

mr.sc. Marina Čavlović, dipl.ing.el.
HEP-ODS d.o.o. Sektor za tehničke poslove
marina.cavlovic@hep.hr

UVOĐENJE AUTOMATSKE REGULACIJE NAPONA U TRANSFORMACIJU SN/SN U DISTRIBUCIJSKOJ MREŽI

SAŽETAK

Automatska regulacija napona (ARN) na sučelju prijenosne i distribucijske mreže više nije dostatna za održavanje napona unutar dopuštenih granica unutar distribucijske mreže, jer se lokalni utjecaj distribuiranih izvora nameće kao dominantan, posebice u dijelovima mreže udaljenim od prijenosne mreže.

Referat daje obrazloženje nužnosti uvođenja ARN na transformaciji SN/SN, način i kriterije odlučivanja treba li uvesti ARN, na koje transformatore treba ugraditi ARN, vrste automatske regulacije napona i njihovu primjenjivost, način odabira krivulje regulatora i kontrolnog mehanizma za provjeru djelotvornosti regulatora.

Zaključno, konstatira se da je na ovom stupnju integracije distribuirane proizvodnje u distribucijsku mrežu ARN na transformaciji SN/SN nužna, te da je ARN prvi korak prema naprednoj distribucijskoj mreži.

Glavne riječi: automatska regulacija napona, transformacija SN/SN, zagušenje mreže, krivulja regulatora, kontrolna točka, logička shema regulatora

IMPLEMENTATION OF AUTOMATIC VOLTAGE REGULATION ON MV/MV TRANSFORMATION IN THE DISTRIBUTION NETWORK

SUMMARY

Automatic voltage regulation (AVR) on the interface between the transmission and distribution network is not sufficient to maintain the voltage within limits in the distribution network due to the dominant local impact of distributed generation, especially in parts of the distribution network distant from the transmission network.

The paper explains the necessity of introducing AVR on MV/MV transformation. The paper gives basics and criteria for deciding whether to implement AVR, at which transformers AVR should be implemented, types of automatic voltage regulation and their applicability, voltage regulation curves and control mechanism to verify the effectiveness of the regulator.

Paper states that ARN at MV/MV transformation is necessary at current stage of distributed generation integration in distribution network. AVR is the first step towards a smart distribution network.

Key words: automatic voltage regulation, transformation MV/MV, network congestion, voltage regulation curves, control point, logical scheme of the regulator

1. UVOD

Automatska regulacija napona na sučelju prijenosne i distribucijske mreže više nije dostatna za održavanje napona unutar dopuštenih granica unutar distribucijske mreže, jer se lokalni utjecaj distribuiranih izvora nameće kao dominantan, posebice u dijelovima mreže (impedancijski) udaljenim od prijenosne mreže.

Insistiranje na mogućnosti priključenja novih korisnika mreže samo unutar opsega koji garantira zadržavanje napona u propisanom opsegu korištenjem samo postojećih tehnologija i propisanih mogućnosti koje su u širokoj primjeni u distribucijskoj mreži dovodi do nemogućnosti (is)korištenja znatnih resursa u distribucijskoj mreži, te, posljedično, onemogućuje (ili čini neisplativim) priključenje novih korisnika i znatno poskupljuje mrežne troškove (zbog nadkapacitiranosti mreže). Ovaj pristup, posebice pod utjecajem sve većeg udjela distribuirane proizvodnje u ukupnim tokovima snaga u distribucijskoj mreži, postaje neodrživ. Jedina opcija je napustiti dosadašnji izrazito restriktivan pristup i opredijeliti se progresivan, multidisciplinarni pristup. To znači angažirati sve teoretski raspoložive resurse (tehničke, regulatorne, pravne i ekonomske mehanizme) kojima bi se moglo utjecati na reguliranje napona u distribucijskoj mreži. Jedan od načina je i „spuštanjem“ automatske regulacije napona bliže udaljenim dijelovima mreže (u transformaciju SN/SN).

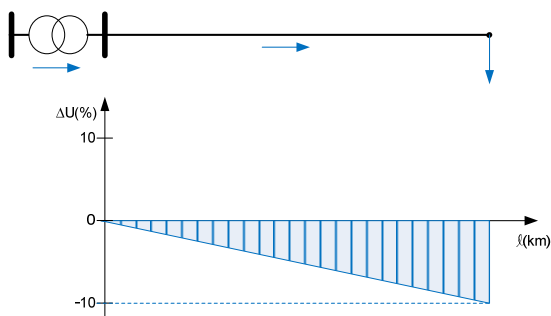
Tehnološki gledano, ne radi se o znatnom iskoraku: koristili bi se regulatori koji su već u primjeni u transformatorima VN/SN, mjerna polja na sabirnicama na reguliranoj strani (niženaponskoj strani) transformacije trebala bi se opremiti preciznim NMT, dok sklopke naponske regulacije trebaju biti predviđene za iznimno veliki broj sklopnih operacija, jer se, za razliku od regulacije na sučelju VN/SN, u SN mreži očekuje znatno širi raspon fluktuiranja opterećenja transformatora (u oba smjera), te stoga i veći broj promjena položaja preklopke naponske regulacije.

Da bi se iskoristile brojne mogućnosti koje nude današnji automatski regulatori napona potrebno je stvoriti preduvjete ne samo u primarnom nego i u sekundarnom postrojenju u razmatranoj TS, pa i šire u mreži.

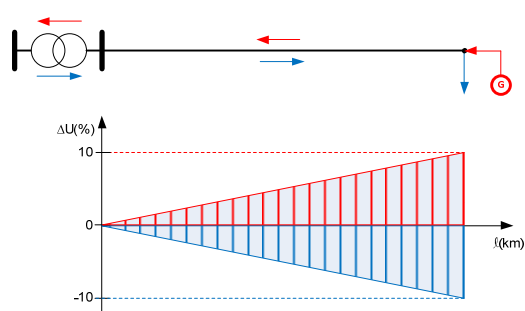
2. DETEKCIJA PROBLEMA U MREŽI

S povećanjem broja elektrana u distribucijskoj mreži okolnosti, posebice naponske, u mreži rapidno se usložnjavaju.

Za razliku od drugih država koje potiču integraciju distribuiranih izvora, distribucijska mreža u RH nije se mogla pohvaliti velikom zatečenom zalihnošću u trenutku donošenja prve generacije poticajnih propisa (što je dijelom posljedica ratnih razaranja tijekom domovinskog rata, što je bitno promijenilo kriterije razvoja mreže – sanacija ratom uništene mreže imala je prioritet). Ova je zalihnost trebala omogućiti staloženiji prijelazni period u kojem bi se HEP-ODS (operator) prilagodio korjenitoj promjeni stogodišnje koncepcije pasivne radialne distribucijske mreže, koju distribuirani izvori nedvojbeno uzrokuju. Upravo iz tog razloga, već u prvih 5 godina od početka aktivne primjene donesenih propisa, uočava se „zagušenje“ distribucijske mreže. Za razliku od pojma „zagušenje“ koji se učestalo spominje u kontekstu prijenosne mreže, a ukazuje na strujno preopterećenje (nedostatnu prijenosnu moć vodova u prijenosnoj mreži), u distribucijskom sustavu pod pojmom „zagušenje“ nije strujni, nego naponski problem.



Slika 1. Stanje u mreži bez elektrana (postoji samo pad napona duž voda)



Slika 2. Zagušenje mreže – napon u mreži u normalnom pogonu doseže oba ekstrema

Pod zagušenom mrežom u ovom se kontekstu podrazumijeva mreža u kojoj u različitim dijelovima dana/tjedna/mjeseca naponi dostižu i propisane minimalne i maksimalne vrijednosti (i 110% Un i 90% Un), u konfiguraciji u kojoj su učinjena sva raspoloživa pojačanja mreže (slike 1 i 2) (presjek je najveći tipizirani za danu naponsku razinu, optimirano je uklopno stanje u funkciji stabiliziranja naponskog profila vodova).

U ovakvoj mreži eventualnim smanjenjem potrošnje dovodi se u pitanje i normalan pogon postojećih elektrana (porast napona iznad 110% Un), dok eventualni porast potrošnje (unutar odobrene snage) postojećih kupaca ruši napon ispod minimalno dopuštenih 90% Un, što u tom trenutku elektranama također onemogućuje korištenje mreže. Pritom je rizik za dostizanje okolnosti u mreži izvan propisanih isključivo operatorov.

Zagušena mreža je „zamrznuta“ mreža – u njoj više nisu dopušteni nikakvi zahvati koji bi mogli imati za posljedicu povećanje impedancije mreže (npr. izmještanje vodova duljom trasom i sl.).

Dakle, u zagušenoj mreži:

- nema uvjeta za priključenje novih korisnika mreže ili povećanje priključne snage postojećim korisnicima mreže, a zabranjeno je i priključenje elektrana za vlastite potrebe postojećim kupcima, čak i u slučaju priključne snage 0 kW u smjeru prema mreži
- zabranjeni su zahvati u postojećoj mreži koji bi povećavali impedanciju mreže
- svaka promjena ritma/iznosa potrošnje postojećih kupaca dovodi do okolnosti u mreži izvan propisanih granica, čime se elektranama priključenim na mrežu onemogućava korištenje mreže (unutar odobrene priključne snage) – elektranu će isključiti njena pod/nad naponska zaštita.

Zagušenje u mreži je posljedica velikog raspona fluktuacije napona u distribucijskoj mreži. U ekstremnim situacijama ono se može javiti i u mreži bez elektrana, u slučaju velike razlike između minimalne i maksimalne potrošnje u lokalnoj mreži (slika 4).

Ove su situacije, iako rijetke, tipične za područja s istovjetnim karakterom korisnika mreže (kupaca), kao npr. ruralne mreže s potrošnjom dominantno kategorije kućanstvo (dnevni raspon opterećenja je do 70%), ili npr. dominantno kategorije poduzetništvo (ako nije zastupljen rad u tri smjene 24/7). Tada pad napona u maksimumu potrošnje traži dodatno podizanje napona (položaj fiksne regulacije), što se ne smije provesti, jer bi u minimumu potrošnje uz isti položaj fiksne regulacije napon bio iznad propisanog (slika 4).

Međutim, puno je češći slučaj zagušenja zbog dodatnog raspona fluktuacije napona koju unose distribuirani izvori. Ovo je ponajprije posljedica propisa [3] koji propisuju da elektrana plaća isključivo stvarne troškove priključenja (priključak i stvaranje uvjeta u mreži) nužne da bi se ona mogla priključiti na mrežu.

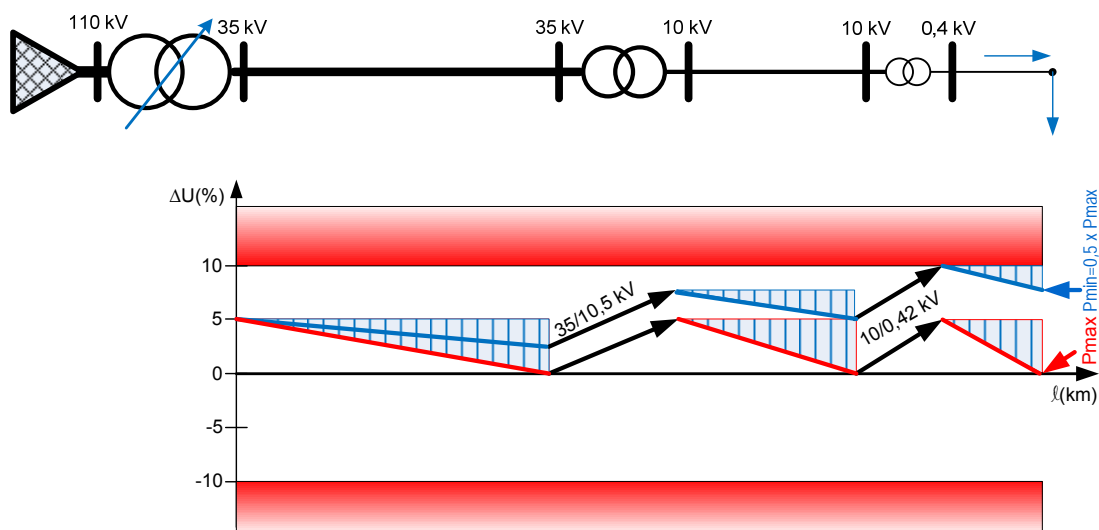
Dakle, ako elektrana svojom maksimalnom proizvodnjom u istodobnom minimumu potrošnje u mreži diže napon na 110% Un, operator je obavezan priključiti je na mrežu, jer ona „stane“ u mrežu (slike 2 i 5). Na žalost, nema osnove u ijednom propisu temeljem kojeg bi operator smio propisati marginu sigurnosti, te, npr. uvesti pravilo da elektrana „stane“ u mrežu samo ako uz njen maksimalni doprinos okolnostima u mreži napon ni u jednoj točki u mreži ne prelazi npr. 108% Un.

Čak i kada bi postojala izvjesna margina sigurnosti, problem ne bi bio riješen, samo bi rizici od zagušenja u startu bili nešto manji. Operator bi dobio malo dodatnog vremena za pregrupiranje, ali u konačnici, opet bi se došlo na isto.

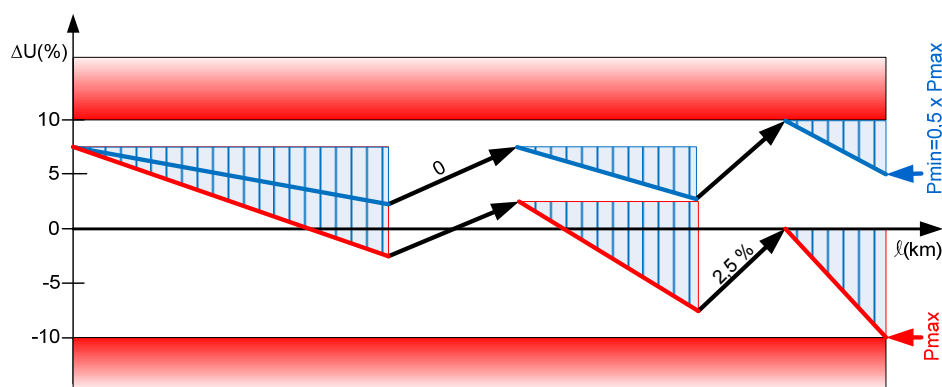
Do prije 6 godina nitko nije razmišljao o 1500 elektrana priključenih u dubinu distribucijske mreže. Danas je to naša realnost.

Još do jučer distribucijska mreža bila je radijalna pasivna mreža, u kojoj je, s aspekta napona u normalnom pogonu, jedini problem bio pad napona u mreži.

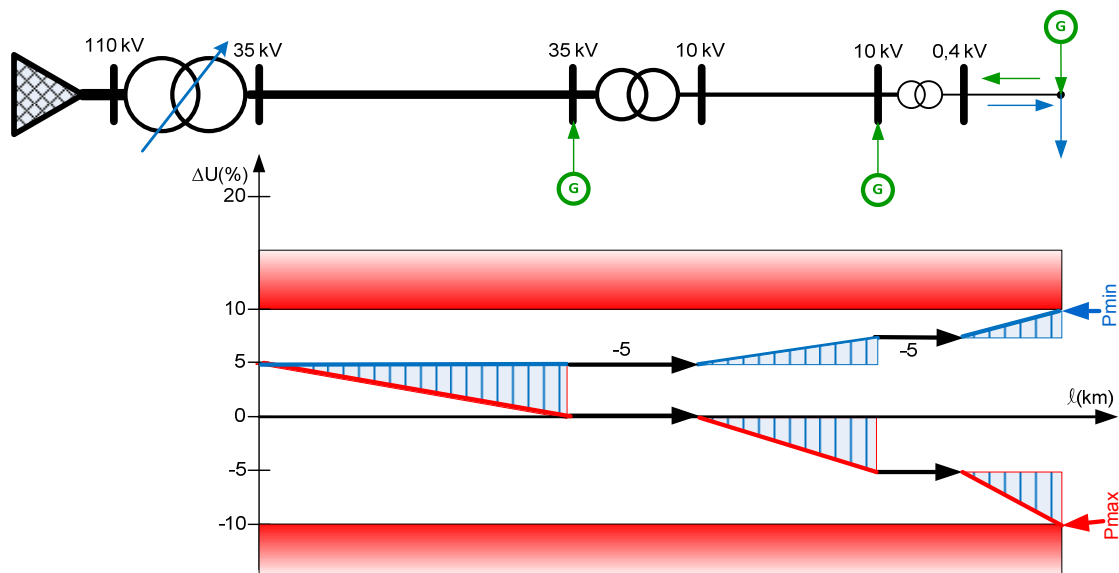
Čitava koncepcija distribucijske mreže temeljila se upravo na smanjenju pada napona duž mreže na svim naponskim razinama. Čak su i nazivni prijenosni omjeri energetske transformatora kreirani s tim ciljem (npr. sekundarni napon nije 10 kV ili 20 kV, nego 10,5 kV ili 21 kV). Pad napona duž voda kompenzirao se fiksnom ručnom naponskom regulacijom na energetskim transformatorima (slike 3 i 4).



Slika 3: Najviša podešenja fiksne regulacije napona za malo opterećenu mrežu bez elektrana



Slika 4: Zagašenje mreže zbog velikog opterećenja u mreži bez elektrana



Slika 5: Zagašenje mreže zbog distribuiranih izvora

Zbog postojanja elektrana u mreži u slučaju porasta potrošnje ne može se koristiti uobičajeno podizanje sekundarnog napona transformacije promjenom položaja preklopke fiksne naponske regulacije niti u transformatorima SN/SN niti SN/NN, jer bi svako podizanje napona onemogućilo rad elektrana kojima bi na sučelju napon bio iznad 110% U_n . Ilustrativan primjer je mreža sa sunčanim elektranama,

koje u podne sunčanog dana podižu napon na 110% U_n , dok na tom istom mjestu u mreži, u kasnovečernjim satima, kada je maksimum potrošnje dok nema proizvodnje iz sunca, napon pada na 90% U_n .

Aktualna situacija od sredine 2014. godine u čitavoj Slavoniji, te u pojedinim dijelovima mreže u drugim distribucijskim područjima je takva da se na distribucijsku mrežu (a pogotovo na SN) uopće više ne mogu priključivati nove elektrane (elektrane postaju neisplativa investicija zbog prevelikih troškova priključenja zbog golemih troškova stvaranja uvjeta u mreži npr. prelaskom dijela nepripremljene mreže 10 kV na 20 kV naponsku razinu) ako se ne prihvati sasvim novo (do tada neprimjenjivano u distribucijskoj mreži) stvaranje uvjeta u mreži uvođenjem automatske regulacije napona u transformaciji 35/10 kV kao moguće tehničko rješenje stvaranja uvjeta u mreži.

Nadalje, zbog stalnog pada potrošnje u mreži zbog trendova na koje operator ne može utjecati, operator bez uvođenja automatske regulacije napona u transformaciji 35/10 kV kao mogućeg tehničkog rješenja sanacije naponskih prilika neće moći osigurati preuzimanje sve proizvedene energije ni iz već priključenih elektrana (koje još imaju i status povlaštenog proizvođača) u slučaju smanjenja konzuma u okolnoj mreži, koje je u mnogim dijelovima mreže sve prisutnije (i to ne samo zbog odumiranja ruralnih naselja, nego i zbog gašenja privrede zbog aktualne recesije, štednje energije, učinkovitog zgradarstva, masovnog iseljavanja iz ekonomskih razloga i sl.).

3. KRITERIJI ZA UVOĐENJE AUTOMATSKE REGULACIJE NAPONA U TRANSFORMACIJU SN/SN

Osnovni kriterij za uvođenje automatske regulacije napona (ARN) u transformaciju 35/10 kV ili 35/10 kV je zagušenje maksimalno pojačane mreže u kombinaciji s neprihvatljivošću/neoptimalnošću drugih tehničkih rješenja za saniranje zagušenosti mreže. Moguća druga rješenja su:

- prelazak mreže 10 kV na 20 kV (u slučaju da ne postoji interes HEP-ODS-a za ove zahvate (npr. mreža u odumiranju, u mreži mnogo „tuđih“ TS 10/0,4 kV, mnogo dugih kabelskih dionica km 10 kV koje bi trebalo zamijeniti kabelima 20 kV, mreža nepripremljena za prijelaz na 20 kV, nužne brojne međutransformacije zbog održavanja zatečene raspoloživosti redundantnih smjerova napajanja važnih kupaca zbog čega su troškovi i potrebno vrijeme neprimjereni priključenju korisnika mreže),
- interpolacija nove pojne TS 35/10(20) kV u 35 kV mrežu (u suprotnosti sa strategijom napuštanja 35 kV napona, postojeća TS 35/10 kV nije preopterećena, lokacija nove TS niti trase 35 kV interpolacije nisu predviđeni prostornim planovima, troškovi i potrebno vrijeme neprimjereni priključenju jednog korisnika mreže)
- izgradnja pojne TS 110/10(20) kV (umjesto postojeće TS 35/10 kV) (vremenski i financijski prezahtjevno kao uvjet za priključenje jedne elektrane na distribucijsku mrežu, neopravdano u slučaju dostatne zalihnosti u transformaciji u postojećoj TS 35/10 kV, nije predviđena niti u prostornim planovima niti u planovima investicija operatora (HOPS-a, HEP-ODS-a).

Uvođenje ARN u transformaciju SN/SN smatra se opravdanim ako se složenom analizom mreže, elaboratom optimalnog tehničkog rješenja priključenja (EOTRP) jednoznačno utvrdi da je uvođenje ARN optimalno tehničko rješenje stvaranja uvjeta u mreži nužnih za priključenje promatranog korisnika mreže. EOTRP se smatra mjerodavnim jer on analizira optimalnost i drugih realno mogućih tehničkih rješenja priključka i stvaranja uvjeta u mreži koje međusobno uspoređuje po unaprijed zadanim kriterijima optimalnosti.

Sretna je okolnost da ne postoji nijedna prepreka u važećim zakonima, propisima ili normama koja bi onemogućavala primjenu ovog tehničkog rješenja (ARN) u distribucijskoj mreži.

4. UVOĐENJE AUTOMATSKE REGULACIJE NAPONA U TRANSFORMACIJU SN/SN

Redovito u TS 35/10 kV postoje dva energetska transformatora 35/10 kV. Nezavisno rade li oni uobičajeno u paraleli ili ne, u slučaju uvođenja automatske regulacije napona ona se uvodi na oba transformatora u cilju očuvanja stečenih prava postojećih korisnika mreže. Da bi transformatori radili u paraleli oba moraju imati ARN (tj. ne može jedan raditi s fiksnom (ručnom) a drugi s automatskom regulacijom). Nadalje, čak i ako paralelni rad nije očekivan, moguće je u slučaju neraspodjivosti jednog transformatora čitav konzum TS napajati preko drugog transformatora. Ukoliko taj drugi nema ARN, on

ne može napajati konzumno područje prvog, čak i ako s aspekta opteretivosti to može, jer bez ARN neće biti u mogućnosti održati naponske okolnosti u trafopodručju unutar propisanih granica.

Dakle, kada se donese odluka o uvođenju ARN, ARN se uvijek istodobno uvodi na sve transformatore 35/10 kV u jednoj TS 35/10 kV.

U slučaju postojanja prijelaznog rješenja: TS 35/10(20) kV, s transformacijom 35/10 kV i 35/20 kV i međutransformacijom 10/20 kV, ARN se uvijek uvodi na transformatore iste primarne naponske razine, a nikada u međutransformaciju. Međutransformacija u načelu treba uvijek biti neutralana (izravno prenositi primarni na sekundarni napon (npr. 10/20 kV (ne 10/21 kV)), te bi se u tom slučaju ARN uvela na transformator 35/10 kV i na transformator 35/20 kV.

U slučaju da se korisnika (elektranu) priključuje na dio mreže koji ima redundantni smjer napajanja iz neke druge pojne TS 35/10 kV (koja nema ARN), tj. postojeći korisnici u mreži su imali prije priključenja razmatrane elektrane ispunjen kriterij n-1, u načelu se u drugu pojnu TS ne ugrađuje ARN. U svim dosadašnjim takvim slučajevima proračuni su pokazali da su pri napajanju iz redundantnog smjera na sučelju elektrane s mrežom naponske okolnosti bile izvan propisanih, te se tada elektrana na poticaj svoje pod/nadnaponske zaštite sigurnosno odvojila od mreže, nakon čega su se okolnosti u mreži stabilizirale na uvjete prije priključenja elektrane, što je prihvatljivo stanje.

Naime, operator nema obvezu osiguravanja kriterija n-1 u distribucijskoj mreži [2], te stoga zahvate na stvaranju uvjeta u mreži za osiguravanje ovog kriterija ne smije definirati kao uvjet za priključenje korisniku mreže niti naplatiti kroz naknadu za priključenje [3]. Nadalje, ni operatoru nije u interesu blokirati svoje resurse u redundantnom pravcu napajanja za korisnika koji će taj pravac koristiti samo i isključivo u slučaju kvara elementa mreže u osnovnom smjeru napajanja, jer bi to značilo da bi operator morao graditi i održavati dvostruko veću mrežu od one za koju može koristiti u normalnom pogonu, odnosno morao bi imati mrežu prekapacitiranu 100%, na koju ne bi mogao priključivati nove korisnike, što je i neisplativo i neizvodivo i neopravdano.

U slučaju da neki specijalno važni korisnik mreže zatraži dodatno osiguravanje kriterija n-1, tada mu se to posebno naplaćuje po stvarnim troškovima, i tada je operator uistinu obavezan „čuvati“ prijenosnu moć (unutar odobrene priključne snage korisnika mreže) u redundantnom smjeru napajanja upravo za tog korisnika mreže. Međutim, ni tada takva mreža, taj „mrtvi kapital“ nije sretno rješenje za operatora. Osiguravanje kriterija n-1 korisnicima mreže ima smisla tretirati kao obvezu operatora samo u uzamčenim mrežama (pogon u petlji), što distribucijska mreža nije.

5. AUTOMATSKA REGULACIJA NAPONA U TRANSFORMACIJI SN/SN U KONTEKSTU DUGOROČNOG RAZVOJA MREŽE

Budući da su svi razmatrani transformatori 35/10 kV s fiksnom regulacijom u distribucijskoj mreži HEP-ODS-a proizvođača Končar (DIST), mora se uvažiti da takvim transformatorima nije moguće dograditi ARN. Naime, preklopka ARN bi se trebala ugraditi unutar kućišta (kotla) transformatora, no u postojećim transformatorima s fiksnom regulacijom tamo nema dovoljno prostora.

Stoga je prilikom uvođenja ARN potrebno zamijeniti postojeći transformator s ručnom regulacijom novim transformatorom s ARN.

Kada se već mora nabavljati novi transformator, onda se odabire prorazvojna koncepcija: ugrađuju se transformatori koji su i primarno i sekundarno prespojivi na 20 kV, dakle, 35(20)/10(20) kV.

U slučaju da se u budućnosti, zbog ukidanja 35 kV napona, TS 35/10 kV pretvori u rasklopište 20 kV (ako je okolna 35 kV mreža prešla na 20 kV), tada će, zbog slabljenja mreže („padanja“ s 35 kV na 20 kV) promjena napona (Δu) duž voda biti osjetno veća. Naime, za prijenos iste snage struja morati biti 1,75 puta veća (pri prelasku s 35 kV na 20 kV), pa će i promjena napona biti za toliko veća (ako je na 35 kV pad napona duž voda bio 10%, nakon prelaska na 20 kV bit će 17,5%). U takvoj situaciji od posebne važnosti bit će ARN koja će tada služiti kao uzdužna regulacija 20/20 kV, čime se može djelotvorno stabilizirati sekundarni napon unatoč nestabilnijem naponskom profilu na dolaznom vodu.

Ova mogućnost izravno će smanjiti/prolongirati potrebu za zamjenom svake TS 35/10 kV novom TS 110/20 kV po kriteriju održanja napona unutar granica u procesu prelaska na 20 kV i na izravnu transformaciju 110/20 kV.

Ako se, međutim, zbog ukidanja 35 kV napona, TS 35/10 kV pretvori u TS 110/20 kV, zasigurno će njoj susjedna TS 35/10 kV postati rasklopište 20 kV (po kriteriju da pri prelasku na izravnu

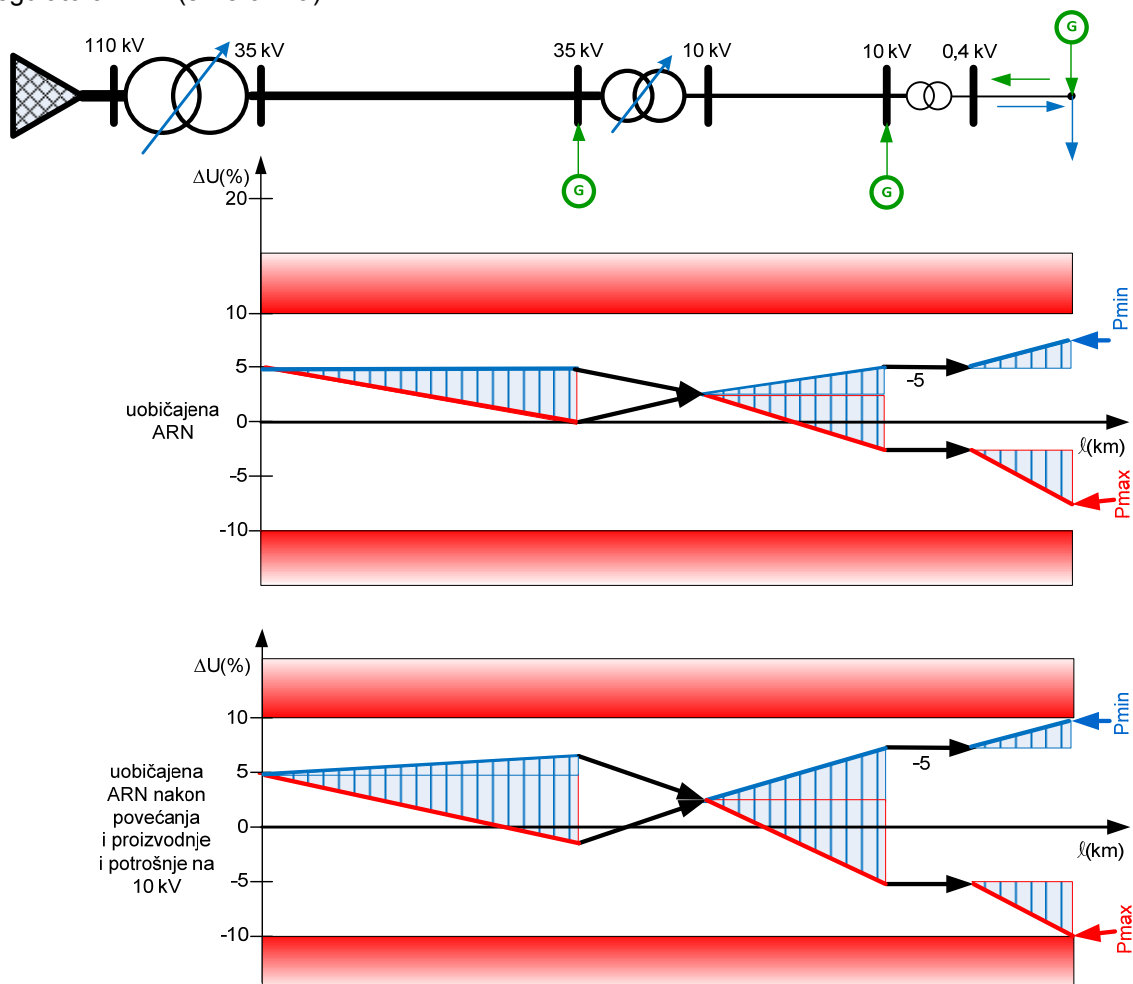
transformaciju 110/20 kV nije isplativo svaku TS 35/10 kV zamijeniti izravnom transformacijom). U tom bi se slučaju transformacija s ARN preselila u jednu od okolnih TS 35/10 kV koje bi postale „satelitsko“ rasklopište 20 kV s funkcijom „produženih 20 kV sabirnica“ pojne TS 110/20 kV s ciljem iznošenja energije iz pojne TS 110/20 u dubinu SN mreže sa što stabilnijim naponskim profilom. Dakle, opet će transformacija 35(20)/10(20) s ARN biti potrebna, čak i kada bi se u potpunosti prešlo na izravnu transformaciju.

Dakle, što god sada ulagali u transformaciju 35/10 kV s ARN, bit će dugoročno iskoristivo u distribucijskoj mreži, čak i ako se kao nazivni naponi ukinu i primarni i sekundarni napon ovih transformacija (kada se ukinu i 35 kV i 10 kV). Važno je napomenuti da je porast cijene ovih transformatora zbog obostrane prespojivosti zanemariv.

6. VRSTE AUTOMATSKE REGULACIJE NAPONA

6.1. „Uobičajena“ automatska regulacija napona

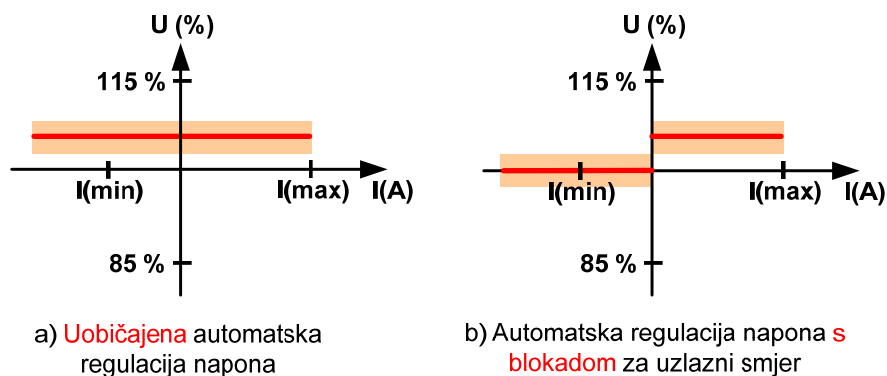
Prva asocijacija na ARN je fiksiran sekundarni napon na podešenu vrijednost, nezavisno o promjeni iznosa primarnog napona na transformatoru. To bi se moglo nazvati „uobičajena“ krivulja regulatora ARN (slike 6 i 7a).



Slika 6: Djelovanje „uobičajene“ automatske regulacije napona u TS 35/10 kV

Budući da regulator ima mogućnost regulacije $\pm 15\%$ U_n (po 10 položaja u svakom smjeru, svaki s pomakom 1,5 %) intuitivno se zaključuje da bi takav regulator mogao držati pod kontrolom sve fluktuacije primarnog napona i održati sekundarni napon fiksним (slika 6).

To ona uistinu i može, no, upitno je je li to uistinu i najbolje što ARN može pružiti na transformaciji u dubini distribucijske mreže.



Slika 7: Krivulje regulatora strujno nezavisne automatske regulacije napona

Naime, unatoč fiksiranju napona na sekundaru, u slučaju velikih razlika između opterećenja mreže u minimumu i u maksimumu u trafopodručju regulirane TS napon može doseći ekstremne vrijednosti.

6.2. Automatska regulacija napona s blokadom za uzlazni smjer

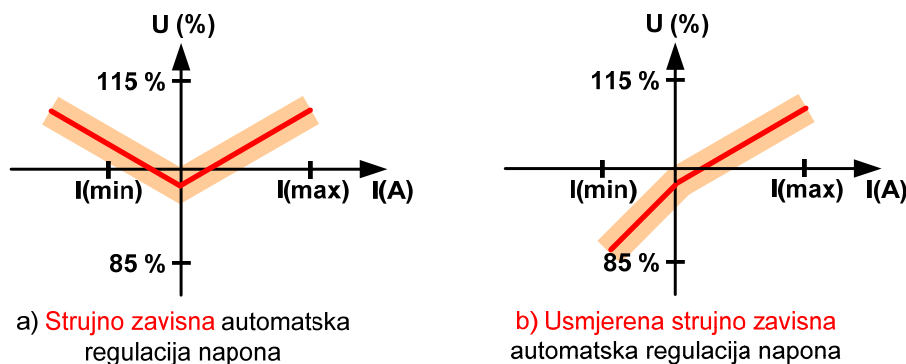
U slučaju da dolazi do promjene smjera energije kroz transformaciju s ARN (proizvodnja energije u trafopodručju veća je od istodobne potrošnje energije u trafopodručju – dakle, u dubini trafopodručja napon je nedvojbeno viši nego na sekundaru transformacije), temeljem složene analize mreže (elaborat regulacije napona) može se pokazati da je u nekim slučajevima (transformacijama) u slučaju promjene smjera energije u uzlazni smjer (prema višoj naponskoj razini) optimalno blokirati automatsku regulaciju „zamrzavajući“ prijenosni odnos npr. u srednjem (neutralnom) položaju regulatora, tj. na nazivnom prijenosnom omjeru (slika 7b). Međutim, obično to nije najbolje što ARN može pružiti na toj transformaciji.

6.3. Strujno zavisna automatska regulacija napona

U slučaju da se opterećenje transformacije znatno mijenja (tijekom dana, tjedna i sl.), te je u zavisnosti o opterećenju transformacije nužno drugačije podešenje automatske naponske regulacije nužno je uvesti strujno zavisnu ARN u transformaciji. To je prihvatljivo samo ako svi izvodi u trafopodručju imaju približno isti trend zavisnosti napona o opterećenju. Krivulja podešenja ovog regulatora (I/U) (slika 8a), ili (P/U , ovisno o regulatoru) rezultat je složene analize mreže, tj. analize strujno-naponskih okolnosti u čitavom trafopodručju (elaborat strujno zavisne automatske regulacije napona).

Ovim tehničkim rješenjem distribucijska mreža uvodi višu razinu složenosti upravljanja čak i od prijenosne mreže (prijenosna mreža, upravo zato što nije radialna, ima znatno stabilniji naponski profil na prijenosnim naponskim razinama, pa joj ovako osjetljiva regulacija nije potrebna).

Do sada ovo rješenje nije primijenjeno u praksi u distribuciji u transformaciji SN/SN. U primjeni je na dvije transformacije 110/35 kV, od kojih jedna trenutno nema značajnih elektrana u trafopodručju, dok su drugoj transformaciji u trafopodručju u tijeku postupci priključenja značajnih elektrana koje će (elektrane) u konačnici dovesti i do promjena smjera energije u transformaciji, u kojem slučaju strujno zavisna automatska regulacija napona može prouzročiti više štete nego koristi.



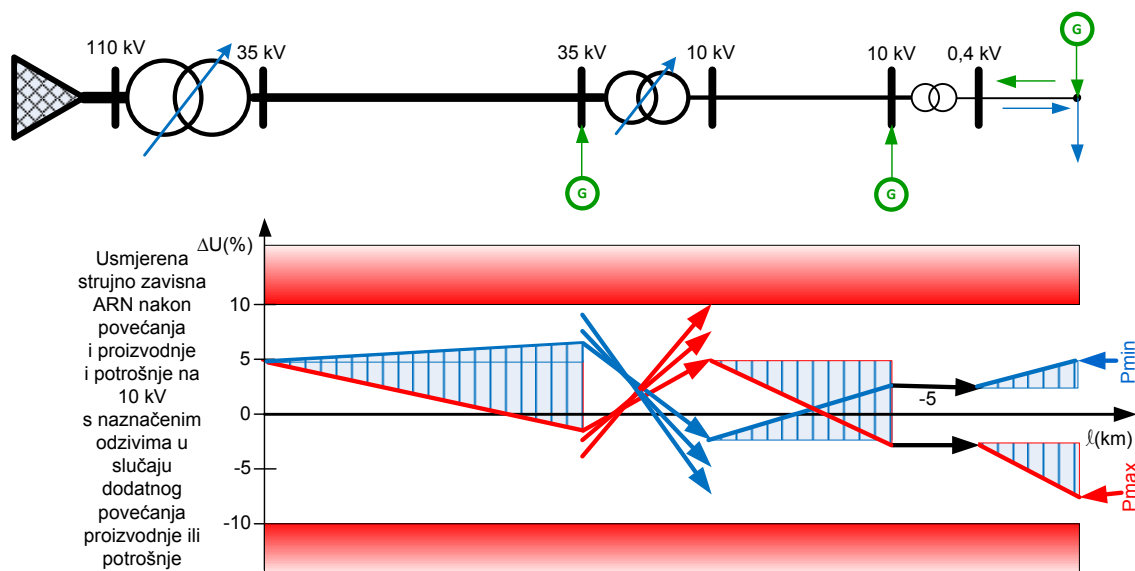
Slika 8: Krivulje regulatora strujno zavisne automatske regulacije napona

Budući da strujno zavisna ARN u načelu ne prepoznaje smjer energije, ovakva regulacija može biti izvor problema u slučaju promjene smjera energije u uzlazni smjer kroz reguliranu transformaciju – strujno zavisni automatski regulator će se, naime, jednako ponašati u slučaju porasta opterećenja transformacije, nezavisno o smjeru energije (slika 8a), što znači da će dodatno dizati napon trafopodručja i u slučaju hiperproizvodnje (proizvodnja u trafopodručju veća je od istodobne potrošnje u trafopodručju) – energija ima uzlazni tijek kroz transformaciju, kao i u slučaju hipoproizvodnje (proizvodnja u trafopodručju manja je od istodobne potrošnje u trafopodručju) – energija ima uobičajeni silazni tijek kroz transformaciju.

Ovo stanje (podizanje sekundarnog napona u slučaju hiperproizvodnje trafopodručja) je iznimno opasno jer dodatno diže napon trafopodručja kojem su u dubini mreže evidentno naponi viši nego na sekundaru reguliranog transformatora zbog dominantnog utjecaja proizvodnje.

6.4. Usmjerena strujno zavisna automatska regulacija napona

U slučaju uzlaznog tijeka energije kroz transformaciju mora se ugraditi usmjerena strujno zavisna automatska regulacija napona. Time se postiže osjetljivost strujno zavisne ARN o smjeru energije. U tom slučaju podešenja ovise ne samo o iznosu opterećenja transformacije, nego i o smjeru energije kroz transformator (slika 8b i 9). Već u slijedećih godinu dana, u fazi realizacije priključenja elektrana u trafopodručju čiji transformator već ima aktivnu strujno zavisnu automatsku regulaciju napona u TS 110/35 kV, operatoru predstoji suočiti se s izazovima definiranja protokola, opsega i načina prikupljanja nužnih podataka i izrade iznimno složene i sveobuhvatne analize mreže čitavog trafopodručja 110/35 kV – elaborata strujno zavisne automatske regulacije napona.



Slika 9: Djelovanje usmjerene strujno zavisne automatske regulacije napona u TS 35/10 kV

Do kraja 2015. godine izdano je (u skladu s izrađenim Elaboratima optimalnog tehničkog rješenja priključenja) 15 prethodnih elektroenergetskih suglasnosti (PEES) u kojima se uvjetuje ARN u 17 postojećih TS 35/10 kV (dakle, 34 transformatora). Od toga je po 5 PEES već u tijeku realizacija priključenja (zahvati u 7 TS, ukupno 14 transformatora 35/10 kV). Ilustracije radi, prva PEES ikad u kojoj se uvjetuje ARN u distribucijskoj mreži izdana je nedavno – u veljači 2015.

6.5. Odabir vrste automatske regulacije napona

Na pitanje koju vrstu automatske regulacije odabrati, odgovor je najpametniji, dakle, usmjerenu strujno zavisnu ARN. Usporedbom djelovanja najjednostavnije (slika 7) i najsloženije ARN (slika 9) jasno je da je usmjerena strujno zavisna ARN znatno djelotvornija, učinkovitije stabilizira napon (napon u trafopodručju bitno manje fluktuiraju), čime se povećava zalihnost u mreži i omogućava priključenje više (u smislu priključne snage) novih korisnika mreže. Ovakvo povećanje zalihnosti u mreži bez ijednog zahvata u opremi u mreži (npr. bez povećanja presjeka vodova, prelaska na 20 kV i sl.), samo promjenom krivulje regulatora, veličanstvena je mogućnost koji svakako treba koristiti.

Zašto odmah odabrati najsloženiju vrstu ARN? Zato što se okolnosti u mreži kojima je uvjetovana nužna razina složenosti ARN mogu promijeniti doslovno preko noći. Dovoljno je, primjerice, da neki dominantni kupac obustavi potrošnju (npr. stečaj), pa da se smjer energije promijeni iz silaznog u uzlazni iako u konfiguraciji mreže nije bilo izmjena, niti se priključio ijedan novi korisnik.

Sretna je okolnost da i najsloženiji regulator može imati „uobičajenu“ krivulju regulacije, pa ako u početku slučajno i ona zadovoljava, moguće je krenuti prvo s jednostavnom krivuljom regulacije, pa, sukladno usložnjavanju okolnosti u mreži, usložnjavati i krivulje regulatora. Jedan regulator može imati do sedam nezavisnih krivulja, a osim definiranja svake od njih, treba definirati i „okidače“ za prijelaz s jedne na drugu krivulju (npr. prag vrijednosti mjerenih veličina na mjestu regulacije, ili mjerenih u dubini mreže, s kontrolnih točaka – u tom je slučaju nalog za prelazak na drugu krivulju regulatora daljinski nalog iz SCADA sustava operatora).

Ipak, i ovo tehničko rješenje (usmjerena strujno zavisna ARN) ima svoja ograničenja: u slučaju različitih karaktera naponskih profila pojedinih izvoda (vodova 10 kV) ARN je vrlo ograničena: Ako u jednom trafopodručju 35/10 kV postoje i vodovi 10 kV u kojima su naponi previsoki (i uzlazni prema kraju voda) zbog dominantnog utjecaja elektrana, i vodovi 10 kV u kojima su naponi preniski (i silazni prema kraju voda) zbog dominantnog utjecaja potrošnje (npr. nema priključenih elektrana), gotovo je nemoguće pronaći krivulju ARN koja će zadovoljiti oba ekstrema. Jedno od rješenja za takvu situaciju je i uzdužna ARN (na vodu), ali u tom slučaju ARN (uzdužna) je jedan od skupljih mehanizama stvaranja uvjeta u mreži, jer u tom slučaju treba izgraditi sasvim novo postrojenje s uzdužnom transformacijom s ARN na mjestu u mreži gdje ono nije do tada postojalo, a regulacija napona je lokalizirana na samo jedan izvod 10 kV. Iako se iz današnje perspektive ovo čini dvojbeno isplativim, kada se iscrpe druge, jednostavnije opcije stvaranja uvjeta u mreži, vjerojatno će se i ovaj pristup činiti isplativim.

7. ODREĐIVANJE PODEŠENJA REGULATORA

Određivanje optimalnog podešenja regulatora nesumnjivo je najizazovniji dio u čitavom postupku uvođenja ARN. Stoga se uvodi Elaborat regulacije napona (ERN) kao složena analiza mreže čitavog trafopodručja. Cilj elaborata je prepoznati korelaciju između reguliranog napona i napona na kontrolnoj točki/točkama. U tu svrhu nastoji se pronaći poveznica s kojom su oba parametra u jednoznačnoj zavisnoj vezi. Uobičajeno je poveznica opterećenje, te se krivulja regulatora izražava kao funkcija napona kojeg regulira ARN u ovisnosti o mjerenoj veličini (struji ili snazi) u reguliranoj TS. Zatim se traži korelacija između napona u kontrolnoj točki i mjerene veličine (struje ili snage) u reguliranoj TS. Napon u kontrolnoj točki mjerodavan je za definiranje krivulje regulatora, jer se krivulja definira po kriteriju da napon u kontrolnoj točki mora biti unutar propisanog raspona. Mjerena veličina (struja ili snaga) u reguliranoj TS može biti opterećenje transformatora ili opterećenje (usmjereno!) pojedinog 10 kV izvoda, ili neka formula temeljena na više mjerenih veličina (npr. proizvodnja na pragu dominantne elektrane).

Analiza mreže u ERN se provodi uvažavajući čitav raspon promjene mjerene veličine (struje ili snage) u reguliranoj TS u normalnom pogonu pri normalnom uklopnom stanju mreže, uvažavajući da je jedan ekstrem maksimum potrošnje bez proizvodnje iz elektrana, a drugi maksimum proizvodnje u istodobnom minimumu potrošnje. Ukoliko se čitav raspon ne može obuhvatiti jednom krivuljom, definira se prag („okidač“) za prelazak s jedne na slijedeću krivulju regulatora.

Kompetentna odluka o optimalnom podešenju ARN finalni je proizvod ERN, a sadrži krivulje regulatora, odabir mjerene veličine u reguliranoj TS (i/ili u mreži), kao i mjesto njene (njenih, ako ih je više) akvizicije, logička shema regulatora (funkcije međuzavisnosti reguliranih i mjerenih veličina, s pragovima za prijelaz s jedne na drugu krivulju regulatora), popis kontrolnih točaka, kao i dopušteni rasponi napona u kontrolnim točkama i logičke sheme kontrolnih postupaka provjere/potvrde djelotvornosti definiranih podešenja. Kontrolne točke dakako moraju biti u SDV-u.

8. OPREMA NUŽNA ZA UVOĐENJE AUTOMATSKE REGULACIJE NAPONA

Osim već opisane nužne zamjene transformatora bez ARN novim energetske transformatorom s ugrađenim regulatorom (ARN), potrebni su naponski (NMT) za mjerenje najmanje jednog faznog napona na sekundaru transformacije i strujni mjerni transformatori (SMT) (dovoljan je SMT samo u jednoj fazi) i dodatna oprema: mjerni pretvarač, te po potrebi mjerni senzor. Za mjerenje opterećenja koristi se mjerni, jednofazni dvosmjerni pretvarač aktivne snage sa izlaznom veličinom -20...0....+20 mA DC koji se spaja direktno na regulator. Pretvarač se spaja na strujni mjerni transformator (poželjno mjerna jezgra klase 1, FS5. U nedostatku mjerne jezgre može se koristiti zaštitna jezgra 5P10 ili 10P10) preko mjernog senzora.

Potrošnja mjernog senzora je zanemariva pa ne može utjecati na kvalitetu mjerenja postojećih uređaja spojenih na istu mjernu/zaštitnu jezgru. Naponska mjerna grana pretvarača se spaja na mjerni naponski transformator ili u spoju L1-N ili u spoju L1-L2.

Regulator (statusi položaja preklopke, akvizirane mjerene veličine mjerodavne za rad/provjeru rada regulatora), kao i kontrolne točke (mjerene vrijednosti, alarmi ako mjerene vrijednosti izađu iz propisanog raspona) trebaju biti u SDV-u, te je potrebno predvidjeti i odgovarajuću sekundarnu opremu, kao i komunikacijski put iz udaljenih kontrolnih točaka do DUC-a i regulatora. Također je potrebno predvidjeti mogućnost daljinskog upravljanja regulatorom, u slučaju da je u izvanrednim okolnostima više sile (havarije u mreži, prirodne katastrofe, terorizam) potrebno preuzeti daljinsku kontrolu nad podešenjima regulatora (uz nužne sigurnosne mjere) .

9. ZAKLJUČAK

„Elastičnost“ distribucijske mreže za dvojnou funkciju: i distribucije i akvizicije energije, tek se treba postići. U tom procesu operator uvodi automatsku regulaciju kao jedan od rijetkih prokušanih mehanizama kojem ne treba dodatno preispitivanje.

Uvođenje automatske regulacije napona u transformaciji 35/10 kV predstavlja velik iskorak za operatora, ali prednosti koje ovaj korak donosi (tamo gdje se pokaže da je to optimalno tehničko rješenje) su brojne, kako za mrežu, tako i za postojeće korisnike mreže, a posebice za korisnika mreže kojem je ARN najpovoljniji uvjet priključenja.

ARN na transformaciji SN/SN je djelotvoran mehanizam kojim se odgađaju drugi složeniji zahvati stvaranja uvjeta u mreži, uz preduvjet da svi izvodi s reguliranih sabirnica imaju podjednak naponski profil voda.

Uvođenje automatske regulacije napona u distribucijsku mrežu traži profiliranje specifičnog profila inženjera koji će suvereno vladati znanjima kojima su do sada raspolagali samo multidisciplinarni timovi: planiranje i razvoj distribucijske mreže, složena analiza mreže, planiranje opterećenja, vođenje distribucijskog sustava s aktivnim upravljanjem sustavom, automatika, telekomunikacije, programiranje.

Ovo je, na izvjestan način, uvođenje automatike u dubinu distribucijske mreže, čime počinje era transformacije distribucijske mreže u naprednu mrežu (smart grids). Iako je sveobuhvatna primjena automatike u dubini distribucijske mreže još uvijek daleka budućnost, ne može se negirati činjenica da je intenzivnija integracija distribuiranih izvora (koja je aktivno počela 2010. godine) već u prvih pet godina dovela mrežu u stanje da ne može funkcionirati bez implementacije tehnologija koje karakteriziraju napredne mreže.

Uvođenje novih tehnoloških rješenja je preduvjet opstanka distribucijske mreže, posebice u kontekstu sve veće stope integracije distribuiranih izvora, kao i činjenice da je jednoznačnom podjelom nadležnosti između dva operatora (HOPS/HEP-ODS) HEP-ODS dobio važnu odgovornost suverenog vođenja stabilnog pogona distribucijskog sustava s distribuiranim izvorima. U tom kontekstu su točkasta rješenja uvođenja automatike u distribucijski sustav nužna kao prvo/prijelazno rješenje do uvođenja automatskog upravljanja čitavom SN distribucijskom mrežom.

10. LITERATURA

- [1] Opći uvjeti za opskrbu električnom energijom (NN, br. 14/06)
- [2] Mrežna pravila elektroenergetskog sustava (NN, br. 36/06)
- [3] Pravilnik o naknadi za priključenje na elektroenergetsku mrežu i za povećanje priključne snage (NN, br. 28/06)
- [4] a-eberle: „Auszug aus der Bedienungsanleitung Spannungsregler REG-D Stand 03.04.2014“
- [5] a-eberle: „ECL – Energy Control Language allgemeine Interpreter-Befehle Stand: 23.Aug.2001“
- [6] Konrad Böhm, „Readme Background-program SSE Standard v5_Test.rgl“, a-eberle, 2015/08/11
- [7] LUMEL, „TRANSDUCER OF NETWORK PARAMETERS P41 TYPE, quick start manual“
- [8] 7COM ltd, „CURRENT SENSOR CS115L“
- [9] „ERRATA P41-G137 mini power clamp“