

Kruno Trupinić
HEP ODS, Zagreb
kruno.trupinic@hep.hr

Marijo Brkić
HEP ODS, Zagreb
marijo.brkic@hep.hr

Matej Majnarić
HEP ODS, Zagreb
matej.majnaric@hep.hr

Renato Ćučić
HEP ODS, Zagreb
renato.cucic@hep.hr

Ivan Dundović
HEP ODS, Zagreb
ivan.dundovic@hep.hr

Ante Višić
HEP ODS, Zagreb
ante.visic@hep.hr

ENERGETSKI TRANSFORMATORI SN/NN U AKTIVNOJ DISTRIBUCIJSKOJ MREŽI

SAŽETAK

U prvom dijelu referata prikazana je analiza naponskih prilika u pojnim VN i SN točkama distribucijske mreže HEP-ODS-a tijekom kalendarske godine. Uspoređeno je kretanje iznosa napona u prijenosnoj i distribucijskoj mreži, te je posebno obrađeno područje 20 i 10 kV razine, na sučelju sa NN mrežom. Temeljem ovih podataka, u drugom dijelu referata analizirane su naponske okolnosti na energetskim transformatorima SN/NN ovisno o njihovim nazivnim prijenosnim omjerima i položajima regulacijskih preklopki.

Zaključno su uspoređeni rezultati za pet tipova energetskih transformatora SN/NN prema njihovim nazivnim prijenosnim omjerima, kako bi se stekao uvid u kvalitetu i opseg pokrivanja mogućih varijacija iznosa napona u aktivnoj SN i NN mreži.

Ključne riječi: varijacija napona, SN mreža, NN mreža, SN/NN transformator, prijenosni omjer

MV/LV POWER TRANSFORMERS IN THE ACTIVE DISTRIBUTION NETWORK

SUMMARY

In the first part of the paper, the analysis of voltage conditions in the HV and MV connection points of the HEP-ODS distribution network during the calendar year is presented. The variation of the amount of voltage in the transmission and distribution network was compared, and the area of 20 and 10 kV levels, at the interface with the LV network, was analysed separately. Based on this analysis, in the second part of the paper, the voltage conditions on MV/LV power transformers were analysed depending on their nominal transmission ratios and the positions of the voltage regulation switches.

In conclusion, the results for five types of MV/LV power transformers were compared according to their nominal transmission ratios, in order to gain insight into the quality and extent of coverage of possible voltage variations in the active MV and LV network.

Key words: voltage variation, MV network, LV network, MV/LV transformer, transmission ratio

1. UVOD

U referatu je prikazana analiza naponskih prilika u pojnim VN i SN točkama distribucijske mreže HEP-ODS-a naponskih razina 110, 20 i 10 kV, na sučelju sa prijenosnom mrežom i sa NN mrežom. Obradene su naponske prilike tijekom jedne kalendarske godine u mjernim poljima TS-a VN/SN i SN/SN te u SN rasklopištima, preuzetim iz SCADA sustava putem MJERinfo. Na ovaj način stečen je uvid u godišnje kretanje iznosa napona, kao i intervali u kojima se kreće iznos napona. Uspoređeno je kretanje iznosa napona u 110 kV prijenosnoj te 20 i 10 kV distribucijskoj mreži, dok je posebno analizirano područje 20 i 10 kV razine, na sučelju sa NN mrežom.

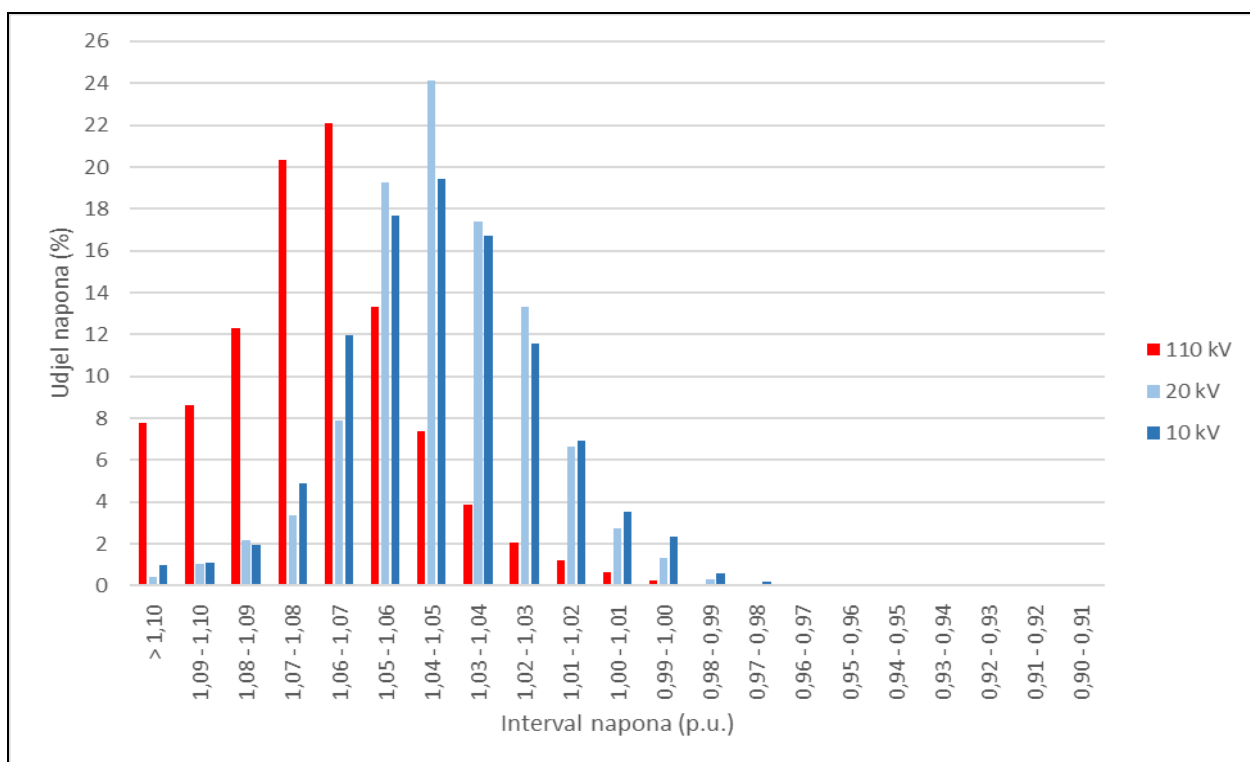
U drugom dijelu referata analizirane su naponske okolnosti na SN/NN energetskim transformatorima ovisno o njihovim nazivnim prijenosnim omjerima i položajima ručnih naponskih regulacijskih preklopki. Ulazni podaci za analizu su podaci o stvarnim kretanjima napona u 20 i 10 kV mreži iz prvog dijela referata, te omjeri minimalne i maksimalne potrošnje kao i maksimalne proizvodnje ovisno o lokaciji energetskog transformatora u promatranom SN izvodu, zajedno sa pripadajućom NN mrežom. Zaključno su uspoređeni rezultati za pet tipova energetskih transformatora SN/NN prema njihovim nazivnim prijenosnim omjerima i mogućnostima ručne regulacije napona, kako bi se stekao uvid u kvalitetu i opseg pokrivanja mogućih varijacija iznosa napona u aktivnoj SN i NN mreži.

2. KRETANJE IZNOSA NAPONA TIJEKOM KALENDARSKJE GODINE

2.1. Naponi u distribucijskoj mreži

Obradeni su podaci sa 74 postrojenja naponske razine 110 kV, 91 postrojenja naponske razine 20 kV i 324 postrojenja naponske razine 10 kV. Ukupno je obrađeno 16 milijuna mjernih podataka kao sume 15 minutnih vrijednosti napona u ovih 489 postrojenja tijekom jedne godine.

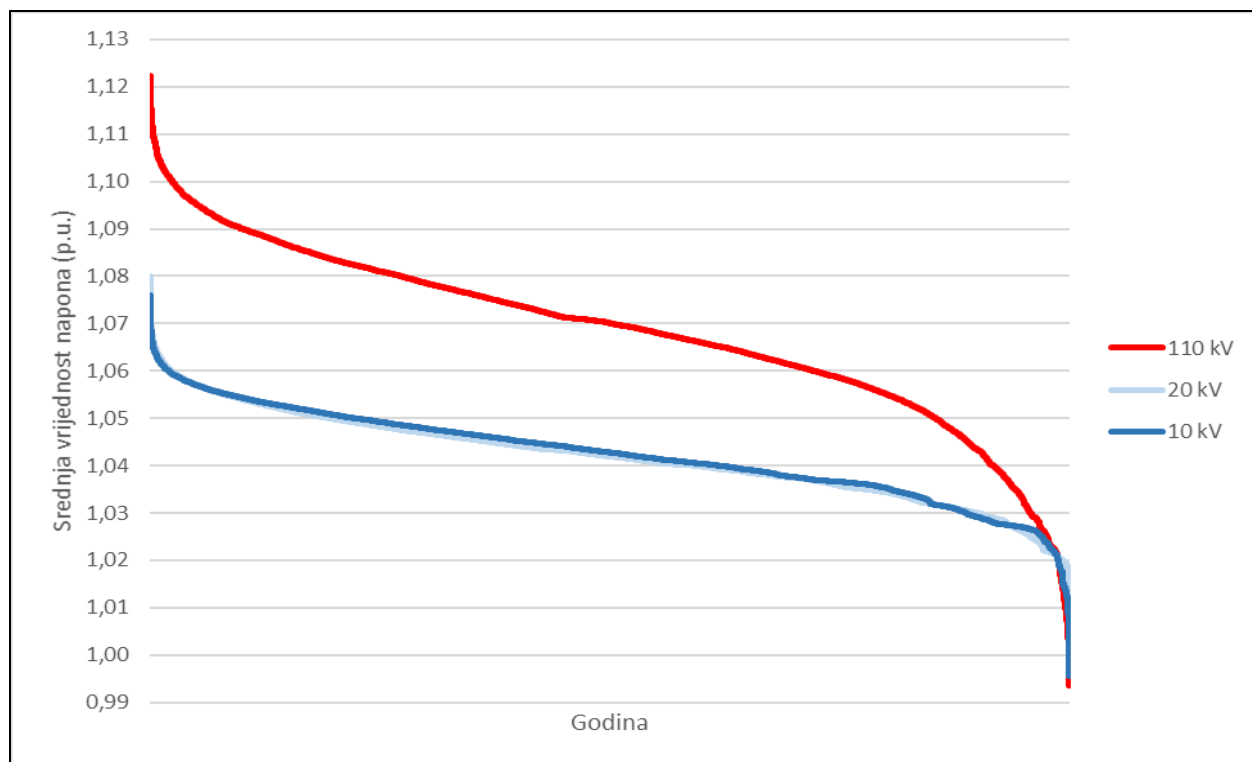
Zbog jednostavnije analize i prikaza u referatu se koristi jedinični (p.u.=per unit) sustav iznosa napona. Na Slici 1 prikazana je godišnja raspodjela iznosa napona u obrađenim 110, 20 i 10 kV postrojenjima po intervalima od 0,01 p.u. Izraziti postotak ovih iznosa je veći od nazivnog napona mreže.



Slika 1. Godišnja raspodjela iznosa napona u 110, 20 i 10 kV pojnim točkama

Iznosi napona u 110 kV mreži su veći nego u 10 i 20 kV mreži, u prosjeku za oko 0,3 p.u. Tri četvrtine godine napon u 110 kV mreži nalazi se u intervalu od 1,05 do 1,1 p.u., u 20 kV mreži u intervalu od 1,02 do 1,06 p.u., u 10 kV mreži u intervalu od 1,02 do 1,07 p.u.

Na Slici 2 prikazana je godišnja krivulja trajanja iznosa napona u 110, 20 i 10 kV pojnim točkama, kao rezultat usrednjavanja vrijednosti napona po ovim naponskim razinama. Vidljiv je nešto položeniji i niži oblik krivulje trajanja napona u 20 i 10 kV pojnim točkama, kao posljedica automatske regulacije napona na energetskim transformatorima 110/SN.



Slika 2. Godišnja krivulja trajanja iznosa napona u 110, 20 i 10 kV pojnim točkama

Zajednička krivulja trajanja iznosa napona u 10 i 20 kV pojnim točkama korist će se u nastavku referata kao referentna krivulja za određivanje kretanja napona u aktivnoj SN i NN mreži za slučaj primjene pet tipova energetskih transformatora SN/NN prema njihovima prijenosnim omjerima i stupnjevima ručne regulacije napona.

2.2. Regulacijski raspon energetskih transformatora SN/NN

U ovom poglavlju obrađeni su sljedeći tipovi energetskih transformatora SN/NN prema njihovim nazivnim prijenosnim omjerima i stupnjevima ručne regulacije napona:

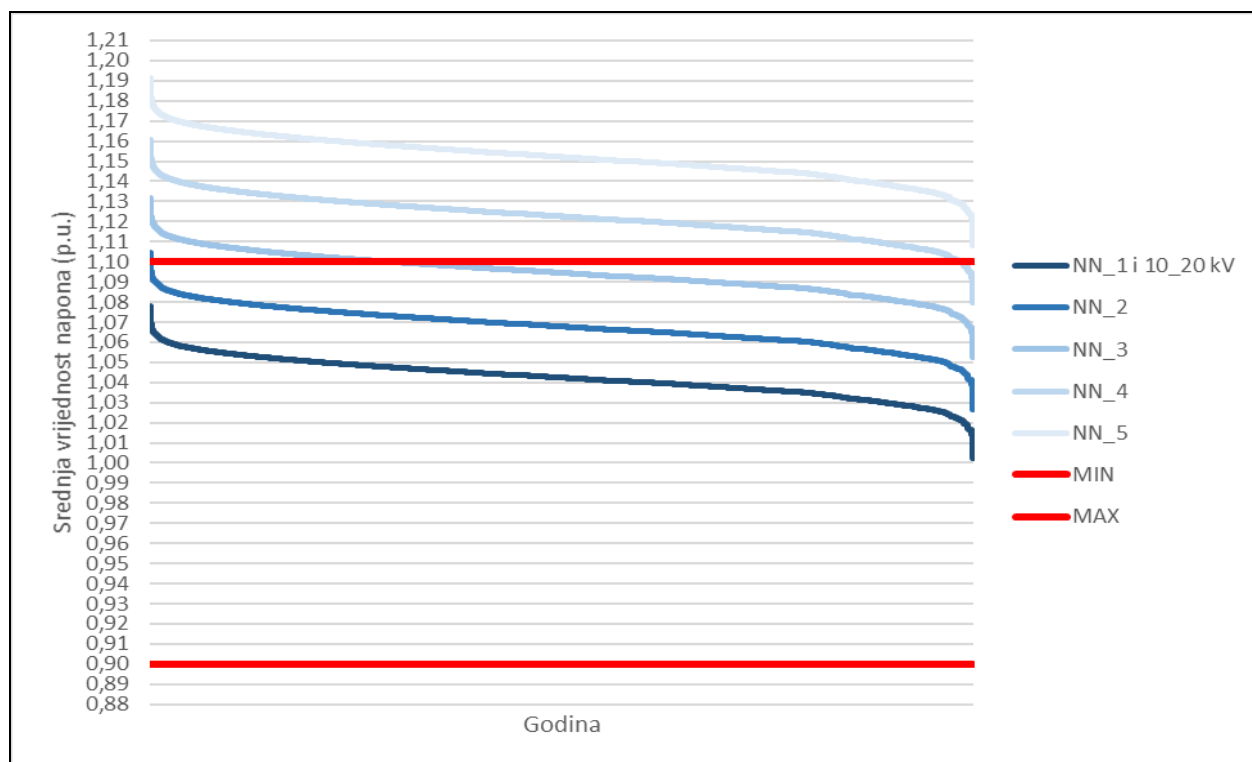
1. transformator 10(20)/0,42 kV sa pet stupnjeva regulacije ($\pm 2 \times 2,5\%$; 9,5 – 10,5 kV) i sa sedam stupnjeva regulacije za jedinice veće nazivne snage ($+4 \times 2,5\%$; $-2 \times 2,5\%$; 9,5 – 11 kV),
2. transformator 10(20)/0,4 kV sa pet stupnjeva regulacije ($\pm 2 \times 2,5\%$; 9,5 – 10,5 kV),
3. transformator 10(20)/0,41 kV sa pet stupnjeva regulacije ($\pm 2 \times 2,5\%$; 9,5 – 10,5 kV),
4. transformator 10,5(21)/0,4 kV sa pet stupnjeva regulacije ($\pm 2 \times 2,5\%$; 9,975 – 11,025 kV),
5. transformator 10,5(21)/0,41 kV sa pet stupnjeva regulacije ($\pm 2 \times 2,5\%$; 9,975 – 11,025 kV)

Vezano uz dostupnost gore navedenih tipova transformatora, svi ovi tipovi transformatora se u Končar DiST-u, kao i u ostalim renomiranim svjetskim proizvođačima distributivnih transformatora standardno proizvode i prodaju na svjetskom tržištu.

Na sljedećih pet slika prikazane su krivulje trajanja iznosa napona na NN strani transformatora za sve položaje ručne regulacije napona. Položaj NN_1 je položaj za najveći primarni SN napon (najveći prijenosni omjer, najniži NN napon), ostali položaji NN_2 do NN_5 (NN_7) su redom za po 2,5% manji primarni SN napon odnosno za po 2,5% viši sekundarni NN napon. Na dijagramima su naznačeni i iznosi primarnog napona 10_20 kV kao i minimalni i maksimalni dozvoljeni napon.

Dijagrami se odnose na naponsko stanje u pojnim točkama, dakle u 10(20) kV primarnim postrojenjima i ne sadržavaju u sebi promjene napona u dubini 10(20) kV izvoda. Isto tako, dijagrami se odnose na NN sabirnice u TS SN/NN i ne sadržavaju u sebi promjene napona u dubini NN izvoda. Ova analiza sa promjenama napona u dubini SN i NN izvoda provest će se u idućem poglavlju.

Na Slici 3 prikazan je dijagram trajanja napona na tipu transformatora kakav se danas nabavlja u HEP ODS-u sa prijenosnom omjerom 10(20)/0,42 kV i pet stupnjeva regulacije. Vidljivo je da praktično samo položaji 1 i 2 osiguravaju cjelogodišnji napon u okviru dozvoljenog.



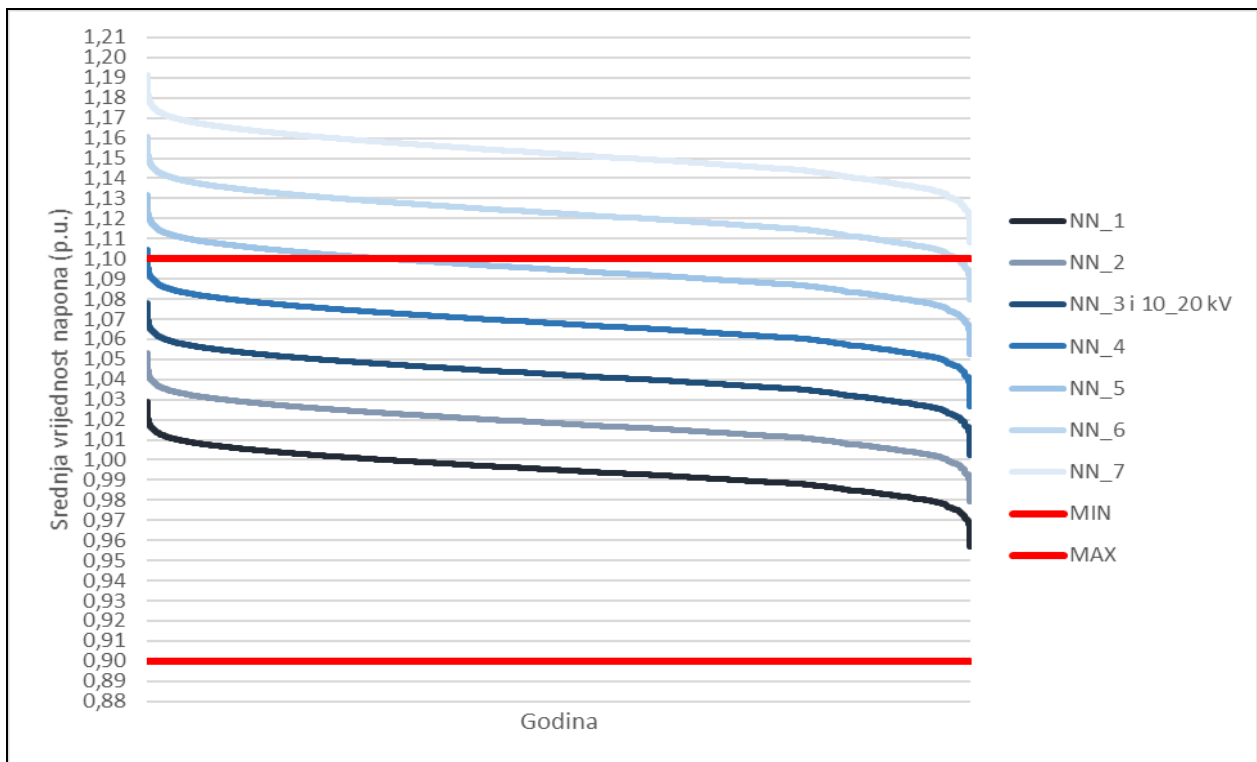
Slika 3. Godišnja krivulja trajanja iznosa napona – transformator 10(20)/0,42 kV

Na Slici 4 prikazan je dijagram trajanja napona na većim jedinicama istog tipa transformatora kakav se danas nabavlja u HEP ODS-u sa prijenosnom omjerom 10(20)/0,42 kV i sedam stupnjeva regulacije. Vidljivo je da je u ovom slučaju situacija bolja, te da položaji 1 do 4 osiguravaju cjelogodišnji napon u okviru dozvoljenog.

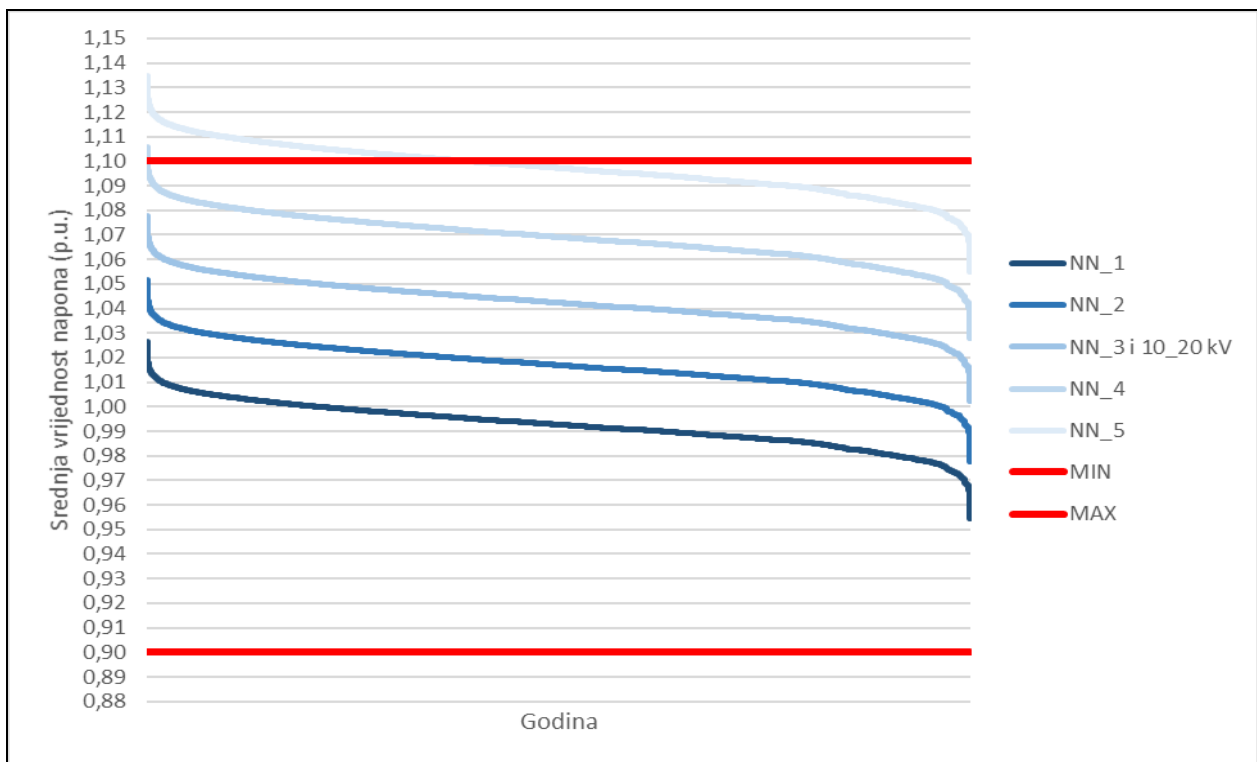
Na Slici 5 prikazan je dijagram trajanja napona na tipu transformatora kakav se prije nabavljao u HEP ODS-u sa prijenosnom omjerom 10(20)/0,4 kV i pet stupnjeva regulacije. Ovaj dijagram primjenjiv je i na transformator sa prijenosnom omjerom 10,5(21)/0,42 kV i pet stupnjeva regulacije. Kod ovih tipova transformatora, položaji 1 do 4 osiguravaju cjelogodišnji napon u okviru dozvoljenog.

Na Slici 6 prikazan je dijagram trajanja napona na tipu transformatora sa prijenosnom omjerom 10(20)/0,41 kV i pet stupnjeva regulacije. Položaji 1, 2 i 3 osiguravaju cjelogodišnji napon u okviru dozvoljenog.

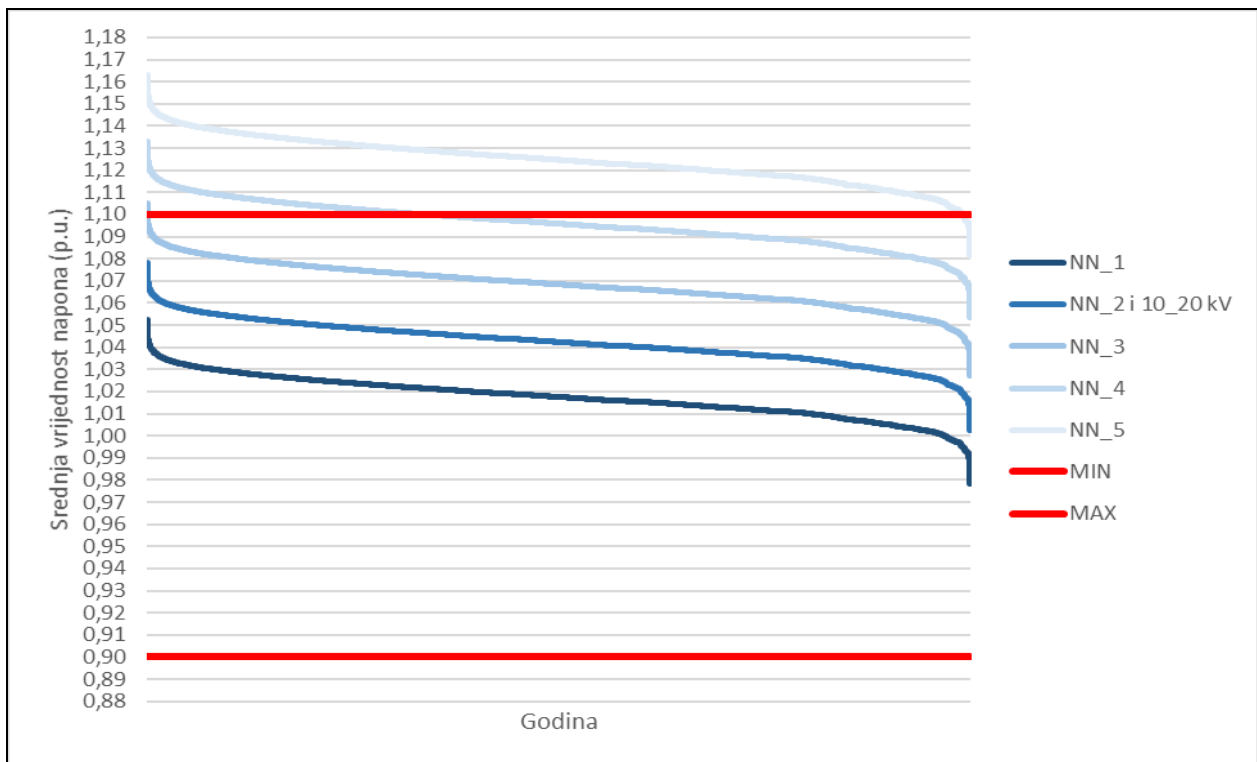
Na Slici 7 prikazan je dijagram trajanja napona na tipu transformatora sa prijenosnom omjerom 10,5(21)/0,4 kV i pet stupnjeva regulacije. Ovaj tip transformatora ima najveći prijenosni omjer i analogno tome najniži sekundarni NN napon, pa je evidentno da svi položaji ručne regulacije od 1 do 5 osiguravaju cjelogodišnji napon u okviru dozvoljenog.



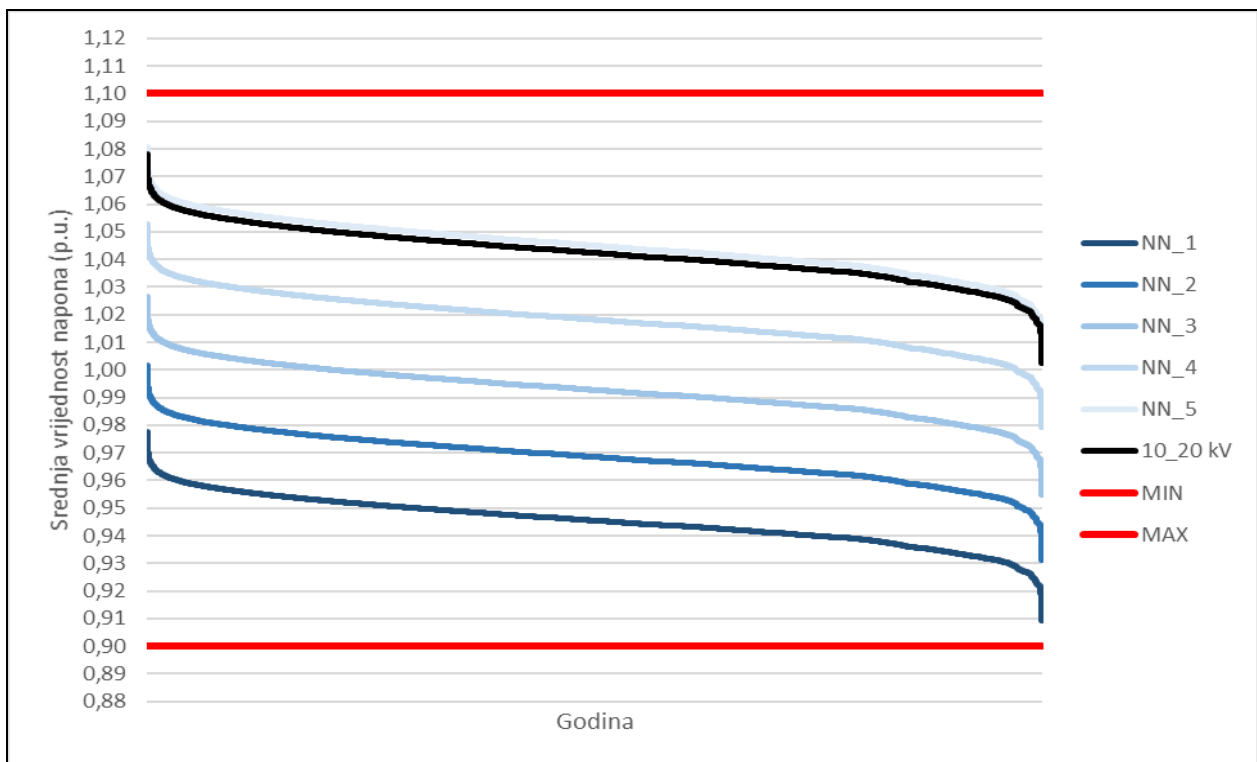
Slika 4. Godišnja krivulja trajanja iznosa napona – transformator 10(20)/0,42 kV – veće jedinice



Slika 5. Godišnja krivulja trajanja iznosa napona – transformator 10(20)/0,4 kV i 10,5(21)/0,42 kV



Slika 6. Godišnja krivulja trajanja iznosa napona – transformator 10(20)/0,41 kV



Slika 7. Godišnja krivulja trajanja iznosa napona – transformator 10,5(21)/0,4 kV

3. ANALIZA NAPONSKIH PRILIKA U DUBINI SN I NN MREŽE

U ovom poglavlju obrađene su regulacijske mogućnosti opisanih tipova transformatora SN/NN uvažavajući naponske promjene u dubini SN i NN mreže, i to posebno za pasivnu SN i NN mrežu (bez izvora i bez porasta napona) i aktivnu SN i NN mrežu (sa izvorima i sa porastom napona).

Osnovni ulazni podaci proračuna su:

- radijalni SN i NN izvodi podijeljeni u 40 dionica sa linearnom promjenom napona,
- pad napona u aktivnom i pasivnom SN i NN izvodu pri maksimalnom opterećenju: 5% [1],
- porast napona u aktivnom SN i NN izvodu pri maksimalnoj proizvodnji: 3% [1],
- omjer maksimalne i minimalne potrošnje u aktivnom i pasivnom SN izvodu: 3,
- omjer maksimalne i minimalne potrošnje u aktivnom i pasivnom NN izvodu: 4,
- granične vrijednosti ulaznog napona na početku SN izvoda: 1,02 – 1,06 p.u.

Izlazni podaci proračuna su iznosi napona u svih 40 čvorova SN izvoda (NN strana transformatora SN/NN) i NN izvoda, za sve položaje naponskih regulacijskih preklopki svih promatranih tipova transformatora SN/NN instaliranih u čvorištima SN izvoda.

3.1. Regulacijske mogućnosti u pasivnoj distribucijskoj mreži

Granični slučajevi napona u pasivnoj SN i NN mreži su:

- u trenutku maksimalnog opterećenja sa padom napona u posljednjem čvorištu SN i NN izvoda od 5% (MaxPot u donjim tablicama),
- u trenutku minimalnog opterećenja sa padom napona u posljednjem čvorištu SN izvoda od (5/3)% i u posljednjem čvorištu NN izvoda od (5/4)% (MinPot u donjim tablicama).

U Tablicama I i II prikazani su rezultati proračuna za položaje naponskih preklopki kod kojih je napon izvan granica 0,9 – 1,1 p.u. u SN i NN izvodu.

Tablica I. Neadekvatni položaji regulacijskih preklopki – SN pasivna mreža

| Transformator | Reg.pr. | Režim | MaxU | MinU | 1,06 p.u. | 1,02 p.u. |
|--------------------------------|---------|--------|-------|-------|-----------|-----------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 10(20)/0,4 i 10,5(21)/0,42 | 5 | MinPot | 1,116 | | 82,5 | |
| | | MaxPot | 1,116 | | 27,5 | |
| 10(20)/0,42 | 3 | MinPot | 1,113 | | 70 | |
| | | MaxPot | 1,113 | | 22,5 | |
| | 4 | MinPot | 1,142 | | 100 | |
| | | MaxPot | 1,142 | | 72,5 | |
| | 5 | MinPot | 1,172 | | 100 | 100 |
| | | MaxPot | 1,172 | | 100 | 47,5 |
| 10(20)/0,42 - veće jedinice | 5 | MinPot | 1,113 | | 70 | |
| | | MaxPot | 1,113 | | 22,5 | |
| | 6 | MinPot | 1,142 | | 100 | |
| | | MaxPot | 1,142 | | 72,5 | |
| | 7 | MinPot | 1,172 | | 100 | 100 |
| | | MaxPot | 1,172 | | 100 | 47,5 |
| 10,5(21)/0,4 | 1 | MaxPot | | 0,879 | | 47,5 |
| 10(20)/0,41 | 4 | MinPot | 1,114 | | 75 | |
| | | MaxPot | 1,144 | | 25 | |
| | 5 | MinPot | 1,114 | | | 2,5 |
| | | MaxPot | 1,144 | | 75 | |

U stupcu 1 je tip promatranog transformatora SN/NN, stupcu 2 je položaj preklopke, stupcu 3 je granično stanje (maksimalno ili minimalno opterećenje) kod kojeg je nastupilo nedozvoljeno odstupanje napona, u stupcima 4 i 5 su iznosi ovih nedozvoljenih napona u p.u., sa MaxU većim od 1,1 p.u. i MinU manjim od 0,9 p.u., u stupcima 6 i 7 su postotni dijelovi SN i NN izvoda zahvaćenih ovim nedozvoljenim naponom, u trenutku maksimalnog napona pojne točke (početka SN izvoda) od 1,06 p.u. i u trenutku minimalnog napona pojne točke od 1,02 p.u., prema prethodnom poglavlju.

U Tablici II prikazani su samo položaji preklopki koji su zadovoljili proračun napona u SN mreži, tj. nisu u Tablici I.

Tablica II. Neadekvatni položaji regulacijskih preklopki – NN pasivna mreža

| Transformator | Reg.pr. | Režim | MaxU | MinU | 1,06 p.u. | 1,02 p.u. |
|--------------------------------|---------|--------|------|-------|-----------|-----------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 10(20)/0,4 i 10,5(21)/0,42 | 1 | MaxPot | | 0,877 | | 52,5 |
| | 2 | MaxPot | | 0,898 | | 5 |
| 10(20)/0,42 - veće jedinice | 1 | MaxPot | | 0,879 | | 47,5 |
| | 2 | MaxPot | | 0,899 | | 2,5 |
| 10,5(21)/0,4 | 2 | MinPot | | 0,889 | | 97,5 |
| | | MaxPot | | 0,855 | 25 | 100 |
| | 3 | MaxPot | | 0,877 | | 52,5 |
| | 4 | MaxPot | | 0,899 | | 2,5 |
| 10(20)/0,41 | 1 | MaxPot | | 0,899 | | 5 |

Kompletna slika regulacijskih mogućnosti svih obrađenih tipova transformatora SN/NN prikazana je u Tablicama III i IV. Tablica III predstavlja međukorak sa mjestom promatranja na NN strani transformatora tj. na početku NN izvoda, dok Tablica IV prikazuje kompletnu sliku u NN mreži na mjestima sučelja sa korisnicima mreže.

Tablica III. Regulacijske mogućnosti – SN pasivna mreža

| Transformator | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|-----------------------------|----------|---|----------|----------|----------|-------|-------|
| 10(20)/0,4 i 10,5(21)/0,42 | 0 | 0 | 0 | 0 | 80-90 ↑→ | | |
| 10(20)/0,42 | 0 | 0 | 60-70 ↑→ | 100 ↑ | 100 ↑ | | |
| 10(20)/0,42 - veće jedinice | 0 | 0 | 0 | 0 | 60-70 ↑→ | 100 ↑ | 100 ↑ |
| 10,5(21)/0,4 | 40-50 ↓← | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 10(20)/0,41 | 0 | 0 | 0 | 70-80 ↑→ | 70-80 ↑→ | | |

Tablica IV. Regulacijske mogućnosti – NN pasivna mreža

| Transformator | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|-----------------------------|----------|---------|-----------|---------|-----------|-------|-------|
| 10(20)/0,4 i 10,5(21)/0,42 | 50-60 ↓← | 0-10 ↓← | 0 | 0 | 20-30 ↑→ | | |
| 10(20)/0,42 | 0 | 0 | 90-100 ↑→ | 100 ↑ | 100 ↑ | | |
| 10(20)/0,42 - veće jedinice | 40-50 ↓← | 0-10 ↓← | 0 | 0 | 90-100 ↑→ | 100 ↑ | 100 ↑ |
| 10,5(21)/0,4 | 100 ↓ | 100 ↓ | 50-60 ↓← | 0-10 ↓← | 0 | | |
| 10(20)/0,41 | 0-10 ↓← | 0 | 0 | 100 ↑ | 100 ↑ | | |

Stupci 1 do 7 predstavljaju položaje naponskih preklopki (6 i 7 samo za veće transformatore 10(20)/0,42). Brojevima su u intervalima po 10% označene postotne duljine SN izvoda (Tablica III) i NN izvoda (Tablica IV) zahvaćene nedozvoljenim iznosom napona. Bojom su ovi iznosi dodatno naglašeni i nijansirani, od zelene kada je napon u redu cijelom duljinom izvoda do crvene kada je cijeli izvod zahvaćen nedozvoljenim iznosom napona. Strelica ↑ označava pojavu previsokog napona, ↓ označava pojavu preniskog napona, → označava područje zahvaćenosti od početka izvoda prema kraju, ← označava područje zahvaćenosti od kraja izvoda prema početku. Ukoliko za određeni položaj preklopke

ima više razloga za nedozvoljeni iznos napona, u tablicama je prikazan dominantni uzrok koji zahvaća najveći dio izvoda.

Prema Tablici IV vidljivo je da kod svakog tipa transformatora postoje mogućnosti za regulaciju napona pri zadanim pogonskim uvjetima u svim točkama pasivne distribucijske mreže. Transformatori 10(20)/0,42 i 10(20)/0,41 posjeduju veće sposobnosti zadovoljenja većeg opterećenja i/ili većih padova napona od obrađenog primjera u pasivnoj distribucijskoj mreži.

3.2. Regulacijske mogućnosti u aktivnoj distribucijskoj mreži

Granični slučajevi napona u aktivnoj SN i NN mreži su:

- u trenutku maksimalnog opterećenja bez proizvodnje sa padom napona u posljednjem čvorištu SN i NN izvoda od 5% (MaxPot u donjim tablicama),
- u trenutku maksimalne proizvodnje i minimalnog opterećenja sa porastom napona u posljednjem čvorištu SN i NN izvoda od 3% (MaxPro u donjim tablicama).

U Tablicama V i VI prikazani su rezultati proračuna za položaje naponskih preklopki kod kojih je napon izvan granica 0,9 – 1,1 p.u. u SN i NN izvodu.

Tablica V. Neadekvatni položaji regulacijskih preklopki – SN aktivna mreža

| Transformator | Reg.pr. | Režim | MaxU | MinU | 1,06 p.u. | 1,02 p.u. |
|--------------------------------|---------|--------|-------|-------|-----------|-----------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 10(20)/0,4 i 10,5(21)/0,42 | 4 | MaxPro | 1,120 | | 62,5 | |
| | 5 | MaxPro | 1,149 | | 100 | 20 |
| | | MaxPot | 1,116 | | 27,5 | |
| 10(20)/0,42 | 2 | MaxPro | 1,118 | | 57,5 | |
| | 3 | MaxPro | 1,146 | | 100 | 10 |
| | | MaxPot | 1,113 | | 22,5 | |
| | 4 | MaxPro | 1,176 | | 100 | 97,5 |
| | | MaxPot | 1,142 | | 72,5 | |
| | 5 | MaxPro | 1,207 | 1,127 | 100 | 100 |
| MaxPot | | 1,172 | | 100 | 47,5 | |
| 10(20)/0,42 - veće jedinice | 4 | MaxPro | 1,118 | | 57,5 | |
| | 5 | MaxPro | 1,146 | | 100 | 10 |
| | | MaxPot | 1,113 | | 22,5 | |
| | 6 | MaxPro | 1,176 | | 100 | 97,5 |
| | | MaxPot | 1,142 | | 72,5 | |
| | 7 | MaxPro | 1,207 | 1,127 | 100 | 100 |
| MaxPot | | 1,172 | | 100 | 47,5 | |
| 10,5(21)/0,4 | 1 | MaxPot | | 0,879 | | 47,5 |
| 10(20)/0,41 | 3 | MaxPro | 1,119 | | 60 | |
| | 4 | MaxPro | 1,148 | | 100 | 15 |
| | | MaxPot | 1,114 | | 25 | |
| | 5 | MaxPro | 1,178 | 1,101 | 100 | 100 |
| MaxPot | | 1,144 | | 75 | | |

U Tablici VI prikazani su samo položaji preklopki koji su zadovoljili proračun napona u SN mreži, tj. nisu u Tablici V. Zbog težih pogonskih uvjeta vidljivo je povećanje broja položaja naponskih preklopki kod kojih se javljaju nedozvoljeni iznosi napona, jer je raspon graničnih ulaznih uvjeta značajno širi u aktivnoj mreži.

Tablica VI. Neadekvatni položaji regulacijskih preklopki – NN aktivna mreža

| Transformator | Reg.pr. | Režim | MaxU | MinU | 1,06 p.u. | 1,02 p.u. |
|--------------------------------|---------|--------|-------|-------|-----------|-----------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 10(20)/0,4 i 10,5(21)/0,42 | 1 | MaxPot | | 0,877 | | 52,5 |
| | 2 | MaxPot | | 0,898 | | 5 |
| | 3 | MaxPro | 1,125 | | 75 | |
| 10(20)/0,42 | 1 | MaxPro | 1,125 | | 75 | |
| 10(20)/0,42 - veće jedinice | 1 | MaxPot | | 0,879 | | 47,5 |
| | 2 | MaxPot | | 0,899 | | 2,5 |
| | 3 | MaxPro | 1,125 | | 75 | |
| 10,5(21)/0,4 | 2 | MaxPot | | 0,855 | | 100 |
| | 3 | MaxPot | | 0,877 | | 52,5 |
| | 4 | MaxPot | | 0,899 | | 2,5 |
| | 5 | MaxPro | 1,127 | | 85 | |
| 10(20)/0,41 | 1 | MaxPot | | 0,899 | | 5 |
| | 2 | MaxPro | 1,125 | | 75 | |

Kompletna slika regulacijskih mogućnosti svih obrađenih tipova transformatora SN/NN prikazana je u Tablicama VII i VIII. Tablica VII predstavlja međukorak sa mjestom promatranja na NN strani transformatora tj. na početku NN izvoda, dok Tablica VIII prikazuje kompletnu sliku u NN mreži na mjestima sučelja sa korisnicima mreže.

Tablica VII. Regulacijske mogućnosti – SN aktivna mreža

| Transformator | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|-----------------------------|----------|----------|----------|----------|-------|-------|-------|
| 10(20)/0,4 i 10,5(21)/0,42 | 0 | 0 | 0 | 60-70 ↑← | 100 ↑ | | |
| 10(20)/0,42 | 0 | 50-60 ↑← | 100 ↑ | 100 ↑ | 100 ↑ | | |
| 10(20)/0,42 - veće jedinice | 0 | 0 | 0 | 50-60 ↑← | 100 ↑ | 100 ↑ | 100 ↑ |
| 10,5(21)/0,4 | 40-50 ↓← | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 10(20)/0,41 | 0 | 0 | 50-60 ↑← | 100 ↑ | 100 ↑ | | |

Tablica VIII. Regulacijske mogućnosti – NN aktivna mreža

| Transformator | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|-----------------------------|----------|----------|----------|---------|----------|-------|-------|
| 10(20)/0,4 i 10,5(21)/0,42 | 50-60 ↓← | 0-10 ↓← | 70-80 ↑← | 100 ↑ | 100 ↑ | | |
| 10(20)/0,42 | 70-80 ↑← | 100 ↑ | 100 ↑ | 100 ↑ | 100 ↑ | | |
| 10(20)/0,42 - veće jedinice | 40-50 ↓← | 0-10 ↓← | 70-80 ↑← | 100 ↑ | 100 ↑ | 100 ↑ | 100 ↑ |
| 10,5(21)/0,4 | 70-80 ↓→ | 100 ↓ | 50-60 ↓← | 0-10 ↓← | 80-90 ↑← | | |
| 10(20)/0,41 | 0-10 ↓← | 70-80 ↑← | 100 ↑ | 100 ↑ | 100 ↑ | | |

U odnosu na pasivnu mrežu, stanje u SN mreži se ne pogoršava kao u NN mreži, gdje za zadane pogonske uvjete nema izbora preklopke koja zadovoljava naponske uvjete u cjelokupnom NN izvodu.

4. USPOREDBA GUBITAKA U JEZGRI TRANSFORMATORA SN/NN

Za donošenje kvalitetnog zaključka koji je prijenosni omjer transformatora najpovoljniji u aktivnoj distribucijskoj mreži, potrebno je sagledati i niz drugih čimbenika. Jedan od njih je i iznos gubitaka u jezgri transformatora ovisno o njegovom primarnom naponu. Naime, svi promatrani transformatori su U_m 24 kV te im je Uredbom EU 548/2014 propisan maksimalni iznos gubitaka u jezgri P_0 i u namotu P_k . Stoga će

transformatori sa većim nazivnim primarnim naponom stvarati manje gubitke u jezgri, jer u području regulacije napona 0,9 do 1,1 p.u. iznos gubitaka u jezgri raste sa kvadratom pogonskog napona.

Tako je u Tablici IX prikazana procijenjena razlika gubitaka između transformatora sa primarnim pogonskim naponima 10(20) kV i 10,5(21) kV. Vidljivo je da pri pogonskom naponu od 1,05 p.u. transformator sa višim nazivnim naponom ima okvirno 10% manje gubitke, kada se promatraju maksimalno dozvoljeni gubici prema navedenoj Uredbi.

Tablica IX. Razlika godišnjih gubitaka u jezgrama između transformatora nazivnog primarnog napona 10(20) kV i 10,5(21) kV, sa maksimalno dozvoljenim gubicima prema Uredbi EU 548/2014

| S _n (kVA) | Max. P ₀ (W) | Max. god. W _g (kWh) | Razlika godišnjih gubitaka [10(20)-10,5(21)] (kWh) | | | | |
|----------------------|-------------------------|--------------------------------|--|--------------|-------------|-------------|-------------|
| | | | U=1, 10 p.u. | U=1, 05 p.u. | U=1,00 p.u. | U=0,95 p.u. | U=0,90 p.u. |
| 50 | 81 | 710 | 80 | 73 | 66 | 60 | 53 |
| 100 | 130 | 1139 | 128 | 117 | 106 | 96 | 86 |
| 160 | 189 | 1656 | 186 | 170 | 154 | 139 | 125 |
| 250 | 270 | 2365 | 266 | 242 | 220 | 198 | 178 |
| 400 | 387 | 3390 | 381 | 347 | 315 | 284 | 255 |
| 630 | 540 | 4730 | 532 | 485 | 440 | 397 | 356 |
| 1000 | 693 | 6071 | 683 | 622 | 564 | 509 | 457 |
| 1250 | 855 | 7490 | 843 | 768 | 696 | 628 | 564 |
| 1600 | 1080 | 9461 | 1064 | 970 | 880 | 794 | 712 |
| 2000 | 1305 | 11432 | 1286 | 1172 | 1063 | 959 | 861 |

5. ZAKLJUČAK

Aktivna SN i NN mreža značajno je zahtjevnija po pogledu regulacije napona od klasične, pasivne mreže. Uz sve ostale mjere i postupke regulacije napona u aktivnoj distribucijskoj mreži, jedan od važnih segmenata je izbor transformatora SN/NN adekvatnih nazivnih prijenosnih omjera i mogućnosti ručne regulacije napona.

U referatu je obrađeno pogonsko stanje zadano ulaznim pogonskim podacima, temeljeno na mjernim podacima iz SN postrojenja u sustavu daljinskog nadzora i pretpostavljenim rasponima kretanja napona (-5%, +3% po naponskoj razini) u dubini mreže. Pretpostavljene ulazne podatke po potrebi se može mijenjati kako bi se sagledali stroži odnosno blaži uvjeti na regulaciju napona.

Temeljem zadanih ulaznih podataka i uvjeta za aktivnu mrežu, može se zaključiti da je po pitanju regulacije napona u samom transformatoru SN/NN najlošija situacija kod transformatora 10(20)/0,42 gdje se i pri najnižem položaju 1 naponske preklopke javljaju nedozvoljeni naponi na tri četvrtine duljine NN izvoda. Manje loša situacija je kod transformatora 10(20)/0,41 i 10,5(21)/0,4, gdje se može odabrati položaj preklopke koji zadovoljava najveći dio duljine NN izvoda, ali imaju određenu regulacijsku rezervu samo s jedne strane.

Najbolja situacija je kod transformatora 10(20)/0,4, 10,5(21)/0,42 te većih jedinica 10(20)/0,42 sa sedam stupnjeva ručne regulacije napona, gdje se može odabrati položaj preklopke koji zadovoljava najveći dio duljine NN izvoda, a imaju i određenu regulacijsku rezervu s obje strane kako za veći iznos opterećenja i/ili pada napona, tako i za veći iznos proizvodnje odnosno porasta napona. Stoga se može zaključiti da prijenosni omjeri i izvedbe regulacijskih naponskih preklopki predmetnih transformatora najbolje odgovaraju distribucijskim mrežama sa izraženijim utjecajem opterećenja i pada napona (-5%) u odnosu na utjecaj proizvodnje i porasta napona (+3%), te daljnjim trendom održavanja takvog odnosa.

6. LITERATURA

- [1] Srđan Skok, Ante Martinić, Ladislav Havaš, Dunja Srpak, Elvis Mikac "Studija regulacije napona u distribucijskoj mreži", Elektrožen, Zagreb, kolovoz 2020.
- [2] SCADAinfo/MJERinfo, poslovna aplikacija HEP-ODS-a, Zagreb, pristup 2021 - 2022