

Tajana Nižić, mag.ing.el.
Končar D&ST
Tajana.Nizic@koncar-dst.hr

Ivan Perišić, mag.ing.el.
Končar D&ST
Ivan.Perisic@koncar-dst.hr

Sanela Carević, mag.ing.el.
Končar D&ST
sanela.carevic@koncar-dst.hr

NOVA GENERACIJA REGULACIJSKIH DISTRIBUTIVNIH TRANSFORMATORA

SAŽETAK

Zbog porasta udjela distribuiranih izvora električne energije u elektroenergetskoj mreži dolazi do porasta varijacija napona, a time i do povećane potrebe za naponskom regulacijom sa strane niskog napona. U ovom radu opisan će se dizajn transformatora s automatskom regulacijom napona s ugrađenom sklopkom novije generacije (s vakuumskom tehnologijom) za regulaciju pod opterećenjem (engl. OLTC – On Load Tap Changer) i njegove razlike u odnosu na dizajn transformatora s klasičnom preklopkom za regulaciju bez napona.

Nova generacija sklopke osmišljena je tako da bude što kompaktnija kako bi se mogla ugraditi u sve snage distributivnih transformatora, a da se zadrže tlocrtna dimenzije klasičnog distributivnog transformatora.

U radu su osim tehničke izvedbe regulacijskih distributivnih transformatora, opisani i rezultati rutinskih, tipskih i specijalnih ispitivanja, koja su obavljena prema normama IEC 60076.

Ključne riječi: regulacijski distributivni transformator (RDT), regulacija pod naponom, vakuumaska tehnologija

NEW GENERATION OF VOLTAGE REGULATED DISTRIBUTION TRANSFORMER

SUMMARY

The increasing number of distribution energy sources causes an increase in unpredictable voltage variations. Due to that, voltage regulation is increasingly required at lower voltage levels and voltage regulated distribution transformers are therefore a major asset for a new grid operation. On-load voltage regulated distribution transformer kept the plan dimensions of the classic off-load distribution transformer, in order to enable the installation of such transformer in existing substations.

This paper describes the technical design of voltage regulated distribution transformers which utilizes a new generation of on-load tap-changer with vacuum technology as compared to classic off-load tap-changers. The paper also reports results of routine, type and special transformer tests according to IEC 60076 standards.

Key words: voltage regulated distribution transformer, On Load Tap Changer, vacuum technology

1. UVOD

Tradicionalni elektroenergetski sustav temelji se na centraliziranim izvorima električne energije, koji opskrbljuju krajnje korisnike jednosmjernim prijenosom putem niza distributivnih transformatora kroz srednjenaponsku i niskonaponsku mrežu. Tok električne energije jasno je definiran, te je on jednosmjernan, što čini distribucijsku mrežu pasivnim sustavom.

Sve veća prisutnost distribuiranih izvora električne energije (DIEE), kao što su vjetroelektrane i fotonaponski sustavi, značajno utječe na naponske i strujne prilike u mreži. Uz rastuću količinu obnovljivih izvora energije, danas postoje i neki novi zahtjevi (klima uređaji, e-vozila, toplinske pumpe, itd. ...) što dodatno utječe na promjene napona i porast varijacija. Velika većina tradicionalnih potrošača, kao što su kućanstva i tvrtke, također sada postaju više ili manje generatori električne energije na svom užem području, ovisno o njihovoj vlastitoj potrošnji i vremenskim prilikama. Problem se javlja ukoliko njihova ukupna proizvodnja električne energije privremeno premašuje potrošnju tog područja. U tom slučaju tok postaje dvosmjernan i mijenja narav distribucijske mreže iz pasivne u aktivnu. Sve navedeno povećava rizik od prekoračenja dopuštenog nazivnog napona koji prema mrežnim pravilima i normi EN 50160 mora biti unutar maksimalno dozvoljenih $\pm 10\%$, duž cijele distributivne mreže.

Sve ove zahtjeve bilo bi teško ispuniti trenutnom infrastrukturom elektroenergetskog sustava s klasičnim distributivnim transformatorima, gdje su se naponske razine mogle korigirati u beznaponskom stanju.

Inteligentno rješenje koje omogućuje prihvata energije iz svih izvora, kako iz centraliziranih tako i iz distribuiranih izvora, te pouzdano distribuira svim potrošačima osiguravajući stabilan napon i kvalitetnu električnu energiju možemo pronaći u regulacijskim distributivnim transformatorima ("RDT").

2. REGULACIJSKI DISTRIBUTIVNI TRANSFORMATOR

Nova generacija regulacijskog distributivnog transformatora opremljena je novom sklopkom koja omogućuje dinamičko održavanje napona pod opterećenjem, za razliku od klasičnog distributivnog transformatora kod kojeg se napon održava ručnom regulacijom u beznaponskom stanju, obično u 3, 5 ili 7 položaja na SN strani.

Tijekom proteklih godina razvijeno je nekoliko različitih rješenja regulacijskih distributivnih transformatora, od nekoliko različitih proizvođača, koji su ugrađivani u distributivnu mrežu. Karakterizirali su ih različite tehničke izvedbe i podržane funkcije, od kojih su neke pobrojane u nastavku:

- mogućnost regulacije pod naponom
- zadržane tlocrtne dimenzije
- mogućnost ugradnje u postojeću mrežu
- mogućnost automatske regulacije
- daljinsko upravljanje
- komunikacijsko sučelje

Končar D&ST iz Zagreba, prati trendove u proizvodnji RDT-a u suradnji s tvornicom Maschinenfabrik Reinhausen iz Regensburga ("MR"). U Končar D&ST-u proizveden je prvi prototip RDT-a 2013. godine, s reaktorskim tipom sklopke pod nazivom "Gridcon iTAP". Godine 2016. dizajniran je novi poboljšani rezistorski tip vakuumske regulacijske sklopke pod nazivom "ECOTAP VPD" i proizveden je i prototip transformatora s novim tipom sklopke. Sustav „Gridcon iTap“ se prvenstveno razlikovao od sustava „Ecotap VPD“ po tom što je za njegovo ispravno funkcioniranje bila potrebna pomoćna prigušnica po svakoj fazi, čiju je funkciju na „Ecotap VPD-u“ u potpunosti preuzela sklopka. Oba tipa sklopke, od dizajna do ispitivanja, savršeno ispunjavaju sve zahtjeve regulacijskog distributivnog transformatora.

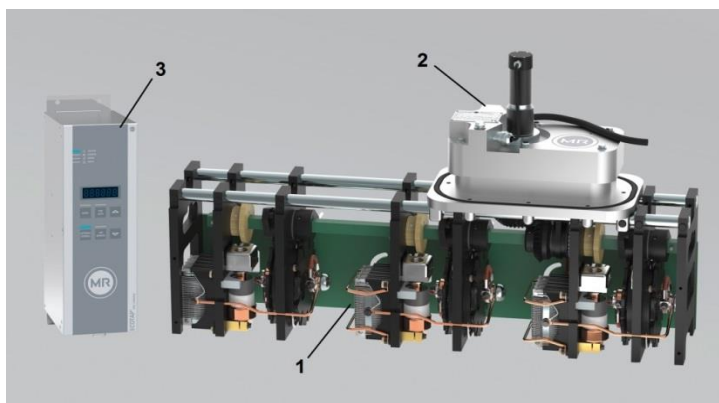
3. VAKUUMSKA SKLOPKA KAO NOVA KOMPONENTA DISTRIBUTIVNIH TRANSFORMATORA

Kompaktne dimenzije omogućuju instaliranje sklopke u gotovo bilo koji klasični distributivni transformator bez značajnijih promjena u tlocrtnim dimenzijama, a tehnologija izrade je gotovo identična. Također, postojeće klasične distributivne transformatore s regulacijom bez opterećenja, moguće je jednostavno zamijeniti u mreži na licu mjesta novim regulacijskim distributivnim transformatorima. Devet položaja sklopke osigurava fini opseg regulacije s preciznijim koracima između promjena koje se odvijaju bez prekida opskrbe. Putem komunikacijskog sučelja, koje se može integrirati u mrežu, može se obavljati nadzor i daljinsko upravljanje.

Najvažnije prednosti novog dizajna sklopke su te što sklopka koristi vrhunsku vakuumsku tehnologiju, koja omogućuje da prekidači bez dodatnih zahtjeva za održavanjem osiguravaju stabilan i pouzdan rad desetljećima, nemaju utjecaja na klasu gubitaka transformatora te zadovoljavaju EU direktivu o ekodizajnu.

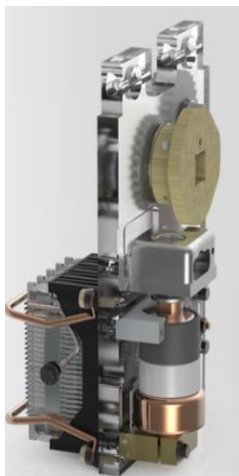
3.1. Sustav nove vakuumske regulacijske sklopke

Sustav nove sklopke sastoji se od tri glavne jedinice prikazane na slici 1.: sklopne jedinice, motorne jedinice i upravljačke jedinice. U nastavku će se ukratko opisati uloga svake od njih.



Slika 1. Dijelovi sustava sklopke: sklopna jedinica (1), motorna jedinica (2) i upravljačka jedinica (3)

Glavna uloga sklopne jedinice je promjena prienosnog omjera transformatora pod opterećenjem. Na ovaj način se automatski podešavaju pozicije u regulaciji, a time i napon u mreži. Izgrađen je na klasičnom principu otpornika velike brzine koristeći vakuumsku tehnologiju koja onemogućuje pojavu iskrenja u transformatorskom ulju. Prekidač s vakuumskim komorama prikazan je na slici 2.



Slika 2. Prekidač s vakuumskim komorama

Regulacija je linearnog tipa i može biti izvedena u maksimalno devet položaja čime su osigurani precizniji koraci između promjena regulacije napona. Srednji, nazivni, položaj regulacije moguće je slobodno odabrati. Najviši nazivni napon koraka je 825 V, najviši napon opreme moguć je do 36 kV te maksimalna struja protjecanja je 30 A ili 100 A.

Glavne tehničke karakteristike nove vakuumske sklopke navedene su u nastavku i prikazane su u tablici 1:

- kompaktne dimenzije
- širok raspon upotrebe u transformatorima do snaga 8 MVA
- usklađenost s Direktivom Europske unije o ekologiji proizvoda (Direktiva 2009/125/EZ)
- 500.000 operacijskih ciklusa bez dodatnih zahtjeva za održavanje
- veći (finiji) opseg regulacije u odnosu na preklopke za promjenu regulacije u beznaponskom stanju
- brzi odgovor na novonastale promjene u mreži
- kompatibilna sa sintetičkim i prirodnim esterima

Tablica I. Tehničke karakteristike nove vakuumske regulacijske sklopke

Broj faza	3
Montaža	U bilo kojoj točki namota
Dopušteni tip transformatora	Transformator s konzervatorom Hermetički transformator Transformator sa zračnim jastukom (na zahtjev)
Max. nazivna struja	30 A; 100 A
Max. nazivni korak napona	825 V
Max. broj pozicija regulacije	9
Najveći dozvoljeni napon opreme	36 kV
Nazivna frekvencija	50/60 Hz
Max. broj operacijskih ciklusa	500,000
Apsolutni dozvoljeni tlak	0,7...1,4 bar

Glavni zadatak upravljačke jedinice je da na osnovu informacija dobivenih od senzora, putem motorne jedinice ostvaruje promjenu prijenosnog omjera napona, što omogućuje brzu reakciju na naponske promjene u mreži. Svi potrebni parametri mogu se postaviti i upravljati bez prijenosnog računala, putem postojećeg komunikacijskog sučelja koji je kompatibilan s mrežnim nadzornim sustavom. Isto tako, ukoliko se jednom pokrene promjena prijenosnog omjera, ona se pouzdano dovršava čak i u slučaju prestanka dotoka električne energije. Upravljačka jedinica je široka samo 10 cm i visoka 35 cm, te se može ugraditi na NN sabirnicu (slika 3). Zahvaljujući zaštiti IP54, može se koristiti i na otvorenom. Glavne tehničke karakteristike upravljačkih i motornih jedinica prikazane su u tablici 2.



Slika 3. Upravljačka jedinica

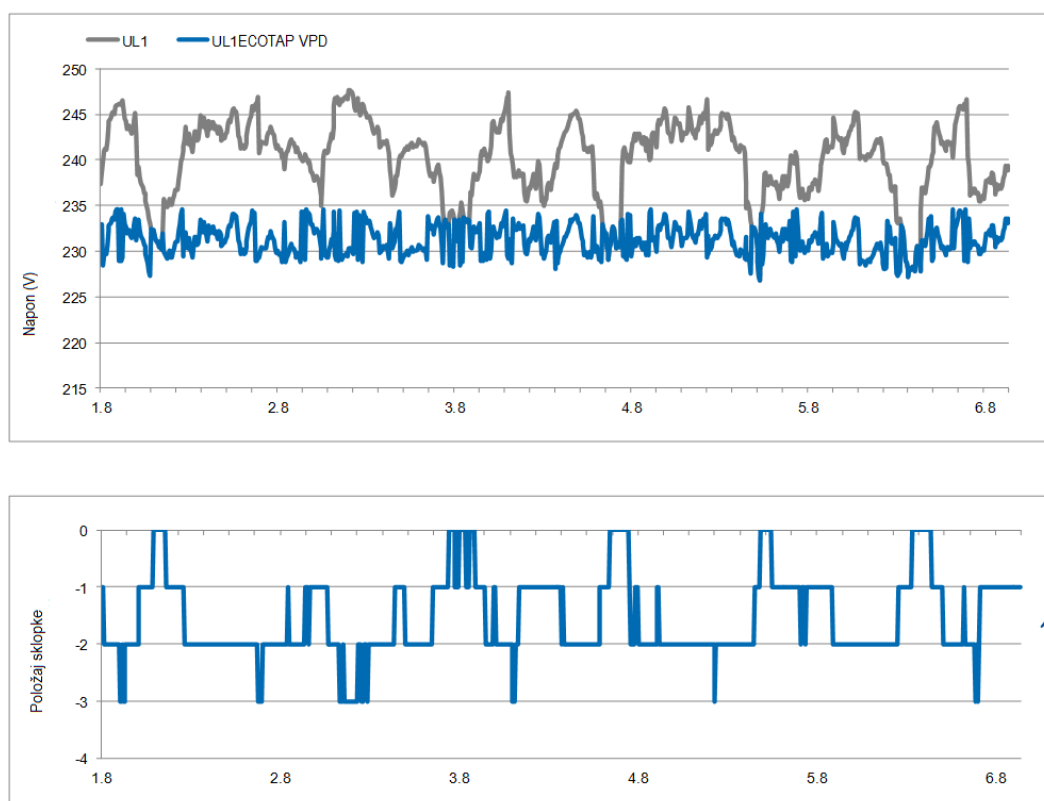
Tablica II. Tehničke karakteristike motorne i upravljačke jedinice

Motorna jedinica	
Trajanje promjene položaja sklopke	app. 300 ms
Najkraće vrijeme između operacija	3 s
Klasa zaštite	IP54
Mogućnost ugradnje	unutrašnja, vanjska
Upravljačka jedinica	
Dozvoljeni raspon napona	100...240 VAC, 50/60 Hz
Potrošnja	Max. 345 VA
Klasa zaštite	IP30
Mogućnost ugradnje	unutrašnja, vanjska uz dodatno kućište

4. ISKUSTVO IZ POGONA RDT-a PRIKLJUČENOG U NJEMAČKOJ DISTRIBUTIVNOJ MREŽI

Na slici 4 prikazan je primjer rada RDT-a kroz jedan tjedan s pratećim promjenama položaja sklopke. Transformator je ugrađen u njemačku distribucijsku mrežu koja je poprilično volatilnog karaktera zbog mnoštva integriranih distribuiranih izvora električne energije. Može se vidjeti kako sklopka djelujući pod opterećenjem regulira napon unutar dozvoljenih odstupanja i koje promjene položaja pritom čini.

Na primjeru sa slike 4 vidi se da sklopka mijenja položaj 12 puta u jednom danu. Inače, prema neslužbenim informacijama najvećih njemačkih distribucija, ugrađeni regulacijski distributivni transformatori na području Njemačke izvode od 5 do 30 promjena položaja sklopke dnevno.



U prosjeku 12 promjena položaja dnevno

Slika 4. Prikaz rada RDT-a u mreži

5. KONSTRUKCIJA REGULACIJSKOG DISTRIBUTIVNOG TRANSFORMATORA

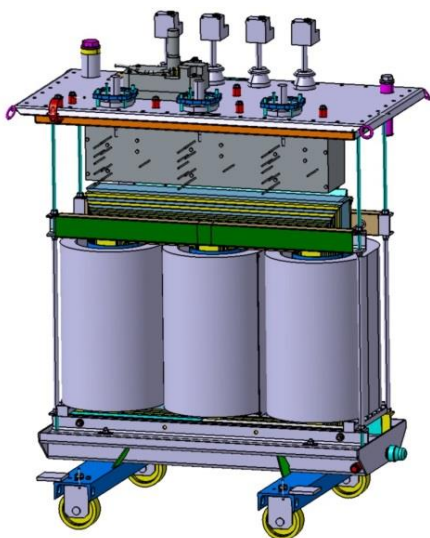
Regulacijski distributivni transformator konstruiran je prema nazivnim podacima prikazanim u tablici 3. U istoj tablici prikazani su i nazivni podaci usporedivog klasičnog distributivnog transformatora s regulacijom u beznaponskom stanju.

Tablica III. Usporedba nazivnih podataka transformatora

	Regulacijski distributivni transformator	Klasični distributivni transformator
Nazivna snaga	400 kVA	400 kVA
Tip transformatora	5TRNO400-24/AB	5TBNO400-24/AB
Prijenosni omjer	20kV±4x2.5%/0.4kV	20kV±2x2.5%/0.4kV
Promjena prijenosnog omjera	Pod opterećenjem	U beznaponskom stanju
Napon kratkog spoja	4%	4%
Gubici praznog hoda	430 W	430 W
Gubici tereta	3850 W	3850 W
Duljina x širina x visina	1210x860x1580 mm	1210x860x1315 mm
Masa ulja	365 kg	270 kg
Ukupna masa	1670 kg	1390 kg

Kao što je prikazano u Tablici 3, garantirani nazivni podaci RDT-a, poput nazivne snage, prijenosnog omjera, napona kratkog spoja, gubitaka i tlocrtnih dimenzija, ostaju zadržani u odnosu na klasični distributivni transformator. Razlike u visini i masama transformatora, rezultat su ugradnje nove vakuumske sklopke na mjestu klasične preklopke.

Model RDT-a s novom vakuumskom prikazan je na slici 5. Transformator je izrađen u hermetičkoj izvedbi. Regulacija je izvedena u koracima od 2.5% višenaponskog namota u devet položaja; četiri položaja iznad i četiri položaja ispod nazivnog napona. Tehnologija izrade jezgre, namota te steznog sustava preuzeta je od klasičnog distributivnog transformatora, kao i tehnologija montaže. Procesi sušenja, punjenja i vakuumiranja RDT-a provedeni su u niskofrekventnom postrojenju (engl. LFH - low frequency heating), kao i kod klasičnih transformatora.

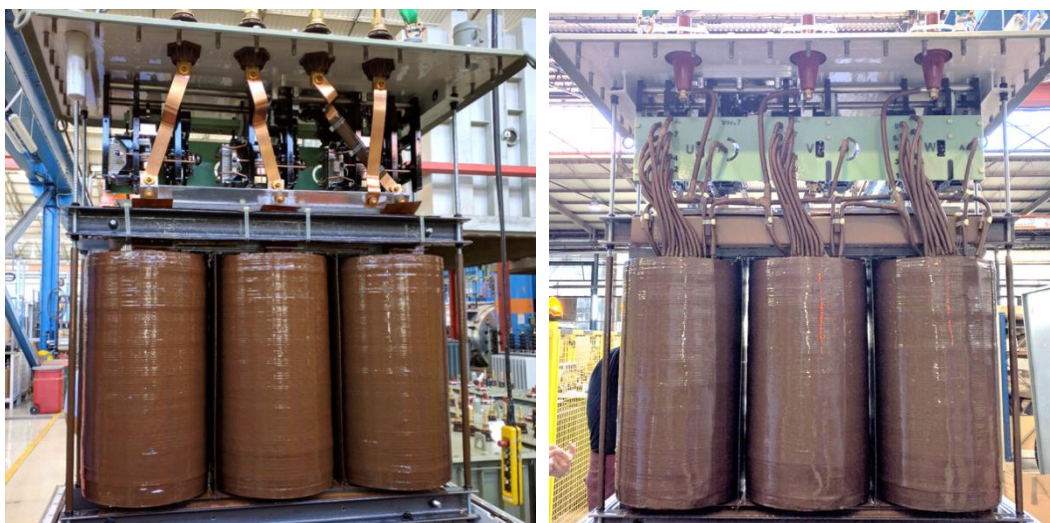


Slika 5. (a) Model RDT-a; (b) Fotografija RDT-a

Nakon procesa sušenja, punjenja i vakuumiranja, transformator je podvrgnut rutinskim, tipskim i specijalnim ispitivanjima.

6. ISPITIVANJA REGULACIJSKOG DISTRIBUTIVNOG TRANSFORMATORA

Sva ispitivanja transformatora provedena su prema normama IEC 60076. Ispitivanjem prienosnog omjera, grupe spoja i otpora dobivene su očekivane vrijednosti. Dielektričnim ispitivanjima provjerena je ispravnost projektiranog izolacijskog sustava. Ispitivanjem udarnim naponom provjerena je otpornost izolacijskog sustava prema atmosferskim prenaponima. Ispitivanje je provedeno u nazivnom tj. petom, te u krajnjim položajima, tj. prvom i devetom. Mjerenjem parcijalnih izbijanja utvrđeno je da u transformatoru ne postoje štetni izvori koji bi ih prouzrokovali. Pokusom zagrijavanja i mjerenjem buke pokazalo se da nova regulacijska sklopka transformatoru ne pogoršava odvođenje topline i ne povećava razinu buke. Također je provedeno ispitivanje dinamičke otpornosti na kratki spoj. Kontrolnim mjerenjima te oscilogramskim snimkama potvrđeno je da je ispitivani RDT izdržao sva dinamička i toplinska naprezanja uzrokovana elektromagnetskim silama kratkog spoja. Nakon ponovljenih rutinskih ispitivanja, vizualnim pregledom je potvrđeno da u aktivnom dijelu transformatora nema nikakvih deformacija. Aktivni dio RDT-a nakon ispitivanja kratkog spoja prikazan je na slici 6.



Slika 6. Aktivni dio RDT-a nakon ispitivanja dinamičke otpornosti na kratki spoj

7. ZAKLJUČAK

Postoje mnoge pogodnosti za integriranje nove generacije distributivnih transformatora s automatskom regulacijom u postojeću mrežnu infrastrukturu, od kojih su neke istaknute u ovom radu. Najvažnije je to da ovo rješenje iskorištava potencijal distribuiranih izvora električne energije (poput vjetroelektana, fotonaponskih sustava,...) koje bilježe porast u mnogim zemljama, održavanjem napona unutar propisanih granica te nema potrebe za širenjem tradicionalne elektroenergetske mreže za svladavanje varijacija napona. Ovdje predstavljena nova generacija regulacijskih distributivnih transformatora, s ugrađenom sklopkom za regulaciju pod naponom, temelji se na već dokazanom rješenju regulacije pod opterećenjem energetskih transformatora.

Prototip regulacijskog distributivnog transformatora s novom vakuuromskom sklopkom za regulaciju pod naponom, kojeg je proizveo Končar D&ST prošle godine prošao je sva rutinska, tipska i specijalna ispitivanja, prema normama IEC 60076 standardu i dokazao da su stečena sva potrebna znanja za daljnju proizvodnju nove generacije regulacijskih distributivnih transformatora.

8. LITERATURA

- [1] Operating instructions, "On-Load Tap-Changer ECOTAP VPD", Maschinenfabrik Reinhausen, 2016.
- [2] S. Carević, M. Bakarić, B. Čučić, M. Mikulić, "Regulating distribution transformer", 4th Session of Cired Croatian National Committee, Trogir, May 11-14, 2014
- [3] IEC 60076, "Power transformers"
- [4] Measurement Examples for VRDT in German Dist. Networks