

Ante Višić
HEP ODS
ante.visic@hep.hr

Krešimir Vlahov
HEP ODS
kresimir.vlahov@hep.hr

Renato Ćućić
HEP ODS
renato.cucic@hep.hr

Ivan Dundović
HEP ODS
ivan.dundovic@hep.hr

UVOĐENJE UREĐAJA ZA POBOLJŠANJE NAPONSKIH PRILIKA U NISKONAPONSKIM MREŽAMA

SAŽETAK

Povećana potražnja snage, te velika duljina niskonaponskih izvoda rezultira padom napona duž voda. Najveći pad je na kraju voda gdje napon može pasti ispod propisanih vrijednosti. Jedno od mogućih rješenja ovog problema je uvođenje regulatora napona, odnosno uređaja za poboljšanje naponskih prilika na niskonaponskim izvodima. Opisane su vrste uređaja za poboljšanje naponskih prilika na niskonaponskim izvodima, te njihov način rada. Prikazan je postupak odabira mjesta za ugradnju uređaja za poboljšanje naponskih prilika u mreži. Analiziran je učinak ugradnje uređaja u mrežu na druge parametre kvalitete električne energije pored napona. Navedene su lokacije na kojima su ugrađeni uređaji za poboljšanje naponskih prilika u niskonaponskim mrežama, lokacije na kojima je ugradnja u planu, te tipovi uređaja koji su ugrađeni. Pružen je osvrt na utjecaj kvalitete električne energije nakon ugradnje uređaja u mrežu.

Ključne riječi: regulator napona, stabilizator napona, korektor napona, niskonaponska mreža, kvaliteta električne energije

IMPLEMENTATION OF VOLTAGE CORRECTING DEVICES IN LOW VOLTAGE POWER GRIDS

SUMMARY

Increased power demand and a large length of low voltage power lines results in a voltage drop across power line. The biggest drop is at the end of power line where voltage can drop below prescribed values. One of the possible solutions to this problem is introduction of voltage regulators, or other devices for improving the voltage on low voltage power lines. Types of devices for improving the voltage on low voltage power lines and the way they work is described. The procedure for determining location for installation of device for improving the voltage in power grid is shown. The effect of installing the device in power grid on other parameters of the power quality, in addition to the voltage, has been analyzed. The locations where devices for improving the voltage in power grid are implemented or are planned for implementation and types of devices are given. An overview of the influence on quality of electric energy after the device has been installed in power grid has been provided.

Key words: voltage regulator, voltage stabilizer, voltage corrector, low voltage power grid, electric energy quality

1. UVOD

Električna energija je danas najrašireniji i najuporabljiviji oblik energije. Svakim danom raste potrošnja, a s njom ujedno i broj potrošača, tj. uređaja koji koriste električnu energiju. Takav trend se može vidjeti i kroz povijest. S vremenom su uređaji postajali sve složeniji i njihovo djelovanje je postalo nelinearno, a s druge strane, sve su osjetljiviji na naponske prilike. Kako se broj takvih uređaja povećavao logično se nametnula potreba za garancijom kvalitete električne energije.

Električna energija se danas tretira kao roba. Kvaliteta isporučene energije je strogo definirana prema Uvjetima kvalitete opskrbe električnom energijom (NN 37/2017) koje je propisala Hrvatska energetska regulatorna agencija (HERA). Parametri kvalitete električne energije definirani su prema normi HRN EN 50160:2012 i to su:

- frekvencija napona
- kolebanje napona
- flikeri
- nesimetrija napona
- naponi harmonika
- signalni naponi

Životni vijek opreme u niskonaponskoj mreži je 40 i više godina. Za taj vremenski period je jako teško predvidjeti razvoj mreže i broj kupaca, te sam konzum. Povećana potražnja snage rezultira padom napona duž voda, tako se može dogoditi da i u kraćim dionicama (manjim od 800 m) napon padne ispod minimalne vrijednosti definirane normom HRN EN 50160:2012. Zbog geografskih specifičnosti pojedinih dijelova Hrvatske, nerijetko dužina vodova višestruko premašuje spomenutih 800 m. Zbog pada napona duž voda, krajnji korisnici imaju vrlo nizak napon što može skratiti životni vijek kućanskih aparata ili dovesti do njihovog kvara.

Neka od rješenja su produženje sredjenaponskih vodova, te izgradnja dodatne transformatorske stanice, transformacija napona 0,4 / 0,9 / 0,4 kV, povećanje presjeka vodiča, te u novije vrijeme ugradnja uređaja za poboljšanje naponskih prilika. Ugradnja uređaja za poboljšanje naponskih prilika učinkovito je rješenje zbog minimalnih zahvata na mreži, mogućnosti preseljenja pojedine jedinice i brzine rješenja problema.

2. VRSTE I PRINCIP RADA UREĐAJA ZA POBOLJŠANJE NAPONSKIH PRILIKA

Iako postoji više definicija tipova uređaja za poboljšanje naponskih prilika u niskonaponskim mrežama, unutar HEP – ODS-a podjela se vrši na:

- stabilizatore napona
- regulatore napona
- korektore napona

Na razini HEP - ODS-a, navedeni uređaji definirani su u sljedećim poglavljima.

2.1. Stabilizatori napona

Stabilizatori napona služe za stabiliziranje sniženog napona, tj. imaju mogućnost podizanja napona.

Stabilizator napona sastoji se od autotransformatora, kontrolne prigušnice i regulacijskog sklopa koji nije prikazan na nadomjesnoj shemi (slika 1). Serijski namot autotransformatora S spojen je na ulaznu točku L_{ul} i izlaznu točku L_{iz} . Paralelni namot P spojen je na ulaznu točku L_{ul} , te u seriju s kontrolnom prigušnicom koja se nalazi u poprečnoj grani [1].

Izvedba stabilizatora napona koji su tema ovog rada ima dodatnu kontrolnu prigušnicu pomoću koje se regulira izlazni napon. Napon se regulira promjenom induktiviteta kontrolne prigušnice. Takva konstrukcija nema pomičnih dijelova, što omogućava brz odziv od oko 200 ms. Induktivitet kontrolne prigušnice dan je pojednostavljenim izrazom (1):

$$L = N^2 \cdot \mu_0 \cdot \mu_r \cdot \frac{A}{l} \text{ [H]} \quad (1)$$

gdje je:

L - induktivitet prigušnice [H]

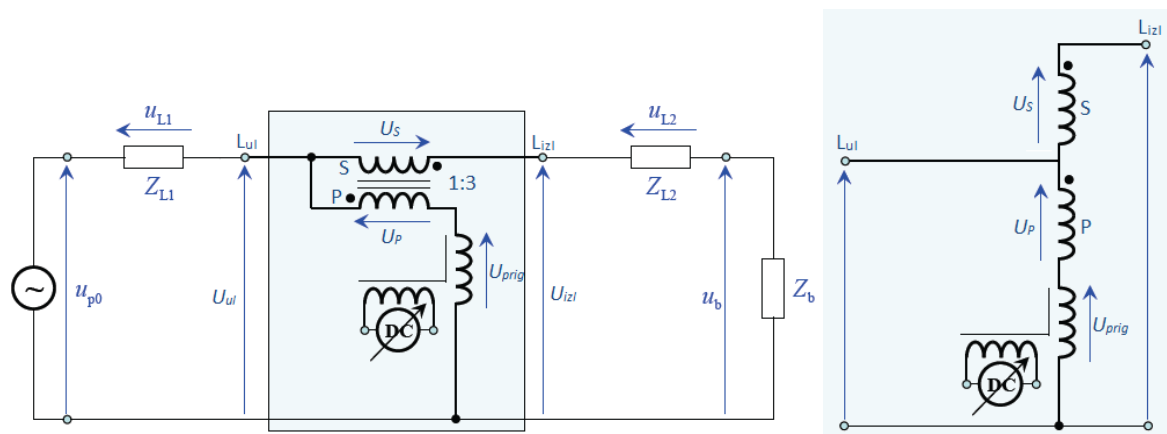
N - broj zavoja

μ_0 - permeabilnost vakuumu [H/m]

μ_r - relativna permeabilnost

A - površina poprečnog presjeka prostora omeđenog zavojima žice (presjek jezgre) [m²]

l - duljina srednjeg opsega silnica magnetskog toka (srednji opseg feromagnetske jezgre) [m]



Slika 1. Lijevo: Nadomjesna shema jednofaznog naponskog stabilizatora;
Desno: pojednostavljena shema stabilizatora

Cilj stabilizatora napona je podići prenizak napon do zadane vrijednosti. Ta vrijednost obično iznosi 230 V ili 235 V, dakle U_{iz} ima tu vrijednost. Sa slike 1. vidimo da vrijede izrazi (2) i (3):

$$U_{ul} = U_{prig} + U_P \quad [V] \quad (2)$$

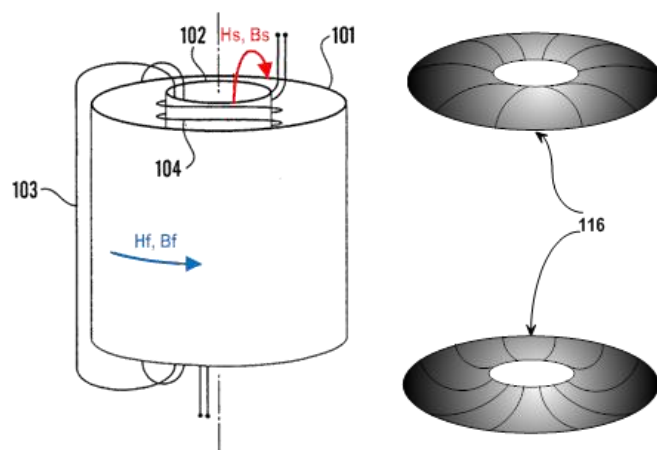
$$U_{izl} = U_{prig} + U_P + U_S = U_{ul} + U_S \quad [V] \quad (3)$$

Prijenosni omjer autotransformatora kod naponskog stabilizatora obično iznosi 1:3.

Razmotrimo sada kako radi stabilizator napona na konkretnom primjeru. Pretpostavimo da napon na mjestu na kojem je ugrađen stabilizator iznosi 190 V, dakle $U_{ul} = 190$ V. Pretpostavimo da je stabilizator podešen da održava naponsku razinu od 230 V, tj. da je $U_{iz} = 230$ V. Znači napon koji nam „fali“ do 230 V je 40 V. Za nadoknađivanje tog napona je zadužen sekundar autotransformatora, dakle $U_S = 40$ V (izraz 3). Pošto je prijenosni omjer autotransformatora postavljen na 1:3, na primaru nam treba napon od 120 V. Pošto vrijedi da je ulazni napon jednak zbroju napona na primaru i napona na prigušnici s promjenjivim (izraz 2), slijedi da napon na prigušnici mora biti $190 \text{ V} - 120 \text{ V} = 70 \text{ V}$. Za dobivanje te vrijednosti na prigušnici brine se regulacijski sklop [1].

Prigušnica s promjenjivim induktivitetom je izvedena posebnom konstrukcijom s kojom se postižu dva ortogonalna (međusobno okomita) magnetska polja. Pobudom upravljačkog namota mijenja se permeabilnost u smjeru glavnog namota. Mijenja se petlja histereze i taj učinak je jednak promjeni histereze promjenom zračnog razmaka, te se na taj način mijenja induktivitet glavnog namota prigušnice [2].

Konstrukcija prigušnice s promjenjivim induktivitetom prikazana je na slici 2.



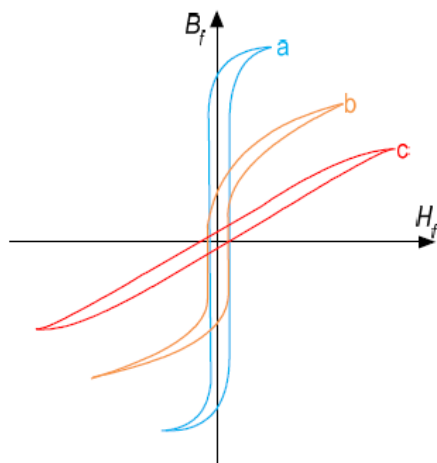
Slika 2. Konstrukcija toroidne jezgre [2]

Jezgra je izgrađena od četiri elementa: dva koncentrična cilindra (101, 102), te gornje i donje magnetske spojke (116) koje zatvaraju tok u dva cilindra. Ovi elementi su izgrađeni od neizotropnih materijala. Upravljački namotaj (104) se nalazi u sredini i namata se oko unutrašnjeg cilindra vodoravnim namotima. Nakon što se završi namatanje, cilindri se zatvaraju s gornje i donje strane, a zatim slijedi namatanje glavnog namota (103) (slika 3). Magnetnim spojevima (116) dodan je izolacijski sloj u aksijalnom smjeru [2].



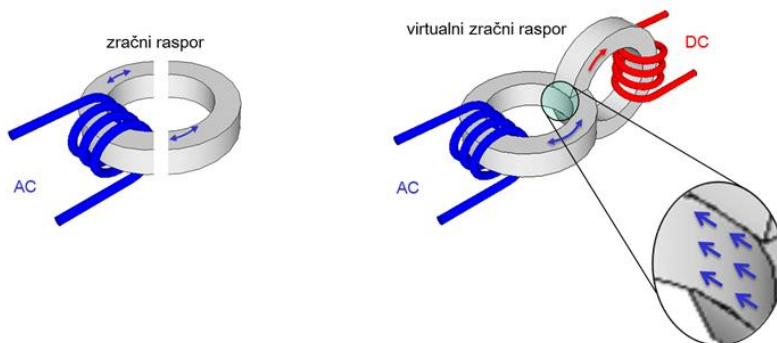
Slika 3. Koraci izgradnje prigušnice s promjenjivim induktivitetom [3]

Glavni namotaj (103) uzbuđuje magnetsko polje H_f i magnetski tok B_f u cirkularnom (horizontalnom) smjeru. Upravljački namotaj (104) uzbuđuje magnetsko polje H_s i magnetski tok B_s u okomitom smjeru. Polja u jezgri su okomita. Relativnu permeabilnost jezgre u smjeru magnetskog polja H_f mijenjamo jakošću magnetskog polja u smjeru H_s . Utjecaj magnetskog polja H_s na permeabilnost u smjeru H_f možemo vidjeti na slici 4 [2].



Slika 4. Promjena petlje histereze u ovisnosti o električnom toku u upravljačkom namotu [2]

Povećanjem upravljačkog toka, učinak je jednak povećanju zračnog razmaka. Zbog toga se često koristi izraz efekt „prividnog zračnog razmaka“ (slika 5) [1].



Slika 5. Efekt „prividnog zračnog razmaka“ [3]

Zaključujemo da s promjenom jakosti jednosmjernog toka u upravljačkom namotu mijenjamo reaktivni otpor glavnog namota prigušnice.

Induktivitet glavnog namota ovisi o istosmjernoj struji kontrolnog namota. Relacija koja povezuje te veličine je dana izrazom (4):

$$L = L_0 - \Delta L_{\max} \cdot (1 - e^{-kI_{dc}}) \text{ [H]} \quad (4)$$

Gdje je:

L – induktivitet prigušnice [H]

L_0 – osnovni induktivitet bez kontrolne DC struje [H]

$\Delta L_{\max}$ – maksimalna vrijednost varijable pri djelovanju kontrolne DC struje [H]

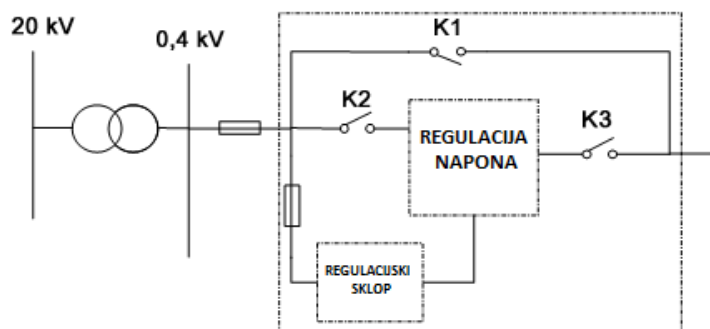
I_{dc} – kontrolna DC struja [A]

k – indeks faktor [5]

Iz (4) slijedi, da povećavanjem kontrolne struje smanjujemo induktivitet glavnog namota, te smanjujemo napon na glavnoj zavojnici, te slijedi da se povećava napon na primaru autotransformatora. Time se povećava napon i na sekundaru autotransformatora u odgovarajućem omjeru 1:3. Time se povećava izlazni napon.

Stabilizator napona na izlazu daje konstantan napon koji je prethodno podešen na konstantnu vrijednost (obično 230 ili 235 V), neovisno o ulaznom naponu, ukoliko vrijednost ulaznog napona ne padne više od 20 % (ili 10 %) s obzirom na nazivni napon mreže. Dakle donja granica na kojoj regulator napona djeluje je 184 V (ili 207 V). U slučaju da napon padne ispod navedene vrijednosti, uređaj se premošćuje (eng. *by-pass*). Uređaj se premošćuje i u slučaju kratkog spoja u mreži. Kada se kvar otkloni,

uređaj se automatski vraća u normalan režim rada [1]. Na slici 6 je prikazana skica na kojoj se vidi kako se uređaj premošćuje.



Slika 6. Skica stabilizatora napona i sustava za „by-pass“ [3]

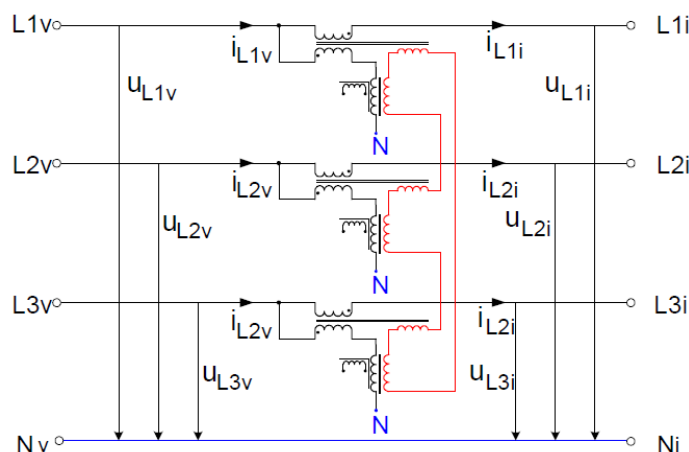
Napravom za kontrolu normalnog režima rada i „by-pass“ stanja upravljamo pomoću jedne sklopke koja ima dva stanja: 0 – isključeno (by-pass), te 1 – uključeno. Kada je naprava isključena, tada je spojnica K1 uključena, a K2 i K3 su isključene i napon na izlazu je nepromijenjen, tj. jednak je naponu na ulazu u stabilizator napona. Kada je sklopka u položaju 1, tj. kada je naprava uključena, spojnice K2 i K3 su uključene, dok je K1 isključena. U ovom slučaju stabilizator napona na izlazu daje zadani napon od 230 V, tj. 235 V ovisno o postavkama [2].

Nedostaci ugradnje stabilizatora napona su povećanje THD faktora, pad napona neposredno ispred samog uređaja.

Do povećanja harmoničkog izobličenja napona (eng. *Total Harmonic Dystorsion*, THD) dolazi zbog toga što stabilizatori napona rade na principu autotransformatora i promjenjivog induktiviteta s ortogonalnim magnetskim poljima, te tako stvara dodatne više harmoničke komponente, koje se očituju povećanim THD faktorom. Ovisno o postavkama ulaznog napona (rada na 10 do 20 % nižim naponom od nazivnog), uređaj može povisiti ukupni THD faktor za dodatnih 1 % do čak 6% [1]. Prema normi HRN EN 50160, ukupni THD (harmonici do faktora 40) faktor mora biti manji ili jednak 8 %.

Do pada napona neposredno ispred samog uređaja dolazi zbog vlastite potrošnje uređaja. Napon na mjestu ugradnje je malo niži nakon ugradnje uređaja, nego prije ugradnje na istome mjestu.

Stabilizatori napona dolaze u jednofaznoj i trofaznoj izvedbi. U niskonaponskim mrežama koriste se trofazni stabilizatori napona koji omogućuju automatsku (dinamičku) regulaciju (pojačanje) svake faze zasebno, a prigradeni tercijarni namot spojen u trokut služi za izjednačavanje vrijednosti izlaznih napona, te uklanjaju nesimetriju faznih napona (slika 7).



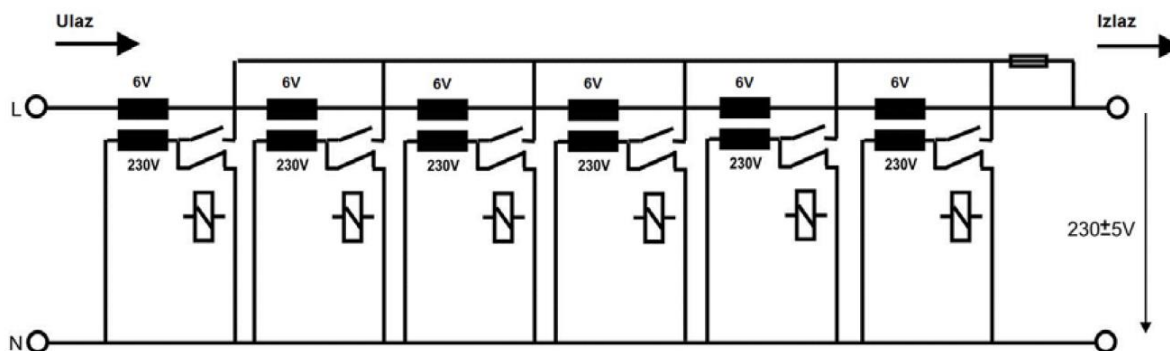
Slika 7. Trofazni stabilizator napona s tercijarnim namotom spojenim u trokut [4]

Na slici 7 vidimo da tercijarni namot na svakoj fazi preuzima magnetski tok s autotransformatora i s prigušnice. Pošto su tercijarni naponi spojeni u trokut dolazi do izjednačavanja izlaznih napona [4].

2.2. Regulatori napona

Za razliku od stabilizatora napona, regulatori napona mogu, osim povećavanja preniskog napona, snižavati previsoki napon. Zbog toga se mogu ugrađivati na mjestima sa sniženim ili povišenim naponom.

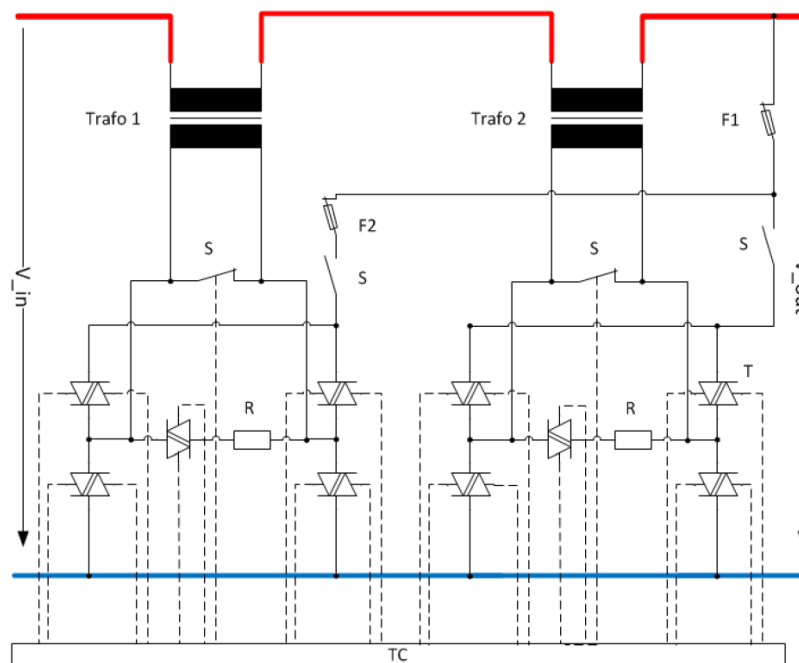
Postoje dvije izvedbe regulatora napona. Princip rada prve izvedbe bazira se na regulaciji napona pomoću upravljive kaskade transformatora (slika 8). Napon se regulira u svakoj fazi zasebno.



Slika 8. Princip rada regulatora napona [2]

Transformatori su međusobno neovisni. U kaskadi se obično nalazi 6 transformatora. Regulacija napona se odvija tako da se prema potrebi uključuje određen broj transformatora. Može se regulirati povišen i snižen napon zbog mogućnosti invertiranja transformatora. Mjerene veličine se putem mjernih pretvarača dovode u programabilni logički kontroler (PLC) preko kojeg se upravlja sklopnicima koji uključuju/isključuju pojedine transformatore u kaskadi. Upravljačkim sklopom moguće je zamijeniti, odnosno invertirati ulaz i izlaz na pojedinom transformatoru u kaskadi, te taj transformator povećava, odnosno snižava ukupan napon ovisno o smjeru struje.

Druga izvedba regulatora napona bazira se na radu dva transformatora i pripadnih tiristora (slika 9). Napon se regulira u svakoj fazi zasebno.



Slika 9. Jednofazni dijagram regulatora napona [5]

Na slici 9 prikazani su transformatori (Trafo 1 i Trafo 2), kontrolni tiristori (T), osigurači (F1, F2), sigurnosni kontaktor (S), preklopni otpornik (R), upravljačka jedinica tiristora (TC), te je ulazni napon označen s V_{in} , a izlazni V_{out} .

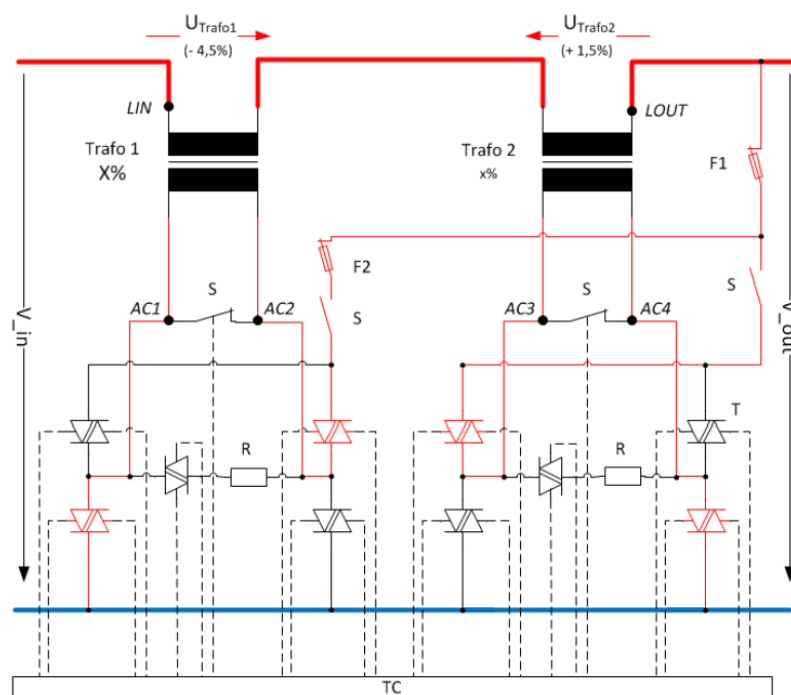
Princip rada ovog regulatora napona je slijedeći: Izlazni napon može se regulirati spajanjem i odspajanjem dva transformatora sa zadanim prijenosnim omjerom. Regulacija se vrši u 9 koraka (tablica 1). Maksimalni raspon kontrole ovisi o izvedbi, tj. prijenosnom omjeru transformatora. Za primjer ćemo uzeti raspon regulacije od $\pm 6\%$. Transformatorima upravljamo pomoću tiristora. Stanje transformatora određuje se sklopnim postavkama tiristora [5].

Tablica 1. Koraci regulacije napona [5]

Korak	Transformator 1.5%	Transformator 4.5%
+ 6 %	+ 1,5 %	+ 4,5 %
+ 4,5 %	0 %	+ 4,5 %
+ 3 %	-1,5 %	+ 4,5 %
+ 1,5 %	+ 1,5 %	0 %
0 %	0 %	0 %
-1,5 %	-1,5 %	0 %
-3 %	+ 1,5 %	-4,5 %
-4,5 %	0 %	-4,5 %
-6 %	-1,5 %	-4,5 %

Upravljačke signale tiristora generiraju upravljački krugovi koji ih inteligentno uklapaju. Prateći magnetski tok u transformatorima, transformatori se mogu uklapati bez propada napona, povećanja struje i generiranja harmonika. Korak potrebne regulacije je izlazna vrijednost upravljačke jedinice. Upravljačka jedinica određuje korak regulacije pomoću napona na sabirnici ili prema izlaznoj struji. Regulacija u sve tri faze odvija se zasebno. To pomaže pri simetriranju mreže. U slučaju kvara automatski se uključi sigurnosni kontaktor, čime se transformatori premoste i mreža nastavlja sa normalnim radom bez regulacije [5].

Na slici 10 prikazan je primjer regulacije od $+3\%$ s regulatorom napona regulacije $\pm 6\%$, te transformatorima s regulacijom od $\pm 4,5\%$ i $\pm 1,5\%$.



Slika 10. Primjer -3% regulacije napona [5]

Transformator *Trafo1* (-4,5%) pretvara primarni napon, koji tiristori preklope u negativnom smjeru, i oduzme 10,35 V (4,5% od 230 V) od izlaznog napona. Transformator *Trafo2* (+1,5%) pretvara primarni napon, koji tiristori preklope u pozitivnom smjeru, i doda 3,45 V (1,5% od 230 V) na izlazni napon, te ukupna regulacija iznosi 6,9 V (-3% od 230 V).

Uređaj je smješten u ormaru čija ugradnja je moguća u kabelsku ili nadzemnu mrežu, a ormar može biti samostojeći ili za montažu na stup (slika 11).



Slika 11. Način montaže ormara opremljenog regulatorom napona [5]

Primjer samog regulatora napona je prikazan na slici 12.



Slika 12. Regulator napona s dva transformatora i tiristorima [5]

2.3. Korektori napona

Korektor napona je uređaj čiji upravljački dio prati vrijednosti električnih parametara niskonaponske mreže. Na osnovu prikupljenih podataka vrši potrebne korekcije iznosa napona. Također, korektor napona je u mogućnosti simetrizirati opterećenje. Cilj ovog uređaja je preslikati naponske prilike iz transformatorske stanice na mjesto ugradnje uređaja.

Korektor napona je jednofazni uređaj, pa je u trofaznoj mreži potrebno ugraditi komplet od tri uređaja, ako se želi korigirati napon u sve tri faze. Ugrađuju se na stupove niskonaponske mreže. Korektor napona sastoji se od osiguračke kutije, transformatora i upravljačke kutije. Osiguračka kutija opremljena je automatskim osiguračem velike rasklopne moći. Poklopac je proziran za vizualnu inspekciju. Izvedba transformatora je grupe spoja Dy (primarni namoti se spajaju u trokut, a sekundarni u zvijezdu) u suhoj izvedbi. Rad transformatora se zasniva na principu upravljanja promjenjivom strukturom galvanski razdvojenih namota i ne spada u grupu autotransformatora. Upravljački dio regulira rad korektora napona u dva stupnja: osnovni stupanj (MOD 1) i regulacijski stupanj (MOD 2). Svi dijelovi uređaja koji mogu doći pod napon su zaštićeni i prekriveni, te tako osiguravaju zaštitu od direktnog dodira.

Elektronika na uređaju je galvanski odvojena od niskonaponske mreže, te prati stanje parametara niskonaponskog voda na mjestu ugradnje. Prema predodređenom programu vrši upravljanje. Na izlazu iz uređaja dobiju se identični parametri onima na sabirnici pripadajuće transformatorske stanice 10(20)/0,4 kV. Može se reći da je ostvarena metoda preslikavanja transformatorske stanice 10(20)/0,4 kV u točku ugradnje korektora napona.

Korektori napona na mrežu se priključuju tako da su primarni vodiči spojeni na linijski napon (međufazno), a sekundarni vodiči spajaju se na fazni i neutralni vodič koji je uzemljen. Na ovaj način se ugradnjom korektora ostvaruje galvansko odvajanje dijela niskonaponskog voda prije mjesta ugradnje (dolazni NN vod) od dijela niskonaponskog voda nakon mjesta ugradnje (odlazni NN vod). Radi toga je nužno da na mjestu ugradnje korektora bude kvalitetno izvedeno uzemljenje (čiji otpor mora biti manji od 5 Ω) na koje se spajaju zvjezdište sekundara transformatora (korektora napona) [1][6].

Primjer ugradnje korektora napona je u niskonaponskoj mreži na području Samobora (slika 13).



Slika 13. Korektor napona u Samoboru

3. ODABIR MJESTA ZA UGRADNJU UREĐAJA ZA POBOLJŠANJE NAPONSKIH PRILIKA

Proces ugradnje uređaja za poboljšanje naponskih prilika u niskonaponskim mrežama sastoji se od mjerenja prilika u mreži prije ugradnje; izvršavanju proračuna, simulacija, te određivanja mjesta ugradnje; i mjerenjem naponskih prilika nakon ugradnje uređaja u mrežu. Mjerenja se vrše u tri točke, i to na početku, na sredini i na kraju mreže.

Pravilan odabir mjesta ugradnje uređaja je jako bitan jer on direktno utječe na naponske prilike krajnjih potrošača. Prilikom odabira mjesta ugradnje potrebno je obratiti pažnju na pad napona duž voda. Bitan je raspored potrošača duž voda, prosječno opterećenje voda, te se trebaju izvršiti simulacije za razna opterećenja uzimajući u obzir faktor istodobnosti za određeno područje. Proračun pada napona za trofazni vod određen je pomoću formule:

$$\Delta u = 0,693 \cdot k_2 \cdot P \cdot l \cdot (r + x \cdot \operatorname{tg} \varphi) \text{ [V]} \quad (5)$$

gdje su:

k_2 – faktor težišta opterećenja na vodu
 P – opterećenje [kW]
 r, x – jedinične konstante voda [Ω/km]
 $\operatorname{tg} \varphi$ – za $\cos \varphi = 0,95$ iznosi 0,3287 [19]

$$k_2 = \frac{l_0 + l_1 \cdot \frac{n-1}{2}}{l_0 + l \cdot (n-1)} \quad (6)$$

gdje su:

l_0 – udaljenost od TS do prvog kupca na vodu [m]
 n – broj kupaca na vodu
 l_1 – prosječna udaljenost među kupcima na vodu [m] [7]

Dakle, simulacija se izvodi za različite pozicije i različita opterećenja kako prije, tako i nakon ugradnje uređaja u mrežu. Postoje razni softverski programi u kojima je moguće izvršiti simulacije, jedan od njih je Estimation_tool_400TN_and_230IT_ver 4.01 koji je dostavio proizvođač uređaja. Obavljaju se proračuni struja jednopolnog i trolnog kratkog spoja niskonaponske mreže. Nakon izvedenih simulacija određuje se optimalno mjesto ugradnje. Mjerenjem prije ugradnje uređaja dobivamo uvid u uvjete koji trenutno vladaju u mreži, što nam je bitno za određivanje parametara simulacije. Što je duži period mjerenja, pretpostavke za simulaciju su bolje. Mjerenjem nakon ugradnje uređaja želimo potvrditi da smo ugradnjom uređaja u mrežu poboljšali naponske prilike i da je odabrano mjesto ugradnje bilo ispravno. U suprotnom imamo još mjernih podataka pomoću kojih možemo napraviti ponovnu simulaciju i preseliti uređaj na bolju lokaciju u NN mreži.

Mjerenja se obavljaju u tri točke – kod transformatorske stanice, na predviđenom mjestu ugradnje uređaja i na kraju niskonaponskog voda. Mjerenja treba obaviti prije i poslije ugradnje uređaja. Najznačajniji parametri koje treba mjeriti su iznos napona, frekvencija napona, kolebanje napona, flikeri, nesimetrija napona, naponi harmonika i signalni naponi. Najvažniji parametar mjerenja je iznos napona, te činjenica zadovoljava li uvjete norme HRN EN 50160:2012. Pošto se uređaji ugrađuju većinom u ruralnim područjima s dugim niskonaponskim vodovima, posebna pozornost posvećuje se iznosima napona, iznosima struja (opterećenje po fazi), flikerima, te THD-u.

3.1. Lokacije ugradnje uređaja za poboljšanje naponskih prilika u mreži

Na nekim lokacijama već su ugrađeni uređaji za reguliranje naponskih prilika, te je na nekima projekt u tijeku. Na lokaciji NN mreža TS 20/0,4 kV Hajdine 1 (Vrbovsko) u mrežu je postavljen stabilizator napona. Na lokacijama Žužić brdo 53 (Velika Gorica), Farma Smodek – Majerje (Varaždin), te Ceje (Samobor) u mrežu su postavljeni korektori napona. Na lokaciji Zaton Doli – Konštari (Dubrovnik) u planu je instalacija stabilizatora napona u mrežu. Na lokaciji Gradnjaci (Samobor) u planu je instalacija stabilizatora napona.

3.2. Primjer promjene naponskih prilika nakon ugradnje korektora napona u mrežu

Primjer ugradnje korektora napona je u niskonaponskoj mreži na području Elektre Zagreb, pogon Velika Gorica. Napaja se ruralno područje koje je 1500 m udaljeno od transformatorske stanice (slika 14) [1].



Slika 14. Korektor napona na području Pogona Velika Gorica [2]

U tablicama II i III prikazani su naponski događaji iza mjesta ugradnje korektora napona prije i nakon ugradnje korektora napona u zadanom vremenskom razdoblju. Iz tablice je vidljivo da se učestalost pojave propada napona smanjila, dok se učestalost pojave povišenih napona povećala. Važno je napomenuti da se ukupan broj događaja višestruko smanjio.

Vremenski period mjerenja je 7 dana, što je u skladu s normom HRN EN 50160. Vremenski interval unutar kojeg se prikupljaju vrijednosti pojedinih parametara iznosi 10 minuta, osim za frekvenciju koja se mjeri u intervalima od 10 s i napone signalizacije koji se mjeri u intervalima od 3 sekunde [1].

Tablica II. Rezultati mjerenja prije ugradnje korektora napona [8]

Faze L1, L2, L3	<20 ms	20<100 ms	100<500 ms	0,5<1 s	1<3 s	3<20 s	20<60 s	>=1 min
Prenapon >10%	1	-	-	-	-	-	-	-
Propad <10%	-	-	-	-	-	-	-	-
10<15%	700	223	34	4	1	2	-	-
15<30%	-	8	5	3	2	-	-	-
30<60%	-	-	1	-	-	-	-	-
60<99%	-	-	-	-	-	-	-	-
Prekid	-	-	-	-	-	-	3	-
Snimanje događaja izvan intervala -10/+10 minimalne vrijednosti								
Broj prenapona: 1								
Broj propada: 983								
Broj prekida: 3								
Ukupno događaja i prekida: 987								

Tablica III. Rezultati mjerenja nakon ugradnje korektora napona [8]

Faze L1, L2, L3	<20 ms	20<100 ms	100<500 ms	0,5<1 s	1<3 s	3<20 s	20<60 s	>=1 min
Prenapon >10%	3	21	25	-	-	-	-	-
Propad <10%	-	-	-	-	-	-	-	-
10<15%	1	102	24	-	-	-	-	-
15<30%	-	-	-	-	-	-	-	-
30<60%	-	-	-	-	-	-	-	-
60<99%	-	-	-	-	-	-	-	-
Prekid	-	-	-	-	-	-	-	6
Snimanje događaja izvan intervala -10/+10 minimalne vrijednosti								
Broj prenapona: 49								
Broj propada: 127								
Broj prekida: 6								
Ukupno događaja i prekida: 182								

4. ZAKLJUČAK

Ugradnja uređaja za poboljšanje naponskih prilika u niskonaponskim mrežama ekonomski je opravdana jer druge metode, kao što je izgradnja dodatne transformatorske stanice, mogu biti dugotrajne i neekonomične. Ovo posebno vrijedi na mjestima koja su udaljena ili teško dostupna zbog specifičnog terena (npr. brdski krajevi) i gdje je izgradnja nove transformatorske stanice neisplativa.

Prije ugradnje uređaja u mrežu potrebno je izvršiti simulacije sa i bez uređaja u mreži s različitim opterećenjima karakterističnim za tu sredinu. Na temelju rezultata simulacije odabiremo mjesto ugradnje. Nakon toga obavljaju se mjerenja (prije i nakon ugradnje kako bi se potvrdili rezultati simulacije) na tri mjesta i to u transformatorskoj stanici, na mjestu ugradnje i na kraju niskonaponskog izvoda.

U svim do sada razmatranim slučajevima nakon ugradnje uređaja u mrežu poboljšali su se iznosi napona i bili su u granicama uvjeta norme HRN EN 50160:2012, čime je opravdan cilj ugradnje.

LITERATURA

- [1] M. Šporec, R. Čučić, V. Fabris, K. Đurašin, „Regulacija napona po dubini niskonaponske mreže“, HO Cired 4.(10.) savjetovanje, Trogir/Seget Donji, 11.-14. svibnja 2014.
- [2] D. Lestan, D. Arh, P. Bergant, A. Primon, B. Sterle, G. Štern, „Napetostni stabilizator za NN omrežja – delovanje in rezultati“, CIGRE ali CIREd ŠK 2 - PT 3
- [3] K. A. Borgerud, I. Aleta, I. Rajcic, D. Lestan, „Prezentacija uređaja za regulaciju napona“, Magtech, Zagreb, 6.3.2014.
- [4] V. Komen, A. Pavić, R. Čučić, „ Moguća tehnička rješenja za sanaciju naponskih prilika u niskonaponskim mrežama“, Cired, 2.(8.) savjetovanje, Umag, 16.-19. svibnja 2010.
- [5] a-eberle: „User Manual. Low-Voltage-System“
- [6] Prezentacija „Uređaj za preslikavanje transformatorske stanice VROT 18-X“
- [7] Energetski institut „Hrvoje Požar“ d.o.o. Zagreb/Hrvatska, „Upute za projektiranje razdjelnih NN mreža 1. Dio“, Zagreb 1988/1998
- [8] I. Šagovac, „Rezultati mjerenja kod kupca na adresi Žužić brdo 53“, Velika Gorica, kolovoz 2012.
- [9] HRN EN 50160:2012, „Naponske karakteristike električne energije iz javnih distribucijskih mreža“