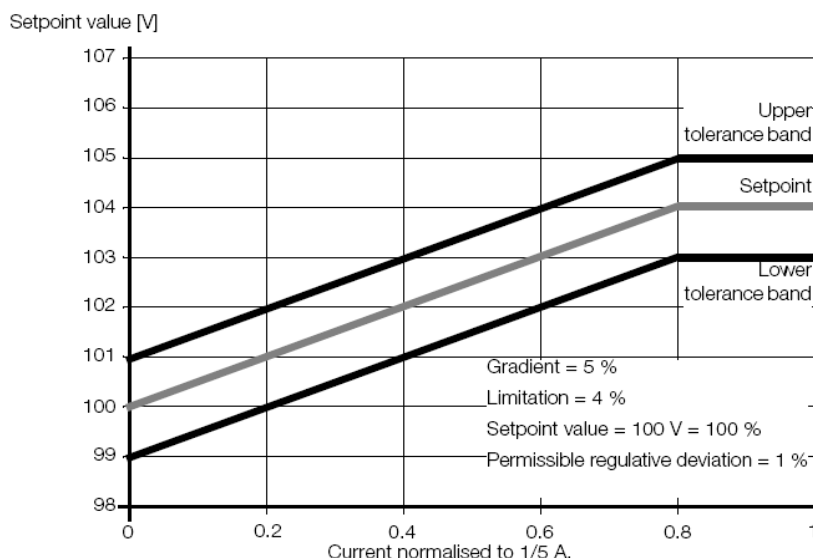
$$\pm X_{wz} = 0.6 \cdot 1.5\%$$

$$\pm X_{wz} = 0.9\%$$

$$|\pm X_{wz}| = 0.9\% \cdot 35 \text{ kV} = \pm 315 \text{ [V]}$$

Drugim riječima ukoliko je početna vrijednost podešena na 35 kV, tada će tzv. mrtva zona biti u između 34.684 kV i 35.315 kV.

Treći važan parametar je gradijent. Ovim se parametrom postiže korekcija vrijednosti napona s obzirom na trenutni iznos struje, što za posljedicu ima kompenzaciju pada napona uslijed povećanja tereta i isto tako smanjenje vrijednosti napona uslijed smanjenja opterećenja (slika 5.)



Slika 5. Grafički prikaz načina rada regulatora

Regulator dobiva podatak o iznosu struje preko strujnog mjernog transformatora. Slikom 5. prikazana je promjena vrijednosti struje na sekundaru mjernog transformatora u rasponu od 0 A do 1 A pri čemu 1 A odgovara nazivnoj vrijednosti struje za transformator 110 / 35 kV koja se također može unijeti u postavke regulatora. Pretpostavljeni prijenosni omjer naponskog mjernog transformatora 350. Kao što se na slici također vidi gradijent je postavljen na vrijednost od 5 %.

Kada trenutna vrijednost struje bude jednaka nazivnoj, napon na sekundaru 110/35 kV transformatora povećat će se za 5% odnosno iznositi će 36.75 kV. U obzir se mora uzeti i iznos mrtve zone, koja je na slici 5. prikazana sa dvije crne linije, tako da iznos napona u određenom trenutku može biti 37.065 kV. Ukoliko je iznos napona previsok, moguće je unijeti ograničenje (engl. limitation), kojom se ograničava daljnji porast napona uslijed porasta struje što je vidljivo iz slike 5. u području struje od 0,8 do 1 In.

2.2. Način izrade proračuna na primjeru TS 110/35 kV Selnik

Regulatori se mogu međusobno značajno razlikovati u načinu na koji ostvaruju regulaciju napona u zavisnosti o struji. Ovdje navedeni parametri mogu se razlikovati u nazivu kod nekih drugih tipova regulatora, ali princip izrade krivulje zavisnosti napona o struji je uz manje izmjene univerzalan.

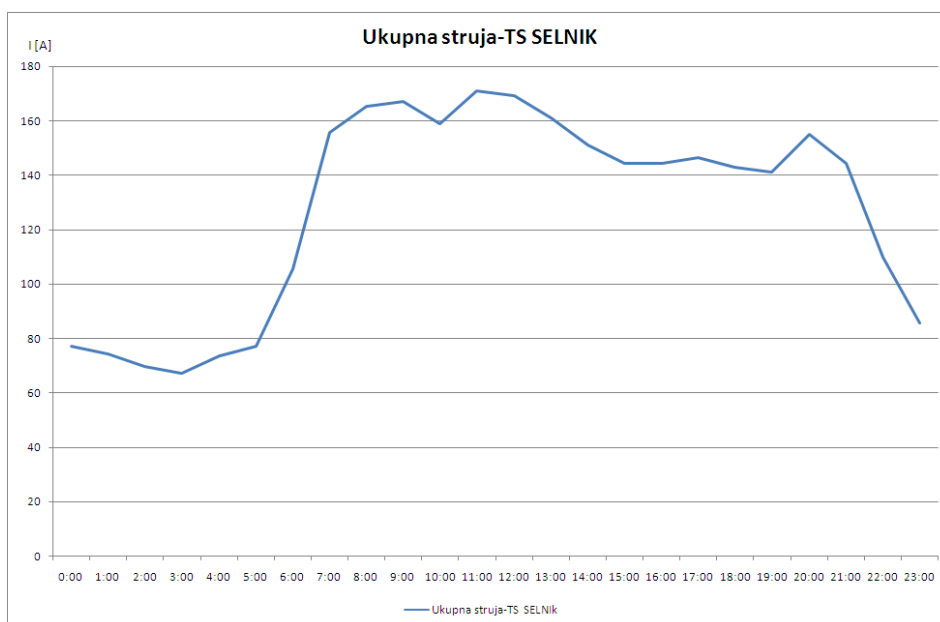
Kako bi se pravilno izračunali odgovarajući parametri, potrebni su podaci o dnevnom opterećenju transformatora, nazivna struja transformatora, dijagrami napona na transformatorskim stanicama za koje radimo proračun, te padovi napona na vodovima. Takve je podatke najlakše dobiti iz SCADA sustava. U ovom su konkretnom slučaju na temelju podataka za TS Selnik (slika 6.) odabrani iznosi parametara prema Tablici. I te je dobivena zavisnost napona o struji kao što je prikazano slikom 7.

Tablica 1. Podešenja parametara na regulatoru u TS Selnik

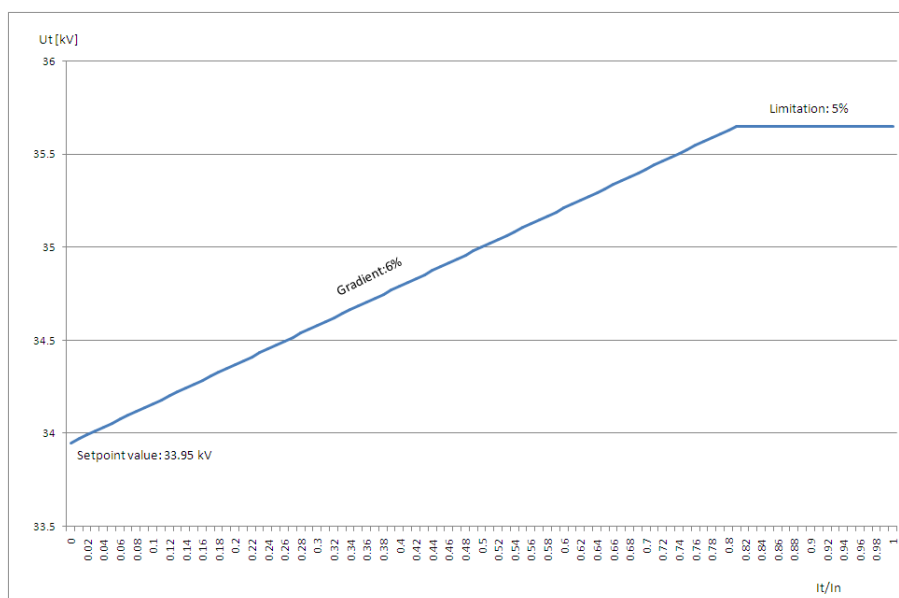
Naziv TS-a	Gradient	Limitation	Setpoint value
110/35 kV Selnik	6 [%]	5 [%]	33.95 [kV]

Prilikom odabira iznosa parametara regulacije potrebno je unaprijed pretpostaviti razmjere tih promjena na nižim naponskim razinama. Primjerice, 10 kV će razina biti zadovoljavajuća ukoliko ispunjava sljedeće kriterije:

- nova dnevna krivulja napona ne smije previše odstupati od stare jer bismo u tom slučaju morali mijenjati položaje naponskih preklopki na većini 10/0,4 kV transformatora,
- napon ne smije biti prenizak (ne bi smio biti niži od 10 kV bez obzira na prijašnje stanje),
- dnevna krivulja napona ne smije imati velike oscilacije (ovaj kriterij nije specificiran, već se isti mora odrediti iz dijagrama).



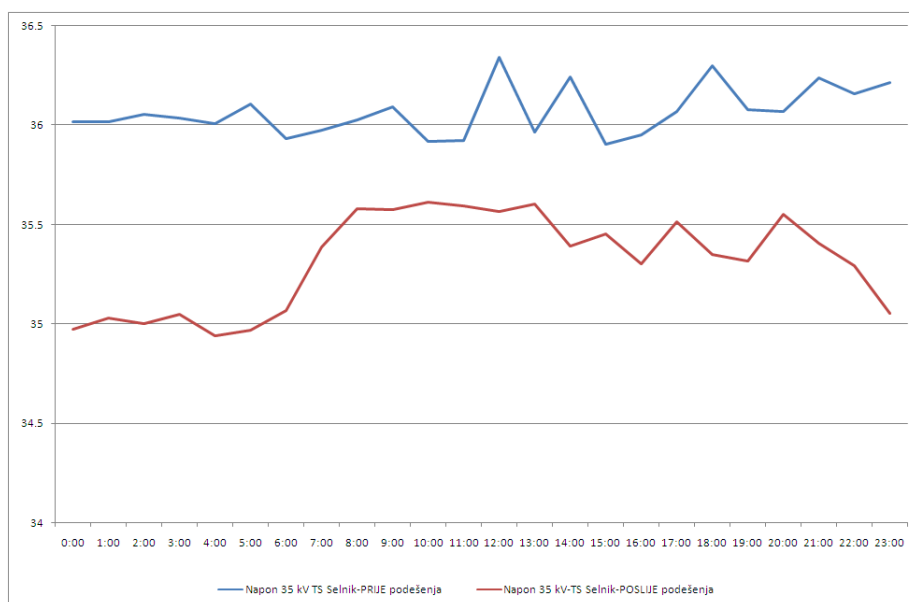
Slika 6. Dnevna krivulja struje za TS Selnik - 13. svibanj 2009



Slika 7. Krivulja zavisnosti napona o struji

3. REZULTATI PODEŠENJA REGULATORA

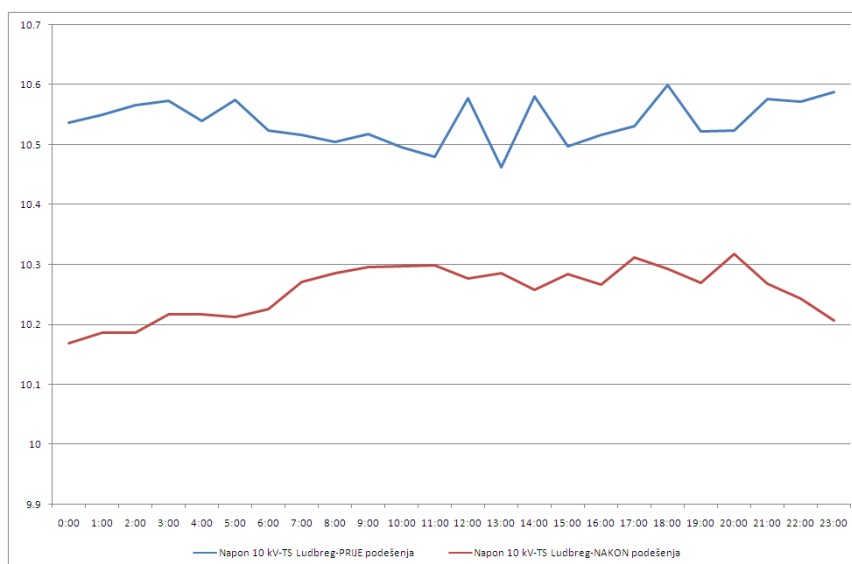
Dnevna će krivulja napona na 35 kV strani 110/35 kV transformatora (slika 8.) imati oblik kao i dnevna krivulja opterećenja (slika 6.). Uz prije spomenuto podešenje regulator će povisiti napon u vrijeme povećanog konzuma, čime se postiže kompenzacija pada napona na 35 kV vodovima. Na taj način u TS 35/10 kV Ludbreg dobivamo dnevnu krivulju napona prikazanu slikom 9.



Slika 8. Dnevni dijagram napona na 35 kV u TS Selnik prije i poslije podešenja regulatora

Ovdje je još bolje vidljiva suprotnost između prijašnjeg i trenutnog načina rada regulatora. Na ovaj su način riješeni problemi spomenuti u uvodu. Napon na 10 kV naponskoj razini smanjen je za 200 V odnosno 2% do 2.5% što je riješilo problem previsokog napona na sekundaru transformatora novog tipa, a čija je naponska preklopka već sada u položaju u kojem smanjuje nazivni napon za 5% (odnosno u položaju 1/5).

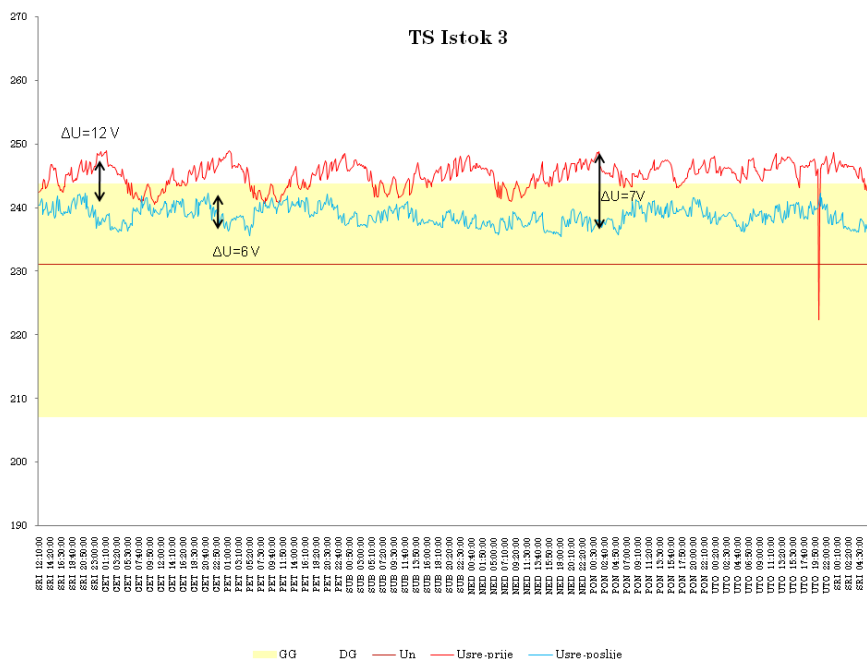
Iako sa donje slike nije očito, smanjene su oscilacije napona tijekom dana. Naime, slika 9. prikazuje 10 kV-tni napon na u TS 35/10 kV Ludbreg. U obzir moramo uzeti i pad napona na 10 kV vodovima stoga je efekt ovog udešenja regulatora najbolje promatrati na transformatorskim stanicama prijenosnog omjera 10(20)/0.4 kV (slika 10.).



Slika 9. Dnevna krivulja napona na 10 kV strani TS 35/10 kV Ludbreg

U tom cilju izvršeno je mjerenje prije i poslije udešenja regulatora u TS 10(20)/0,42 kV Istok 3 koja se napaja iz TS 35/10 kV Ludbreg. Opterećenje transformatorske stanice nije se bitno promijenilo između ova dva mjerenja. Iz donje se slike vidi da smanjenje srednje vrijednosti napona za prije spomenutih 2% do 2.5% rezultira gotovo jednakim smanjenjem napona i na niskonaponskoj strani (u prosjeku za 7 V). Što se kvalitete električne energije tiče, napon se nakon spomenutog pomaka nalazi unutar granica određenih Mrežnim pravilima, što je na slici prikazano žuto obojanim područjem.

Dnevno osciliranje napona je također smanjeno sa prijašnjih maksimalnih ± 12 V na ± 6 V. Time je omogućena regulacija napona uz pomoć naponskih preklopki na transformatoru jer u slučaju žalbe potrošača na niski napon, može se podići napon bez bojazni da će zbog prevelike oscilacije preći gornju granicu.



Slika 10. Dijagram srednje vrijednosti napona na TS Istok 3 prije i poslije podešavanja regulatora

4. ZAKLJUČAK

Implementacija rješenja prezentiranog ovim radom relativno je jednostavna i ekonomski isplativa. Za nju nisu potrebna dodatna ulaganja. Iskorištavaju se mogućnosti koje automatski regulator već posjeduje, ali barem u ovom konkretnom slučaju nisu bile u funkciji.

Preduvjet za implementaciju su, između ostalog, kvalitetni podaci o opterećenju transformatorske stanice, te dijagrami napona po dubini mreže. Tu još jednom do izražaja dolazi značaj SCADA sustava koji bilježi takve podatke i pohranjuje ih u bazu podataka kao i mjerenje kvalitete električne energije po dubini mreže.

Kada je u pitanju kvaliteta električne energije, spomenutim ugađanjem smanjujemo naponske oscilacije tijekom dana. Time se oslobađa prostor za brzu reakciju u slučaju žalbe potrošača na visok ili nizak napon. Ovo je u praksi, na žalost, često i jedini način sanacije naponskih prilika u razumnom roku.

LITERATURA

- [1] Mrežna pravila elektroenergetskog sustava, N.N. 36/2006.
- [2] SPAU 341 C Voltage regulator, User's manual and Technical description, 2007.
- [3] MK 30E Electronic voltage regulating relay, Operating instructions no.121-0/94, 2000.
- [4] REG-D Voltage regulator, Operating manual, Issue 15.02.2007/03