

# Analiza mogućnosti korištenja automatske regulacije napona na srednjenaponskoj razini

---

Furdi, Lucciano

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University North / Sveučilište Sjever**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:133648>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

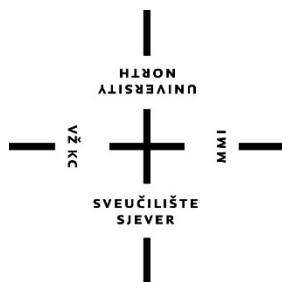
Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-07**



Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)





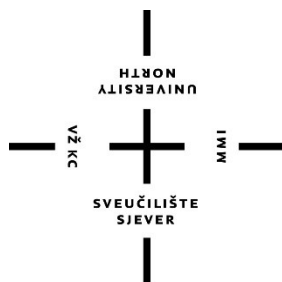
**Sveučilište  
Sjever**

**Završni rad br. 455/EL/2020**

**Analiza mogućnosti korištenja automatske regulacije  
napona na srednjonaponskoj razini**

Lucciano Furdi, 1495/336

Varaždin, studeni 2021. godine



# Sveučilište Sjever

**Odjel za elektrotehniku**

**Završni rad br. 455/EL/2020**

## **Analiza mogućnosti korištenja automatske regulacije napona na srednjonaponskoj razini**

**Student**

Lucciano Furdi, 1495/336

**Mentor**

Izv.prof.dr.sc Srđan skok

Varaždin, studeni 2021. godine

# Prijava završnog rada

## Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

ODJEL Odjel za elektrotehniku

STUDIJ preddiplomski stručni studij Elektrotehnika

PRISTUPNIK Lucciano Furdi

MATIČNI BROJ 1495/336

DATUM 12.06.2020.

KOLEGIJ Razvod električne energije

NASLOV RADA Analiza mogućnosti korištenja automatske regulacije napona na sredjenaponskoj razini

NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU Analysis of OLTC on MV Level

MENTOR Izv.prof.dr.sc. Srđan Skok

ZVANJE Izvanredni profesor

ČLANOVI POVJERENSTVA

1. doc. dr. sc. Ladislav Havaš, dipl.ing.el.
2. dr. sc. Dunja Srpak, dipl.ing.el., predavač
3. Izv.prof.dr.sc. Srđan Skok
4. mr.sc. Ivan Šumiga, dipl.ing.el., viši predavač, - rezervni član
- 5.

## Zadatak završnog rada

BROJ 455/EL/2020

OPIS

Priključenjem distribuiranih izvora (DI) na distribucijsku mrežu, distribucijska mreža se transformira iz „pasivne“ mreže u „aktivnu“, odnosno distribucijska mreža osim tradicionalne obveze opskrbe krajnjih kupaca dobiva i obvezu preuzimanja i evakuiranja proizvedene energije iz elektrana. U pojedinim dijelovima distribucijske mreže proizvodnja iz elektrana može prerasti konzum, pa dolazi do trajnog uzlaznog toka snage kroz transformator SN/SN prema nadređenoj mreži (npr. priključenjem više elektrana u 10 kV izvode proizvodnja iz elektrana preraste konzum transformatorske stanice 35/10 kV). Osim promjene toka snage, priključenjem elektrana u distribucijsku mrežu dolazi do znatnog porasta napona na mjestu priključenja elektrane na distribucijsku mrežu, koji se u periodima minimalne potrošnje u distribucijskoj mreži mogu približiti najvišoj dopuštenoj vrijednosti od 110% Un. U slučajevima kada elektrane preuzimaju dominaciju u utjecaju na naponske prilike te automatska regulacija napona na sučelju prijenosne i distribucijske mreže nije dostatna za održavanje naponskih okolnosti unutar propisanih granica i u dubini mreže, kao jedno od mogućih tehničkih rješenja je uvođenje automatske regulacije napona na transformatorima SN/SN. Potrebno je na konkretnom dijelu distribucijske mreže analizirati mogućnost ugradnje automatske regulacije napona na sredjenaponskoj razini, odnosno na transformaciji 35/10820 kV.

ZADATAK URUČEN 30.06.2020.

POTPIS MENTORA



## **Predgovor**

Srdačno se zahvaljujem cijenjenom mentoru izv. prof. dr. sc. Srđan Skoku na pružanoj pomoći tijekom izrade ovog završnog rada, te Marko Mikulaju mag. ing. el iz HEP – ODS Elektre Čakovec na pomoći tijekom izradbe praktičnog dijela ovog završnog rada. Zahvaljujem se svim profesorima Sveučilišta Sjever koji su tijekom mog obrazovanja uvijek pomogli i prenijeli njihovo znanje koje će mi koristiti u mojoj budućnosti.

## Sažetak

U ovom završnom radu razmatra se mogućnost korištenja automatske regulacije napona na srednjonaponskoj razini. U radu navedeni su glavni dijelovi elektroenergetskih sustava te primjena i kvalitetna dostava električne energije do krajnjih potrošača. Shodno tome rad nadalje govori o rasklopnim postrojenjima. Radom je dan detaljan opis od čega se sastoji rasklopno postrojenje i detaljno je opisan svaki element rasklopnog postrojenja. Nadalje rad objašnjava osnovni princip rada transformatora, njegove gubitke, režime rada i odnose struja i napona u različitim režimima rada. Specijalne izvedbe transformatora također su obrazložene u radu. Glavni dio ovo rada je mjenjač izvoda pod opterećenjem - OLTC (eng. On-load tap changer). Rad objašnjava transformatore s promjenom prijenosnog omjera pod opterećenjem, raspored namota i gubitak opterećenja sustava s jednim kontaktnim prebacivanjem. Rad analizira različite rasporede namota u OLTC i detaljno ih opisuje. Opisan je OLTC uljnog tipa i vakuumski tip OLTC-a, dani su parametri na koje moramo pripaziti kod odabira OLTC-a. Rad sadrži i praktični dio koji je bio odrađen kod HEP ODS Elektra Čakovec. U praktičnom radu obrađuje se utjecaj sunčane elektrane SE Čakovec na naponski profil u pojnim točkama elektroenergetske mreže Elektre Čakovec. Simulacije su rađene u programu "Neplan". Iz shema možemo vidjeti kako automatska regulacija održava i mijenja po potrebi napon mreže i promjene napona SE Čakovec pri minimalnom i maksimalnom opterećenju.

**Ključne riječi:** srednjonaponski elektroenergetski sustav, regulacija napona, naponski profil, OLTC, automatska regulacija napona.

## **Abstract**

This final paper discusses the possibility of using automatic voltage regulation at medium voltage level. The paper lists the main parts of the power system and applies the quality of electricity supply to end users. Accordingly, the paper talks about switchyards. The paper gives a detailed description of what a switchyard consists of and describes each element of switchyards in detail. Furthermore, the paper explains the basic operation principle of a transformer, its losses, operating modes and current and voltage relations in different operating modes. Special transformer designs are also explained in the paper. The main part of this paper is the On-load tap changer – OLTC. The paper explains transformers with change of load ratio under load, winding arrangement and load loss of systems with one contact switching. The paper analyses different winding arrangements in OLTC and describes them in detail. Oil type OLTC and vacuum type OLTC are described, the parameters that must be taken into account when choosing OLTC are given. The paper also contains a practical part that was done at HEP ODS Elektra Čakovec. Practical paper deals with the influence of the solar power plant SE Čakovec on the voltage profile in the connection points of the electric power network of Elektra Čakovec. Simulations were done in the "Neplan" program. We can see from the diagrams how the automatic control maintains and changes the voltage as needed. We can also see changes in the voltage of SE Čakovec at minimum and maximum load.

**Tags:** medium voltage power system, voltage regulation, voltage profile, OLTC, automatic voltage regulation

## Popis korištenih oznaka i kratica

AC	Izmjenična struja
ARS	Advanced retard switch
EAF	Električna peć
HEP	Hrvatska elektroprivreda
HOPS	Hrvatski operator prijenosnog sustava
IEC	Međunarodno elektrotehničko povjerenstvo
IEEE	Institut inženjera elektrotehnike
MBB	Princip "make before break"
MO	Metal-oksidni odvodnik
NN	Niski napon
ODS	Operator distribucijskog sustava
OLTTC	Mjenjač izvoda pod opterećenjem
PST	Fazno pomični transformator
SE	Sunčana elektrana
$SF_6$	Sumporov heksafluorid
SiC	Silicij-karbidni odvodnik
SN	Srednji napon
VN	Visoki napon
TS	Transformator
kV	Kilo volt
U	Napon
$I_n$	Nazivna struja
$N_1$	Broj namota primara
$N_2$	Broj namota sekundara
$I_1$	Struja primara
$I_2$	Struja sekundara
$I_{1n}$	Nazivna struja primara
$U_{1n}$	Nazivni napon primara



## Sadržaj

<b>1. Uvod .....</b>	<b>1</b>
<b>2. Električna energija i elektroenergetski sustav.....</b>	<b>3</b>
2.1 Uloga i zadaci rasklopnog postrojenja .....	4
<b>3. Transformatori.....</b>	<b>16</b>
3.1 Specijalni transformatori .....	20
<b>4. Transformatori s promjenom prijenosnog omjera pod opterećenjem.....</b>	<b>25</b>
4.1 Primjeri shema namotavanja .....	29
4.2 OLTC uljanog tipa.....	33
4.3 Vakuumski tip OLTC-a .....	37
4.4 Odabir OLTC-a.....	40
<b>5. Utjecaj sunčane elektrane SE Čakovec na naponski profil u pojnim točkama elektroenergetske mreže elektre Čakovec.....</b>	<b>41</b>
<b>6. Zaključak.....</b>	<b>50</b>
<b>7. Literatura .....</b>	<b>.....</b>

## 1. Uvod

Napon za razliku od frekvencije je lokalna značajka elektroenergetskog sustava (EES). Tijekom nazivnog rada elektroenergetskog sustava opterećenje se mijena. To opterećenje rezultira promjenama napona u čvorištima sustava. Da bi oprema u elektroenergetskim postrojenjima radila ispravno, zahtjeva se održavanje napona u određenim granicama, trošila su osjetljiva na promjene napona veće od  $\pm 5\%$ . Kako bi napon u čvorištima sustava održavali unutar propisanih granica, potrebno ga je lokalno kontrolirati. Jedan od uređaja s kojim lokalno kontroliramo napon u realnom vremenu su transformatori s regulacijskom preklopkom koji mogu mijenjati prijenosni omjer pod opterećenjem (eng. OLTC – On-Load Tap Changers).

Transformatori snage opremljeni sa OLTC bili su glavne komponente električnih mreža i industrijske primjene gotovo 90 godina. OLTC omogućuje regulaciju napona i/ili faznog pomaka mijenjanjem omjera transformatora pod opterećenjem bez prekida.

Od početka razvoja OLTC koristili su se dva principa prebacivanja opterećenja:

1. Brzi otpornički tip OLTC-a
2. Reaktorski tip OLTC-a

Tijekom desetljeća oba principa su razvijena u pouzdane dijelove transformatora koji su dostupni u širokom rasponu. Te komponente pokrivaju potrebe današnjih mreža i industrijskih procesnih transformatora i osiguravaju optimalnu kontrolu sustava i procesa.

Većina otporničkih OLTC-a ugrađena je unutar spremnika transformatora dok reaktorski OLTC ima posebni odjeljak koji je normalno zavaren na spremnik transformatora. Ovaj rad se odnosi na OLTC uronjene u transformatorsko mineralno ulje. Upotreba ostalih izolacijskih tekućina ili plinska izolacija zahtjeva odobrenje od OLTC proizvođača.

OLTC-i su neophodni u regulaciji energetske transformatora koji se koriste u elektroenergetskim mrežama. U ovom radu se objašnjava tehnološki razvoj OLTC-a otporničkog i reaktorskog tipa. Raspravlja se o glavnim načelima prebacivanja te njihova upotreba u praksi.

Porastom potrošnje energije u srednjoj naponskoj mreži dolazi do pada napona zbog veće potrebe za energijom. Tada OLTC mora prilagoditi razinu napona. Regulator napona

konstantno prati razinu napona mreže. Ako razina napona dulje prelazi unaprijed definirani raspon, oslobađa se uklopni impuls i aktivira se mehanički prekidač. Namotaji transformatora postavljeni su na novi prijenosni omjer kako bi se kompenzirao pad napona mreže. To je temeljni način regulacije napona u SN mreži i princip rada OLTC [1].

## 2. Električna energija i elektroenergetski sustav

Najveći dio električne energije nastaje pretvorbom mehaničke energije koja se dobiva pretvorbom toplinske, potencijalne i kinetičke energije. Postrojenja u kojima se obavlja pretvorba mehaničke energije u električnu energiju nazivamo elektranama. Manji udio električne energije dobiva se pretvorbom kemijske energije, energije sunca i toplinske energije. Iz toga možemo zaključiti da je elektroenergetski sustav dio energetske sustava pa se ne može planirati ni razvitak ni korištenje elektroenergetskog sustava bez kompleksnog razmatranja energetske potrošnje. Glavni cilj elektroenergetskog sustava je osiguravanje kvalitetne isporuke električne energije uz minimalne troškove.

Tehnološki proces u elektroenergetskom sustavu kreće osiguravanjem dovoljnih količina prirodnih oblika energije, zatim slijedi proizvodnjom električne energije i završava prijenosom i distribucijom proizvedene električne energije do krajnjih potrošača. Da bi taj sustav uspješno funkcionirao, na vrijeme treba planirati razvitak i izgradnju elektroenergetskog sustava i dobro voditi korištenje sustava.

Osnovni dijelovi elektroenergetskog sustava su:

- Potrošači električne energije
- Rasklopna postrojenja, prijenosne i razdjelne mreže
- Izvori električne mreže

U današnjici električna energija se uveliko primjenjuje jer je to najčišći oblik korisne energije i njezinom primjenom čovjekov okoliš ostaje očuvan. Veći i bolji životni standard zahtijeva i veću uporabu električne energije. Velika primjena električne energije ima za posljedicu veću promjenjivost tijekom dana, tjedna, mjeseca i godine. Te posljedice nastaju uslijed uključanja ili isključenja postojećih potrošača, uključanja novih potrošača, promjene temperature i vjetra. Sezonske varijacije potrošnje električne energije javljaju se zbog klimatskih i životnih prilika u kojima žive potrošači, ovise o strukturi potrošača u elektroenergetskom sustavu.

U dnevnim promjenama opterećenja javlja se utjecaj razine aktivnosti tijekom dana. Aktivnosti koje se provode pri planiranju u elektroenergetskom sustavu i odluke koje se u vezi s tim donose, u funkcijskoj su vezi sa slijedom vremenskih intervala u razdoblju planiranja. Ukupno razdoblje planiranja obuhvaća razdoblje više od godina do jednog sata.

Osnovna uloga elektroenergetskog sustava se sastoji u isporučivanju određene količine električne energije, određene kvalitete i sigurnosti isporuke uz prihvatljive ekonomske uvjete dobave, na čemu se zasniva opći društveni razvitak, fizički porast gospodarstva i njegov kvalitativan razvitak na temelju sve intenzivnije primjene tehničkog napretka [2].

## **2.1 Uloga i zadaci rasklopnog postrojenja**

Glavna uloga rasklopnih postrojenja je da u bilo kojem trenutku osiguravaju kvalitetnu dobavu električne energije od izvora do potrošača. Proizvedena električna energija doprema se od izvora do potrošača i može se izvesti na nekoliko načina. Jedan način je da se potrošač izravno spoji na izvor ali zbog ekonomskih razloga to je neprihvatljivo. Postoji i drugo rješenje koje je prihvatljivo a to je da se izgradi električna mreža između izvora i potrošača, tako se potrošač može priključiti na bilo kojem mjestu. Potrošač niti ne osjeti ako dođe do kvara izvora jer njegovu ulogu tada preuzima drugi izvor.

Ako se desi kvar na nekom prijenosnom elementu, to rezultira ispadom iz pogona. Tada se prijenos energije vrši pomoću drugih elemenata mreže. Mreža uvijek ima čvorne točke koje su tako koncipirane da se na njih može priključiti ili izvor ili potrošač, direktno ili indirektno preko nekog prijenosnog sustava.

Povećanjem potrošnje električne energije dolazimo u situaciju gdje trebamo izgraditi velike elektrane i velike prijenosne mreže visokog napona čija trasa zauzima veliki prostor i koje su poveznice susjednih sistema i velikih potrošačkih područja. Nije moguće transformirati struju bez posebnih postrojenja. To je zadaća rasklopnih postrojenja.

Rasklopna postrojenja su točke elektroenergetskog sustava u kojima se proizvedena električna energija distribuira i transformira do mjesta opterećenja. Povezivanjem tih točaka dobili smo mrežu. Rasklopna postrojenja dijele se na transformatorske stanice i razvodne stanice. Ako u rasklopnom postrojenju osim čvorova vodova postoji i transformacija koja povezuje mreže različitih napona, tada govorimo o transformatorskoj stanici, a ako je rasklopno postrojenje s čvorovima vodova istog napona i nema transformacije, tada govorimo o razvodnim stanicama. Ponekad transformatorska stanica može preuzeti ulogu čvorišta u mreži. Obavezno ima ugrađen barem jedan energetski transformator i barem dva rasklopna postrojenja. Generatorsko postrojenje ima funkciju priključenja generatora na mrežu i sadrži blok transformator i rasklopno postrojenje.

Rasklopna postrojenja možemo razlikovati prema smještaju na unutarnje i vanjske. Postrojenja koja su unutarnje izvedbe smještena su u zgradama, elementi u postrojenjima unutarnje izvedbe su zaštićeni od vanjskih utjecaja. Postrojenja koja su unutarnje izvedbe u slučaju visokih napona zahtijevaju i velike zgrade što rezultira velikim troškom izgradnje. U slučaju visokih napona prelazi se na postrojenja koja su vanjske izvedbe, konstrukcija elemenata mora biti dobra da bi mogli ispravno funkcionirati kada su izloženi vanjskim utjecajima.

Elementi pojedinog dijela rasklopnog postrojenja unutarnje izvedbe mogu biti postavljeni između pregrada i to tako da je svaki dio postrojenja posebno smješten u ćeliju. U nekim slučajevima mogu se izvoditi postrojenja bez pregrada. Postoje i zatvorene izvedbe rasklopnih postrojenja u kojima je cijela ćelija oklopljena limom [3].

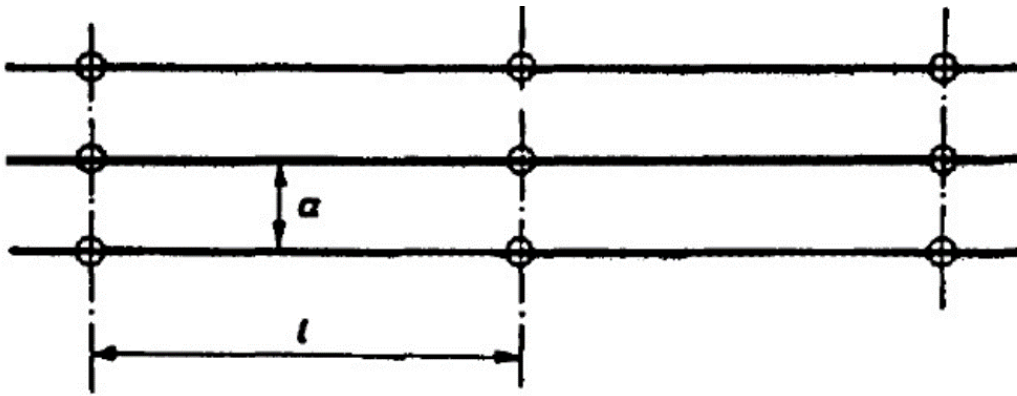


*Slika 2.1 Rasklopno postrojenje [3]*

Rasklopna postrojenja sastoje se od:

- Sabirničkih i spojnih vodiča
- Kabela u postrojenjima, rastavljača, prekidača, sklopki, osigurača
- Odvodnika prenapona
- Mjernih transformatora
- Energetskih transformatora u postrojenjima
- Prigušnica, kondenzatora, otpornika

**Sabirnice** su osnovni element rasklopnog postrojenja. One povezuju vodove i transformatore koji dovode energiju s vodovima i transformatorima koji tu energiju odvođe. Odabir presjeka sabirnice obavlja se u odnosu na maksimalnu struju u nazivnom pogonu, te na dinamičko i termičko naprezanje za vrijeme kratkog spoja. Ako dolazi do transformacije napona, radi se o trafostanici. Uloga transformatora je prijenos energije s jedne naponske razine na drugu. Sabirnice se izrađuju od neizoliranih aluminijskih ili bakrenih vodiča. Okrugli, plosnati i U profili vodiča koriste se za unutrašnje izvedbe rasklopnih postrojenja do 35 kV nazivnog napona, za postrojenja viših napona koriste se cijevi ili užad bez obzira kakve su izvedbe. Odabir presjeka sabirnice ovisi o maksimalnoj struji koja protječe kroz najopterećeniji dio sabirnice u nazivnom radu.



Slika 2.2 Primjer sabirnice [3]

**Rastavljači** su elementi rasklopnog postrojenja i služe za vidljivo odvajanje jednog dijela postrojenja od drugog koji je pod naponom. Odabir rastavljača vrši se prema nazivnom naponu i maksimalnoj struji u nazivnom radu, a kontroliraju se s obzirom na udarnu struju kratkog spoja. Njihova najvažnija zadaća je povećati sigurnost osoblja koja radi u nekom dijelu postrojenja. Maksimalna struja kroz rastavljač određuje se tako da se ispituju svi mogući slučajevi nazivnog rada iz čega se može odrediti najveća moguća snaga u nazivnom radu koja se može prenijeti rastavljačem  $S_{max}$ . Pa je maksimalna struja  $I_{max}$  kroz rastavljač [3]:

$$I_{max} = \frac{S_{max}}{\sqrt{3} U_n} \quad (2.1)$$

Nakon odabira rastavljača prema nazivnoj struji  $I_n$ , provjerava se da li rastavljač zadovoljava slijedeće uvjete:

- Mehanička naprezanja
- Zagrijavanje prilikom trajanja kratkog spoja



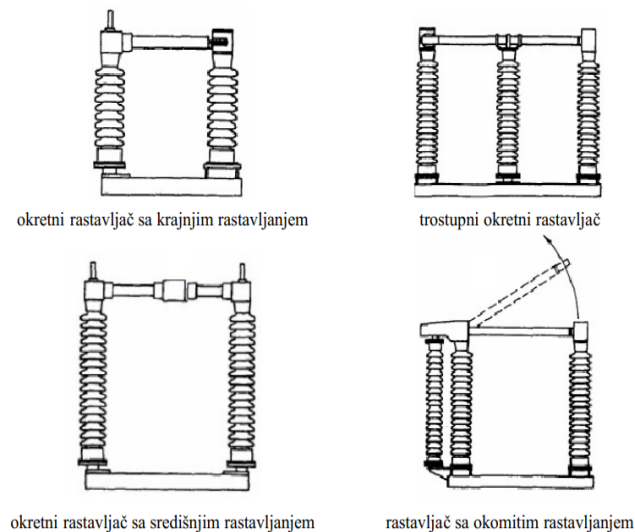
*Slika 2.3 Rastavljač za napon 10 kV [3]*

Rastavljač ne možemo koristiti za prekidanje struje jer ne sadrži medij za gašenje luka. Isklapanje i uklapanje rastavljačem radi se kada rastavljačem ne teče struja [3].

Rastavljači tri faza spojeni su tako da se istovremeno provodi i uklapanje i isklapanje.

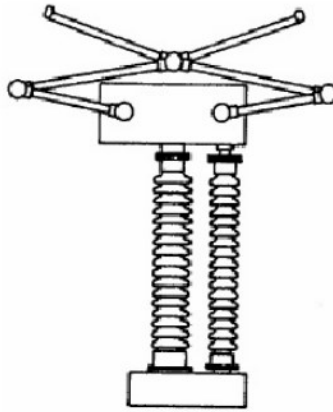
Upravljanje s rastavljačem može se podijeliti na:

- Ručno – poluge su vezane s osovinom rastavljača
- Pneumatsko – osovinu rastavljača pokreće štap na koji djeluje komprimirani zrak
- Električno – osovinu rastavljača okreće motor



*Slika 2.4 Vrste rastavljača [3]*





pantografski rastavljač

*Slika 2.5 Pantografski rastavljač [3]*

**Prekidači** su elementi rasklopnog postrojenja čija je funkcija sklapanja i vođenja struje u nazivnom radu ali se i koristi za prekidanje struja kratkog spoja. Prekidač mora obavljati:

- Ponovno automatsko uklapanje
- Sklapanje neopterećenih vodova
- Isklapanje neopterećenih vodova
- Sklapanje prigušnica, visokonaponskih asinkronih motora, kondenzatorskih baterija

Kada se isklopi prekidač kroz koji teče struja javlja se električni luk između kontakata prekidača. Prilikom rastavljanja kontakata njihov materijal se zagrijava pa dolazi do topljenja i isparavanja zbog velike gustoće struje na dodirnoj površini netom prije rastavljanja.

Javlja se problem gašenja električnog luka, proces je kompliciran zbog utjecaja na električne, magnetske, kemijske, termodinamičke i hidro dinamičke pojave. Ovisno je o vrsti prekidača i medija koja će pojava utjecati na gašenje električnog luka. Ako postoji takav slučaj potrebno je:

- Brzo povećati razmak između kontakata kako bi se što prije postigla udaljenost na kojoj se luk gasi i koja će spriječiti njegovu ponovnu pojavu
- Smanjiti presjek luka kako bi se povećao njegov pad napona
- Osigurati odvođenje topline

Kada je u pitanju gašenje električnog luka, stvari postaju lakše zbog toga što napon mreže i struja luka nakon svake poluperiode prolaze kroz nulu. U trenutku prolaska struje kroz nulu

gasi se luk ali se ponovno javlja ako je potreban napon za ponovno paljenje luka manji od napona mreže, električni luk se neće upaliti i gašenje je postignuto. Gorenjem električnog luka ispušta se toplina koja može uzrokovati velika termička i mehanička naprezanja. Gorenjem luka može doći do:

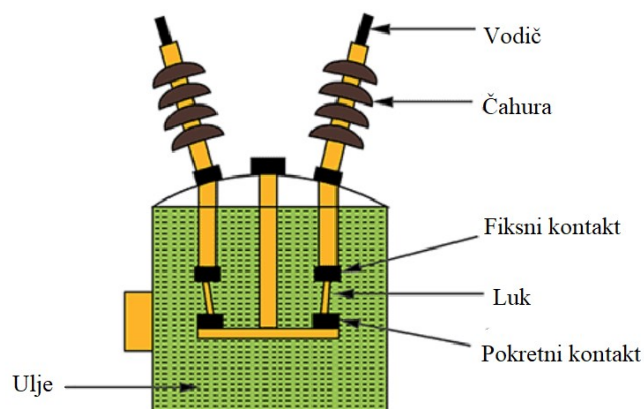
- Izgaranja kontakata
- Oštećenje izolacije
- Povećanje unutrašnjeg tlaka pri razgrađivanju ulja i zagrijavanja plina (može doći do eksplozije)

Nakon gašenja luka prolaskom struje kroz nulu treba osigurati da električna čvrstoća među kontaktnog prostora bude dovoljno velika da ne dođe do ponovnog paljenja luka. Ako to nije napravljeno, luk se ponovno pali sve do ponovnog prolaska kroz nulu[3].

U istosmjernim krugovima struja ne prolazi kroz nulu, pa za gašenje luka, struju je potrebno natjerati da prođe kroz nulu. Potrebno je povećavati otpor luka, odnosno napona luka i to tako da postane veći od napona mreže [3].

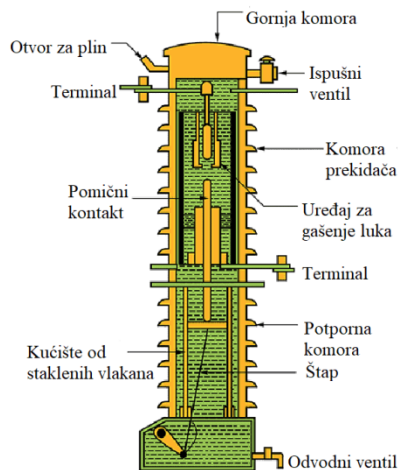
Izvedbe prekidača:

- Uljni prekidači – U nazivnim uvjetima ti kontakti su međusobno povezani i postoji mogućnost provođenja električne struje. U stanju kvara ti kontakti su međusobno odvojeni i između tih kontakata udarit će električni luk. Taj luk stvara toplinu i isparava ulje oko sebe. Nestabilan porast luka snažno pomiče ulje oko luka okruženog plinom. Kada udaljenost između statičnog i rotirajućeg kontakta luka dosegne određenu kritičnu vrijednost, struja luka i oporavak se temelje na naponu oporavka. Funkcija ovog prekidača je vrlo pouzdana, laka i jeftina [4].



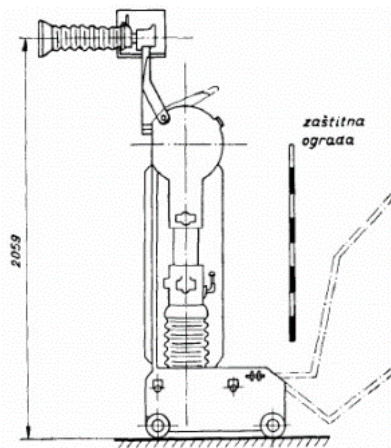
Slika 2.6 Uljni prekidač [4]

- Malouljni prekidači – Spremnik je montiran na porculanski izolator za izolaciju tla. Sastavljeni su od lučne komore zatvorene unutar papira s pozadinskim osvjetljenjem. Ovaj prekidač sastoji se od dva dijela. Gornji dio je porculan koji je zatvoren kontaktima, dok je drugi dio podržan porculanom. Glavne prednosti ovog prekidača su što zauzima manje prostora, koristi manje ulja i ima manju težinu pa je spremnik manji i ne zahtijeva puno održavanja [4].



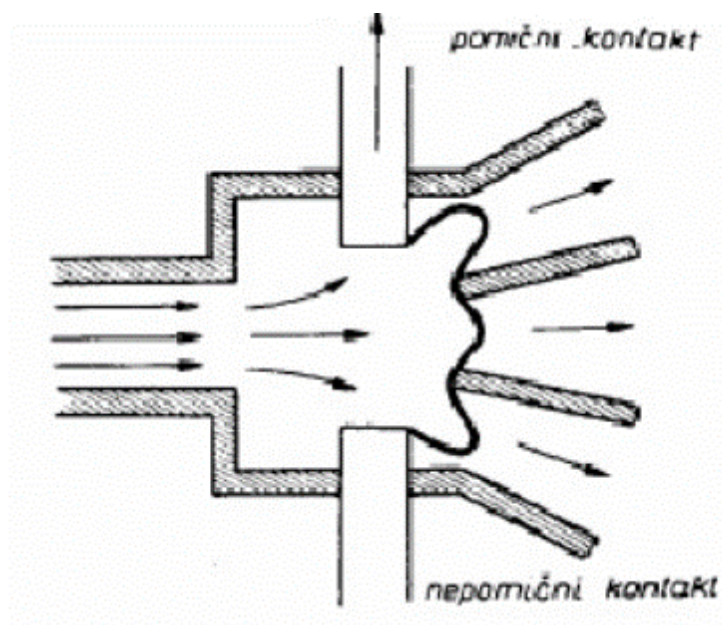
*Slika 2.7 Malouljni prekidač [4]*

- Hidromatski prekidač – To su malouljne sklopke koje imaju elastičnu komoru. Medij za gašenje luka je voda umjesto ulja. Vodi se dodaje glikol, koje je sredstvo protiv smrzavanja. Zbog vodljivosti vode, postoji mogućnost preranog luka između kontakata prilikom uklapanja, što je veći napon to je veća mogućnost. Zbog toga ova vrsta sklopki za napone iznad 10 kV izvode se s posebnim uređajem za dovođenje vode u komoru za vrijeme isklapanja. Pomični kontakt u uklopljenom stanju pritišće štap za dovođenje vode u komoru za gašenje. Pomični kontakt naglo kreće prilikom isklapanja, a s njim i pritisnuti štap koji ubacuje vodu u komoru za gašenje [3].



Slika 2.8 Hidromatski prekidač [5]

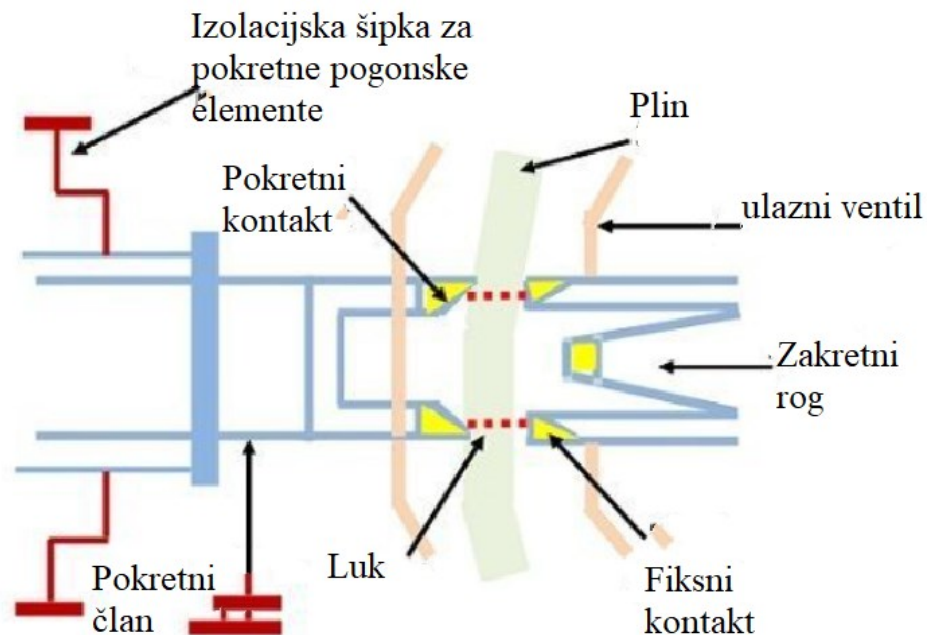
- Pneumatski prekidači – Kod ove vrste prekidača medij za gašenje luka je komprimirani zrak koji struji uzdužno i poprečno na luk. Strujanje zraka hladi luk ali i sprječava ponovni nastanak luka odvođenjem svježeg medija u među kontakti prostor. Komprimirani zrak ima bolja dielektrična i toplinska svojstva od atmosferskog zraka. Zamjena medija svježim je vrlo važna u sprječavanju ponovnog paljenja luka zbog loše toplinske vodljivosti zraka [5].



Slika 2.9 Pneumatski prekidač [5]

- $SF_6$  prekidači – sumpor-heksafluorid prekidači – Medij je plin s dobrim sredstvima za gašenje luka zbog 15% veće probojne čvrstoće u odnosu na ulje. Velika elektronegativnost plina utječe na slobodne elektrone koji su nastali termoionizacijom pa se vežu za neutralne molekule koje se ne mogu dovoljno ubrzati za daljnju ionizaciju

zbog velike gustoće plina. Elektronegativnost doprinosi dielektričnoj čvrstoći i brzom deionizaciji među kontaktnog prostora. Sumporov heksafluorid je elektronegativan plin što znači da je sklon elektronima i padanjem temperature, atomi fluora se vežu za slobodne elektrone, to rezultira nastankom teško pokretljivih iona i vodljivost luka se smanjuje. Ima jako dobru toplinsku vodljivost čak i kod malih struja pa se luk naglo hladi i naglo mu pada vodljivost [5].



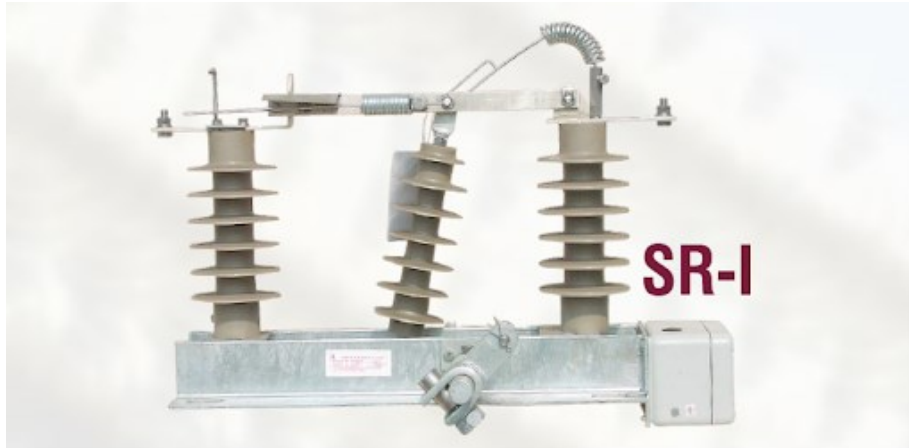
Slika 2.10 SF<sub>6</sub> prekidač [5]

**Učinski rastavljači** – Drugim nazivom rastavne sklopke, možemo ih podijeliti prema izvedbi i djelovanju. Prema izvedbi su rastavljači a prema djelovanju su prekidači. Ostvaruju razmak kao i rastavljači u otvorenom prostoru, na kratko vrijeme mogu voditi struje kratkog spoja ali ih ne mogu prekidati. Dijele se na:

- Učinski rastavljači za opću upotrebu – Mogu sklapati manje ili jednake struje od nazivne, struje magnetiziranja neopterećenih transformatora, vodova i kabela. Koriste se kod distributivne i prijenosne mreže gdje je faktor snage veći od 0.7
- Učinski rastavljači za ograničenu potrebu – Koriste se samo u nekoliko slučajeva, npr. sklapanje neopterećenih transformatora

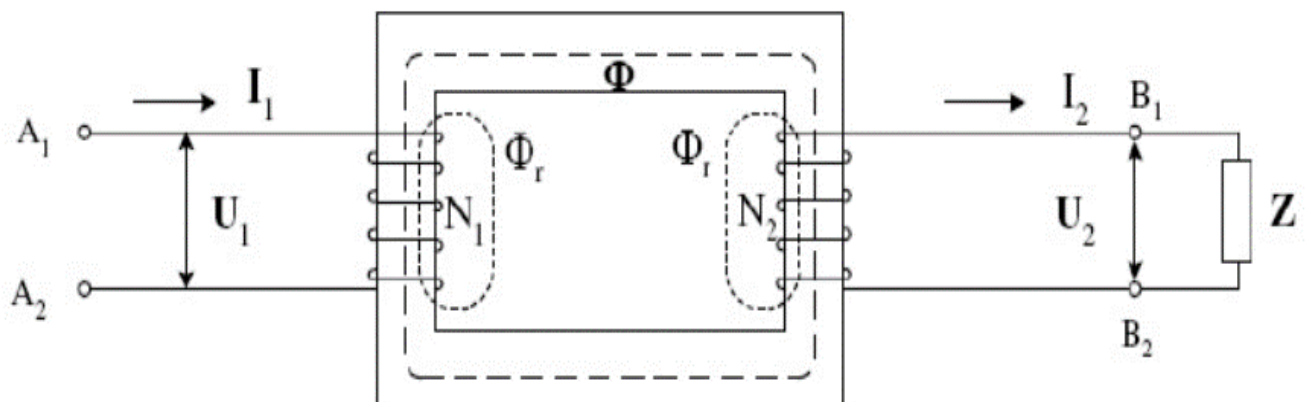
Učinski rastavljači za posebnu namjenu – Koriste se za sklapanje kondenzatorskih baterija, visokonaponskih asinkronih motora i prigušnica

Jednostavnije i jeftinije su izvedeni u odnosu na prekidače i u dosta slučajeva oni mijenjaju prekidače i rastavljače. Namjena im nije prekidanje struja kratkog spoja pa im se iz tog razloga u seriju spoji osigurač. Primjena takvog spoja je ograničena do 35 kV. Medij za gašenje električnog luka im je plin. Tlak raste pojavom luka u komori što dovodi do strujanja plinova okomito na smjer luka, pomični kontakt time oslobađa otvor komore [5].



Slika 2.11 Učinski rastavljač [5]

**Mjerni transformatori** – Dije se na strujne i naponske mjerne transformatore. Primjenjujemo ih kod transformacija velikih izmjeničnih struja i napona na male vrijednosti koje nisu opasne za ljude i mjerne instrumente. Imaju dva međusobno izolirana namota, Primar  $N_1$  i sekundar  $N_2$ . Napon  $U_1$  dovodi se na primar i njegovim djelovanjem teče struja  $I_1$ . Javlja se uzbudna sila na primaru  $I_1 N_1$  koja stvara magnetski tok. Struja primara  $I_1$  i njezin tok su izmjenični pa se na sekundaru inducira elektromotorna sila  $E_2$ . Djelovanjem elektromotorne sile, kroz opterećenje  $Z$  počinje teći struja  $I_2$ . Napon  $U_2$  nastaje na krajevima sekundara.



Slika 2.12 Shema mjernog transformatora [5]

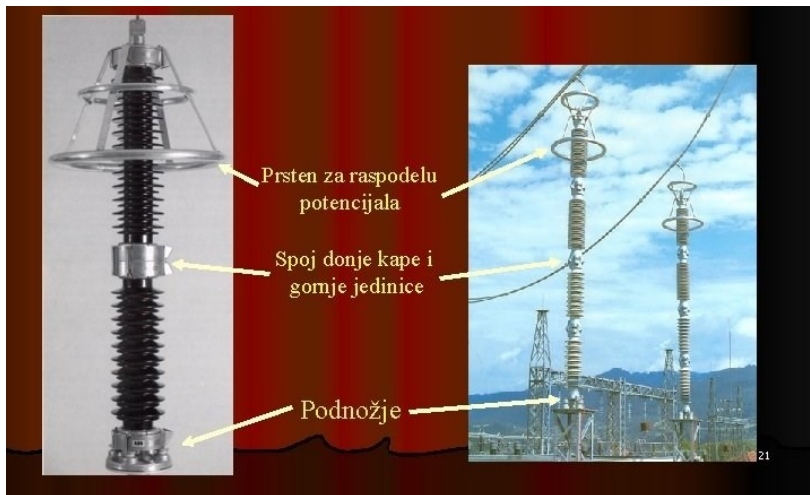
Kada govorimo o strujnim mjernim transformatorima, struja primara je veća od struje sekundara pa je zbog toga  $N_1 > N_2$ . Primarni namoti izrađeni su s različitim presjekom u funkciji nazivne primarne struje  $I_{1n}$ . Transformator s nazivnom strujom  $I_{1n}$  u iznosu od 500 A, primar se može prikazati kao jedan namotaj u obliku bakrene šine koja prolazi kroz otvor jezgre. Kod naponskih mjernih transformatora napon primara je veći od sekundarnog napona pa je zbog toga  $N_1 > N_2$ . Nazivni sekundarni napon  $U_{2n}$  prema standardima je 100 V ili  $\frac{100}{\sqrt{3}}$  V u ovisnosti od nazivnog primarnog napona  $U_{1n}$  [5].



*Slika 2.13 Mjerni transformator 110 kV [5]*

**Odvodnici prenapona** – to su temeljni zaštitni uređaji. Prethodna tehnologija bazirala se na silicij-karbidni odvodnik (SiC) a današnja tehnologija se bazira na metal-oksidni odvodnik prenapona (MO). Prednosti metal-oksidnih odvodnika su [5]:

1. Bolja U-I karakteristika
2. Bolja mogućnost apsorpcije energije prenapona
3. Bolja pouzdanost



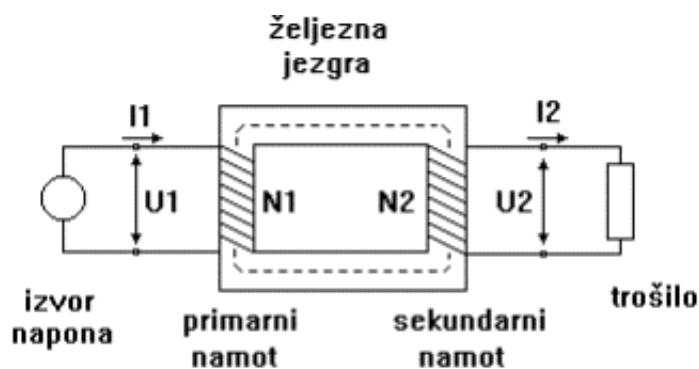
*Slika 2.14 Odvodnik prenapona [5]*



### 3. Transformatori

Transformator je sastavljen od dvije zavojnice koje imaju zajedničku jezgru napravljenu od željeza koja služi za prijenos magnetskog toka iz jedne zavojnice u drugu. Sastoji se od pločica postavljenih u niz kako bi se izbjegao efekt vrtložnih struja, vrtložne struje možemo objasniti tako da stavimo neki veliki metalni predmet u promjenjivo magnetsko polje pa se u njemu induciraju male zatvorene strujne petlje. Primar i sekundar su namotani na jezgru pa čine zatvoreni krug i time se osigurava da gotovo sav tok induciran u zavojnici prolazi kroz jezgru.

Izvor AC napona potjera struju  $I_1$  kroz primar te ona stvara magnetsko polje. Silnice polja induciranog strujom  $I_1$  prolaze kroz jezgru i kroz sekundarni namot. Magnetsko polje je promjenjivo pa se na sekundaru inducira AC napon iste frekvencije kao na primaru. Ako se napon želi povećati, struja se treba proporcionalno smanjivati i obrnuto, smanjenjem napona struja na sekundaru se proporcionalno povećava.



Slika 3.1 princip rada transformatora [6]

Željezna jezgra kod transformatora koristi se zbog veće i bolje povezanosti primara i sekundara. Magnetski tok prolazi kroz jezgru i tako se smanjuje rasipanje magnetskih silnica. Jezgra transformatora obično se izrađuje od međusobno izoliranih limova i time se smanjuju gubici nastali zbog vrtložnih struja. Kod realnih transformatora moramo uzeti u obzir da imaju gubitke zbog histereze i gubitke zbog vrtložnih struja. Rasipni magnetski tokovi se također uzimaju u obzir, obuhvaćaju samo jedan dio svitaka [6].

Kod realnih transformatora ne možemo zanemariti gubitke u bakru, gubitke u željezu niti gubitke rasipnih magnetskih tokova primara i sekundara [7].

Gubici u bakru nastaju zbog omskih otpora vodiča:

$$P_{cu} = I_1^2 \cdot R_1 + I_2^2 \cdot R_2 \quad (3.1)$$

Gdje je:

$R_1$ - otpor primara

$R_2$ - otpor sekundara

Gubici u željezu nastaju zbog gubitaka vrtložnih struja i gubitaka zbog histereze. Računamo ih na temelju specifičnih gubitaka kod frekvencije od 50Hz i indukcije od 1T.

$$P_{fe} = [P_{fe,h1} \cdot \frac{f}{50} \cdot B^x + P_{fe,v1} \cdot (\frac{f}{50} \cdot B)^2] \cdot m_{fe} \quad (3.2)$$

Gdje je:

$P_{fe,h1}$ - specifični gubici histereze kod 1T i 50Hz na 1kg lima

$P_{fe,v1}$ - specifični gubici vrtložnih struja kod 1T i 50Hz na 1kg lima,

$x$ - eksponent za razne kvalitete lima i razne indukcije

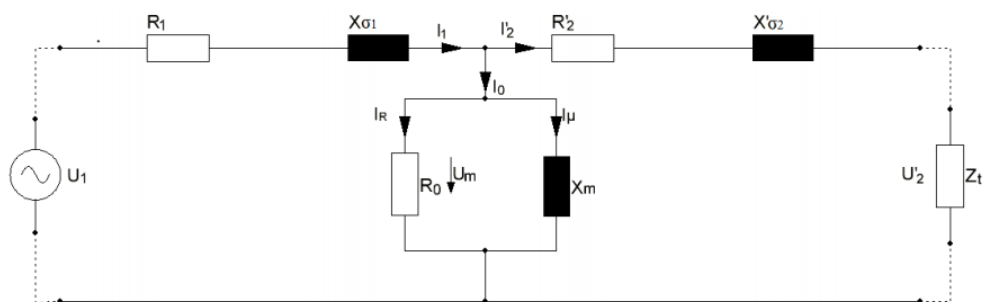
U transformaciji ne sudjeluju rasipni tokovi jer su u fazi s vektorima njihovim struja. Inducirani rasipni naponi primara i sekundara [7]:

$$U_{\sigma 1} = I_1 \cdot X_{\sigma 1} \quad (3.3)$$

$$U_{\sigma 2} = I_2 \cdot X_{\sigma 2} \quad (3.4)$$

$X_{\sigma 1}$  i  $X_{\sigma 2}$  su reaktancije rasipnih tokova primara i sekundara.

Nakon reduciranja na primarni broj zavoja, dobili smo naponske i strujne jednadžbe koje vrijede za nadomjesnu shemu 3.2.



Slika 3.2 nadomjesna shema realnog transformatora [7]

$$U_1 = U_M + U_{\sigma 1} + U_{R1} \quad (3.5)$$

$$U'_2 = U_M - U'_{\sigma 2} - U'_{R2} \quad (3.6)$$

$$I_1 = I_0 + I'_2 \quad (3.7)$$

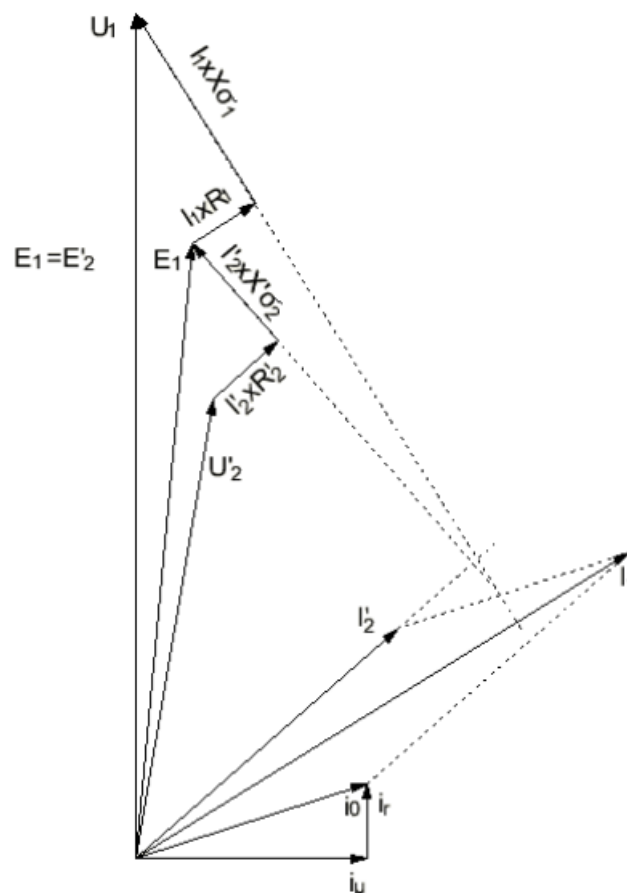
Gdje je:

$U_m$ - napon međuindukcije

$U_{r1}$ - napon na otporu primara

$U_{r2}$ - napon na otporu sekundara

Odnos struja i napona u realnom transformatoru prikazan je na slici 3.3. Prikazano je induktivno opterećenje transformatora.

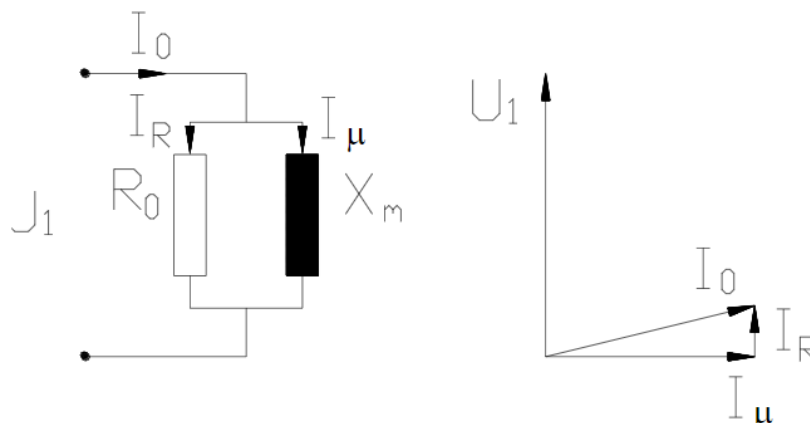


Slika 3.3 vektorski dijagram realnog induktivno opterećenog transformatora [7]

**Pokusima praznog hoda i kratkog spoja** dolazimo do glavnih podataka transformatora. Pokus praznog hoda izvodimo tako da na primar priključimo nazivni napon a sekundar se ostavlja otvorenim. Transformator uzima struju praznog hoda iz mreže i snagu za pokrivanje gubitaka praznog hoda. Struja  $I_0$  sastoji se od induktivne komponente za magnetiziranje jezgre, od vrlo male radne komponente koja služi za pokrivanje gubitaka i od kapacitivne komponente za nabijanje izolacije [7].

Gubici praznog hoda nastaju uslijed histereze i vrtložnih struja u jezgri, dodatni gubici koji nastaju ( koji se mogu zanemariti) nastaju:

- Namotu priključenom na mrežu uslijed struje praznog hoda
- Konstruktivskim dijelovima i kotlu zbog vrtložnih struja uzrokovanih naponom induciranim od magnetskog toka koji djelomično izlazi iz jezgre
- U bakru namota koji su spojeni u trokut zbog induciranih struja
- U izolaciji zbog dielektričkih gubitaka u izmjeničnom električnom polju



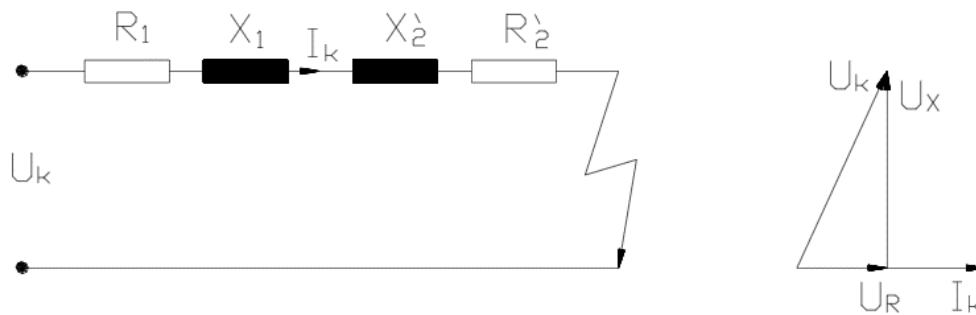
*Slika 3.4 vektorski dijagram i nadomjesna shema realnog transformatora u praznome hodu [7]*

**Pokus kratkog spoja** radimo tako da kratko spojimo sekundar a primar se napaja sniženim naponom iznosa takvim da namotom teče nazivna struja. Dobivamo podatke  $Z_k$ ,  $X_k$  i  $P_k$  koji su posljedica struje opterećenja.

Gubici se sastoje od:

- Strujnih gubitaka u radnim otporima namota
- Dodatnih gubitaka zbog vrtložnih struja u namotima i potiskivanjem struje

Taj napon zovemo napon kratkog spoja. Zbog maloga napona, možemo zanemariti struju magnetiziranja. Napon na sekundaru je 0 V pa se sav narinuti napon troši na padove napona.



Slika 3.5 vektorski dijagram i nadomjesna shema realnog transformatora u kratkom spoju [7]

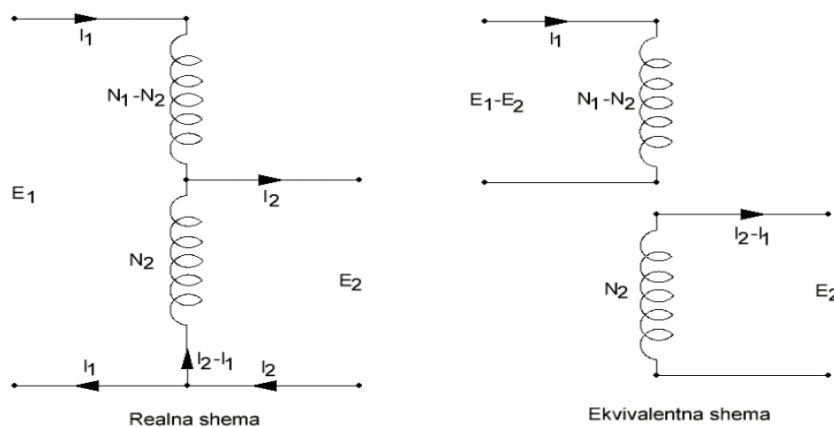
Obično kod pokusa kratkog spoja, napon kratkog spoja je 4 do 12% nazivnog. Ako je to slučaj, gubitke u željezu možemo zanemariti, a snaga koju transformator kod nazivne struje uzima iz mreže jednaka je gubicima bakra.

### 3.1 Specijalni transformatori

Specijalne transformatore možemo podijeliti na:

1. Autotransformator
2. V spoj transformator
3. Strujni transformator
4. Regulacijski transformator

**Autotransformator** se sastoji od dva dijela : zajednički i serijski namot. Zbroj svih protjecanja mora biti jednak nuli.



Slika 3.6 Autotransformator [7]

$$I_1 \cdot (N_1 - N_2) = N_2 \cdot (I_2 - I_1) \quad (3.8)$$

$$I_1 \cdot N_1 = I_2 \cdot N_2 \quad (3.9)$$

Gdje je:

$I_1$ -struja kroz serijski namot

$N_1, N_2$ - broj zavoja serijskog namota

$N_1$ -broj zavoja zajedničkog namota

$I_2 - I_1$ -struja zajedničkog namota

Nema galvanskog odvajanja nego su spojeni u zajedničkoj točki. Jedan dio snage dolazi direktno na sekundar iz mreže a drugi dio se transformira preko jezgre. Tipska snaga transformatora je snaga koju pod nazivnim uvjetima rada, može prenositi transformator. Tipska snaga koja se odnosi na shemu 3.4 je:

$$P_T = I_1 \cdot (E_1 - E_2) = E_2 \cdot (I_2 - I_1) \quad (3.10)$$

Gdje je:

$E_1 - E_2$ - napon serijskog namota

$E_2$ - napon zajedničkog namota

Što je manja razlika između primarnog i sekundarnog napona, prolazna snaga je veća u odnosu na tipsku i tada štedimo na materijalu.

Autotransformator ne smijemo koristiti kao zaštitni transformator jer primar i sekundar nisu galvanski odvojeni. Još jedan nedostatak je napon kratkog spoja, što je veća ušteda to je veća struja kratkog spoja.

Primjenjuju se kod puštanje asinkronih motora u rad. Trebaju smanjiti napon u trenutku zaleta motora [7].

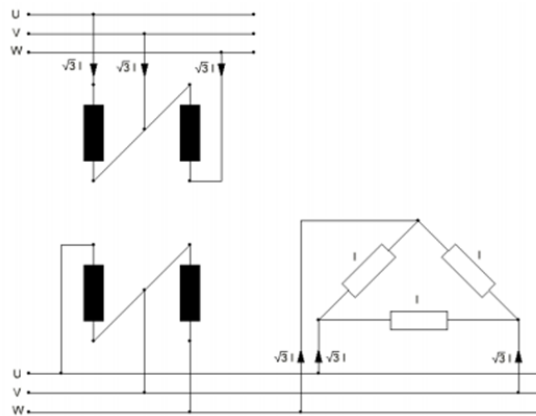
### **V spoj transformatora**

Ovakav spoj transformatora izvodimo na način da dva jednofazna transformatora spojimo kao na slici 3.7. Na sekundaru dobijemo sva tri napona faza.

Kada opteretimo sve tri faze, namoti faza  $U_W$  i  $W_V$  preuzimaju teret trećeg nepostojećeg namota. Kod trofaznog opterećenja, strujno opterećenje faza  $U_W$  i  $W_V$  bit će  $\sqrt{3}$  puta veće nego kada bi bile opterećene samo dvije faze [7].

Omjer tipske snage transformatora u V spoju:

$$\frac{P_{V\text{-spoj}}}{P_{\text{tereta}}} = \frac{2 \cdot U \cdot I \cdot \sqrt{3}}{3 \cdot U \cdot I} \quad (3.11)$$

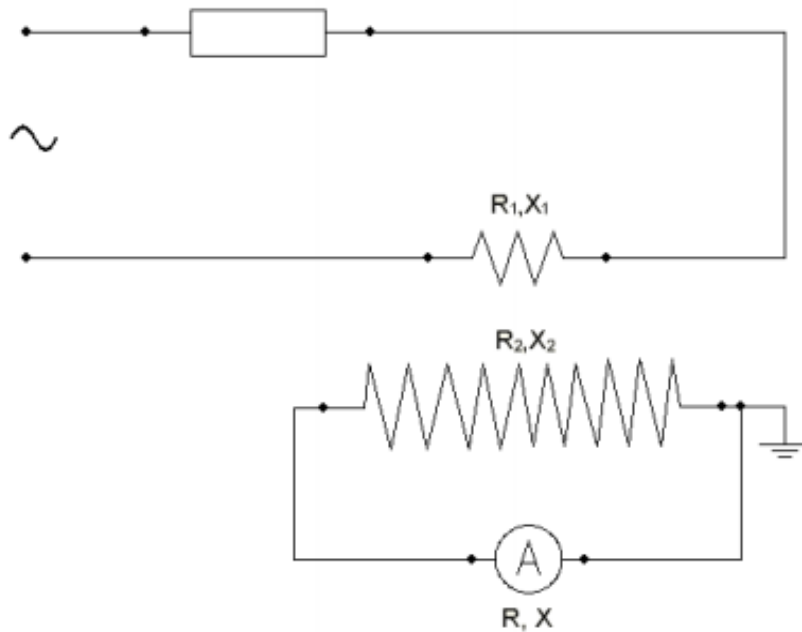


Slika 3.7 V spoj transformatora [7]

### Strujni transformator

Strujnom transformatoru je umjesto napona narinuta struja. Upotrebljava se za indirektno mjerenje izmjeničnih struja. Pomoću njega se struje s velikog iznosa transformiraju na struje od 5A ili 1A zbog lakšeg mjerenja.

Strujni transformator mora biti u kratkome spoju ili otpor ampermetra mora biti vrlo mali. Ako bi se transformator koristio za mjerenja onda mora imati malu impedanciju kako bi točnost mjerenja bila što veća [7].



Slika 3.8 Strujni transformator [7]

### Regulacijski transformator

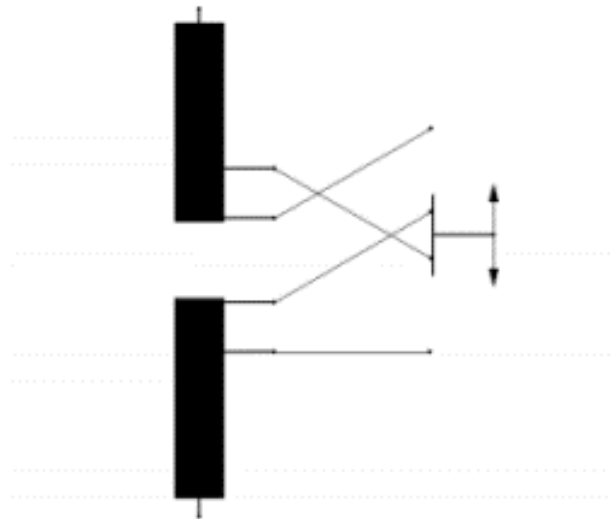
Regulacijski transformator ili transformator s odcjepima se može koristiti u više situacija zbog njegove konstrukcije, koja dozvoljava da mu mijenjamo prijenosni omjer po potrebi.

Uobičajeno se grade odcjepi sa  $\pm 4\%$  ili  $\pm 5\%$ . Odcjepi se u praksi izbjegavaju jer su nepoželjni i ako nisu nužno potrebni, zbog sljedećih razloga:

- Svaki odcjep stvara nesimetriju namota pa se kao posljedica javljaju aksijalne sile
- Udarni naponi se na odcjepima izoliraju pa se odcjepi moraju dodatno izolirati
- Izvod odcjepa iz namota je često teško izvediv

Ako postoji mogućnost, odcjepi se stavljaju na sredinu namota jer su tada aksijalne sile najmanje. Izvodi odcjepa se spajaju na preklopku, koja se smjesti u transformator, tako da se njome upravlja s poklopca transformatora. Preklapanje je izvedivo samo kada nema napona [7].





*Slika 3.9 Regulacijski transformator [7]*

## 4. Transformatori s promjenom prijenosnog omjera pod opterećenjem

Transformatori snage opremljeni sa OLTC-om bili su glavne komponente električnih mreža i industrijske primjene gotovo 90 godina. OLTC omogućuju regulaciju napona i/ili fazni pomak mijenjanjem prijenosnog omjera transformatora pod opterećenjem bez prekida.

Od početka razvoja OLTC, koristila su se dva principa prebacivanja za operaciju prijenosa tereta:

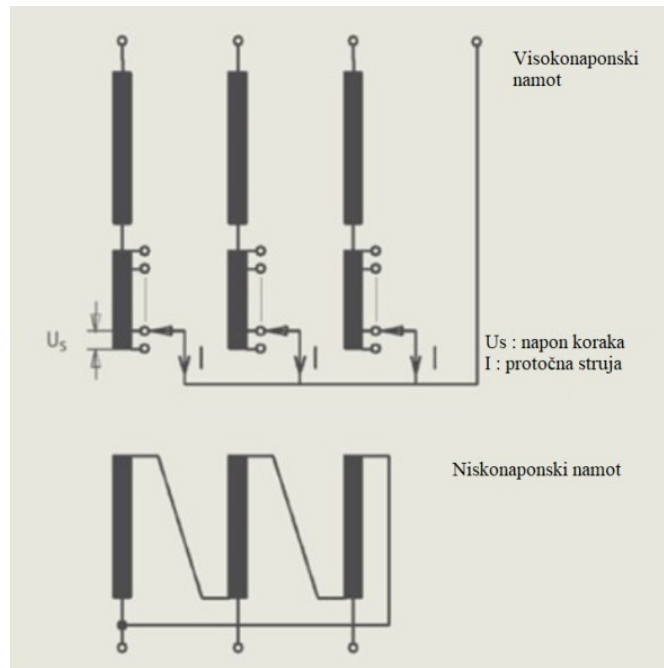
- Brzi otpornički tip OLTC-a
- Reaktorski tip OLTC-a

Tijekom desetljeća oba su načela razvijena u pouzdane dijelove transformatora koji su dostupni u širokom rasponu. Te komponente pokrivaju potrebe današnjih tvrtki i industrijski procesni transformatori osiguravaju optimalnu kontrolu sustava i procesa.

Većina otporničkih OLTC-a ugrađena je unutar spremnika transformatora, dok je reaktorski tip OLTC-a u posebnoj odjeljku koji je zavaren na transformator.

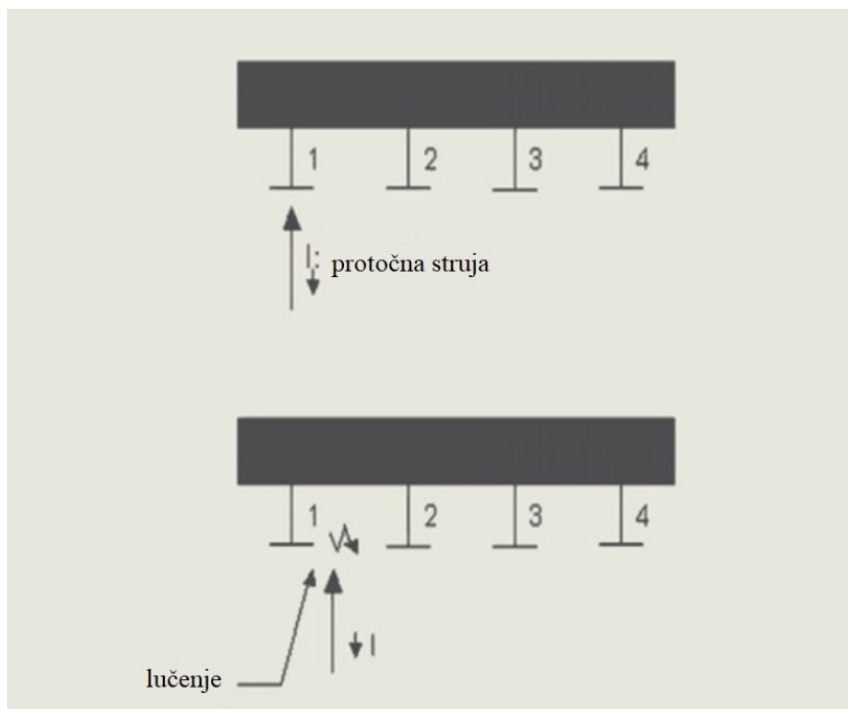
OLTC mijenja prijenosni omjer transformatora dodavanjem ili oduzimanjem primarnog ili sekundarnog namota. Transformator je stoga opremljen regulacijskim namotajem koji je povezan sa OLTC-om.

Slika 4.1 prikazuje glavni raspored namotavanja trofaznog regulacijskog transformatora s OLTC-om smještenim na zvijezda trokut spoju u visokonaponskom namotu [8][9].

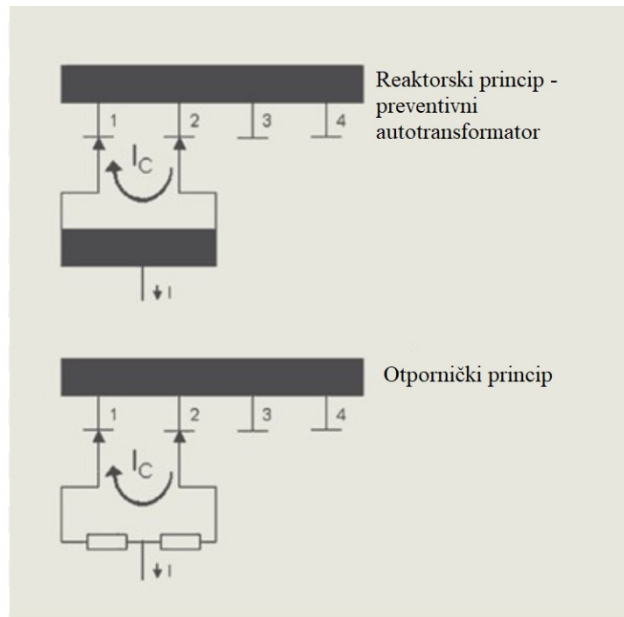


Slika 4.1 Princip rasporeda namota regulacijskog transformatora u zvijezda-trokut spoju [8]

Jednostavna promjena izvoda za vrijeme napona je neprihvatljiva zbog trenutnog gubitka opterećenja sustava tijekom postupka prebacivanja (slika 4.2). Princip "Make before break" se prikazuje na slici 4.3.



Slika 4.2 Gubitak opterećenja sustava s jednim kontaktnim prebacivanjem [8]



Slika 4.3 Princip "Make before break" [8]

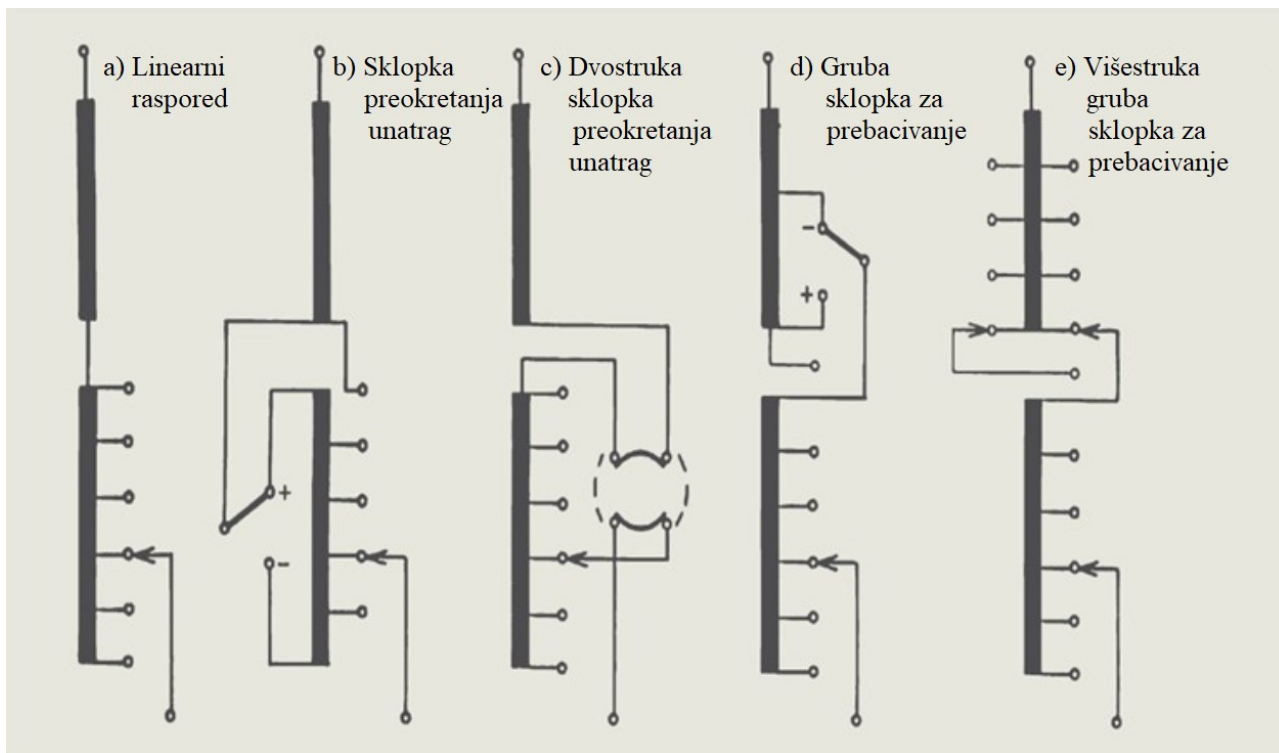
Make before break (MBB) - je izraz koji označava prekid ili drugi uređaj u kojem je uspostavljena nova električna veza prije prekida postojeće, ukratko, to znači, prekidanje kruga prije nego što ga odvojimo [10].

Prijelazna impedancija u obliku otpornika ili reaktora sastoji se od jedne ili više cjeline koje premošćuju susjedne izvode u svrhu prijenosa tereta s jednog izvoda na drugi bez primjetnog prekidanja struje opterećenja. U isto vrijeme oni ograničuju cirkulacijsku struju ( $I_c$ ) za vrijeme kad se koriste oba dva izvoda. Uobičajeno Reaktorski tip OLTC-a premošćuju položaj kao radni položaj i stoga su dizajnirani kao kontinuirano opterećenje.

Napon između gore spomenutih izvoda je napon koraka, koji obično iznosi između 0.8% i 2.5% nazivnog napona transformatora.

Glavne komponente OLTC-a su kontaktni sistemi za MBB struje kao i noseće struje, prijelazne impedancije, prijenosnici, akumulatori energije, opruge i pogonski mehanizam. Ovisno o različitom rasporedu namota i dizajna OLTC-a. Odvojeni prekidači za odabir i prebacivači se također koriste.

Razlikujemo 5 primjena OLTC-a:



Slika 4.4 Osnovni spojevi namota izvoda [8]

Linearni raspored (slika 4.4 a). Obično korišten na transformatorima snage s umjerenim rasponima regulacija, najviše do 20%. Regulacijski zavoji dodani su u seriju s glavnim namotom i mijenjaju omjer transformatora. Procijenjeni položaj može biti bilo koji od položaja izvoda [8][9].

Sa sklopkom preokretanja unatrag (slika 4.4 b) namotaj izvoda dodaje se ili oduzima od glavnog namotaja tako da se regulacijski domet može udvostručiti ili broj izvoda smanjiti. Tijekom ove operacije namotaj s izvodima odspojen je od glavnog namotaja. Ova operacija unatrag realizirana je pomoću preklapne sklopke koja je dio izvoda selektora ili prekidača za odabir. Procijenjeni položaj je obično srednji položaj ili neutralni položaj.

Dvostrukom sklopkom preokretanja unatrag (slika 4.4 c) izbjegava se odvajanje namotaja izvoda tijekom operacije prebacivanja. U transformatorima s faznim pomicanjem (PST), taj se uređaj naziva unaprijed usporeni prekidač (ARS).

Korištenjem grube sklopke za prebacivanje (slika 4.4 d) namotaj s izvodima je spojen na plus ili minus izvoda glavnog namota. Tijekom grubog rada sklopke, namot s izvodima je odvojen od glavnog namota (posebni namotaju mogu uzrokovati iste probleme s od spajanjem kao što je opisano prije, uz to i serijska impedancija glavnog namota mora se provjeriti).

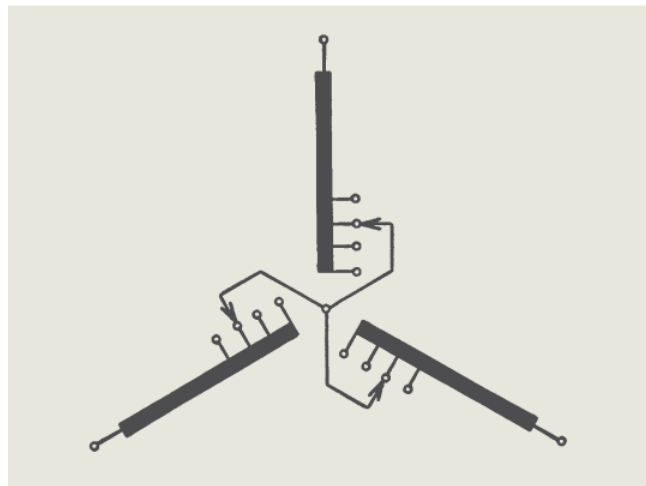
U ovom slučaju, gubici u bakru su najmanji u poziciji najmanjih efektivnih zavoja. Ova prednost, međutim, postavlja veće zahtjeve na izolacijskom materijalu i zahtjeva veći broj namota.

Višestruka gruba sklopka prebacivanja (slika 4.4 e) omogućuje množenje regulacijskog opsega. To se uglavnom koristi za industrijske procesne transformatora (ispravljači, transformatorske peći). Sklopka grube promjene je također dio OLTC-a.

Koji se od ovih osnovnih rasporeda namota koristi svakom pojedinačnom slučaju ovisi o sustavu i zahtjevu operacije. Ovi rasporedi namota su primjenjivi na dvonamotne transformatore kao i na autotransformatore i na transformatore s faznim pomakom (PST). OLTC se stavlja u namote (VN strana ili NN strana), ovisno o izvedbi transformatora i specifikacije kupaca [8][9].

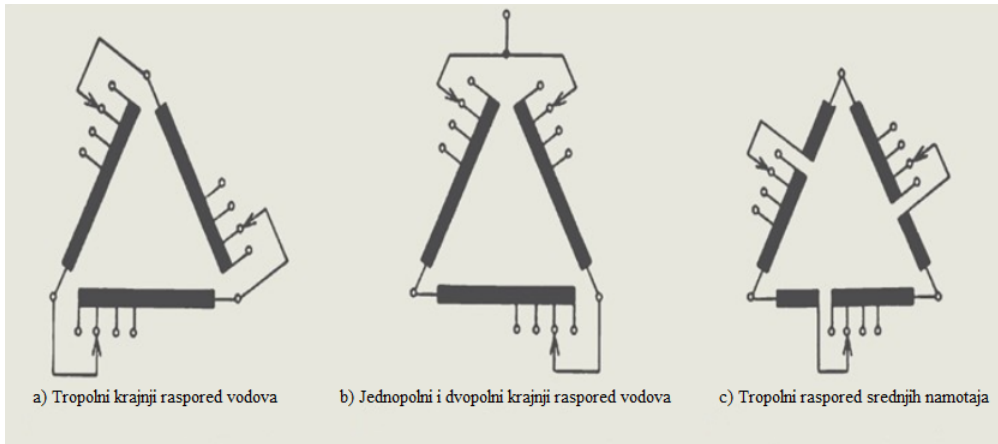
#### 4.1 Primjeri shema namotavanja

Transformatori s dva namota spojeni na zvijezda-trokut namote imaju regulaciju primijenjenu na neutralni kraj, kao što je prikazano na slici 4.5 To rezultira relativno jednostavnim i kompaktnim rješenjem za OLTC namotaje izvoda.



Slika 4.5 OLTC s neutralnim krajem izvoda namota[8]

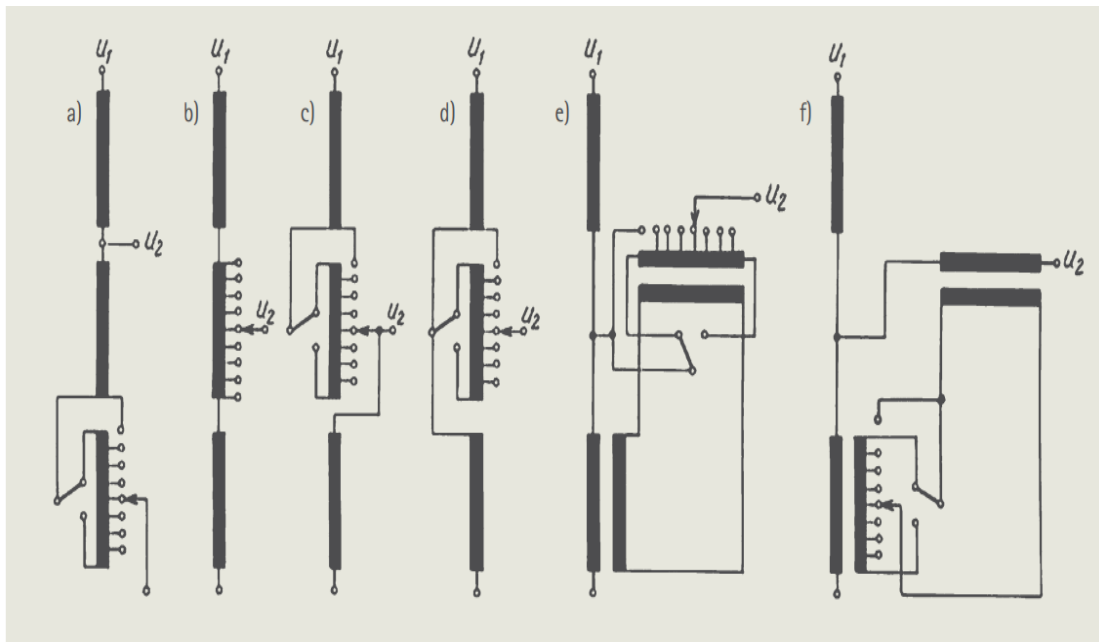
Za regulaciju namota povezanih u trokut (slika 4.6) potreban je trofazni OLTC čije su tri faze izolirane prema najvišem naponu primijenjenom na sustav (slika 4.6 a) ili tri jednofazna OLTC-a ili jedan jednofazni i jedan dvofazni OLTC (slika 4.6 b) [8][9].



Slika 4.6 OLTC s priključkom namotaja izvoda u trokut [8]

Danas je dizajnirani limit za trofazne OLTC-e s izolacijom između faza najveći napon za opremu od 145kV. Da bismo smanjili naprezanja između faza na OLTC spojeni u trokut, može se upotrijebiti tropolni raspored srednjeg napona (slika 4.6 c).

Za reguliranje autotransformatora (slika 4.7) prikazuje razne sklopove. Najprikladnija shema izabrana je s obzirom na regulacijski domet, uvjete sistema i/ili zahtjeve, kao i ograničenja težine i veličine tijekom prijevoza. Autotransformatori su uvijek u spoju trokut-zvijezda.

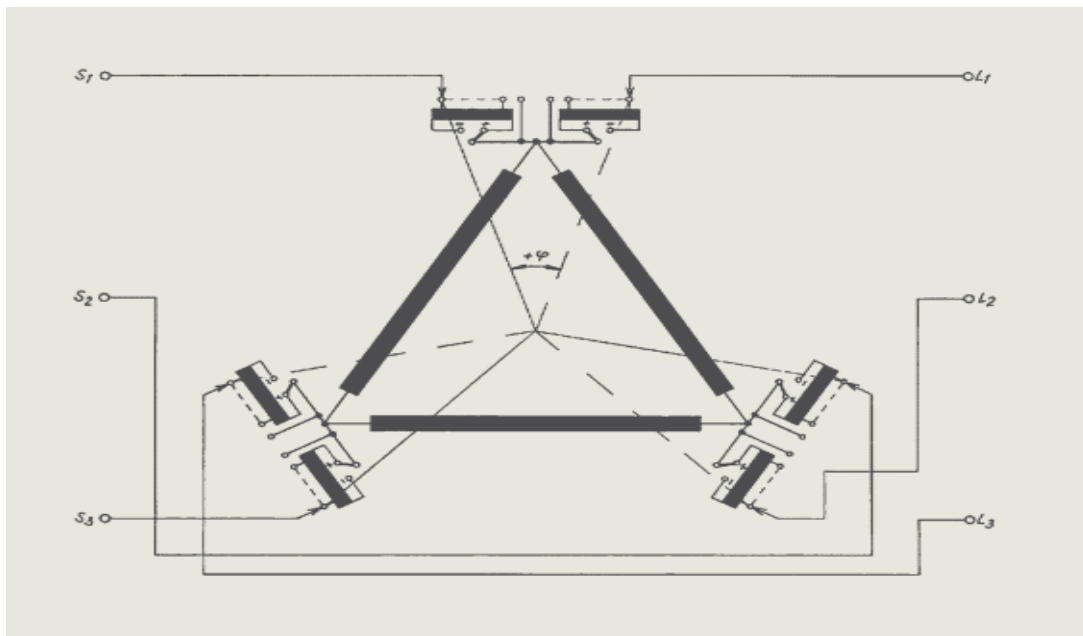


Slika 4.7 OLTC u autotransformatorima [8]

Regulacija neutralnog kraja (slika 4.7 a) može se primijeniti s omjerom iznad 1:2 i umjerenom regulacijom s dometom do 15%. Ovo djeluje s promjenjivim protokom. Shema prikazana na slici 4.7 c) služi za regulaciju visokog napona  $U_1$ .

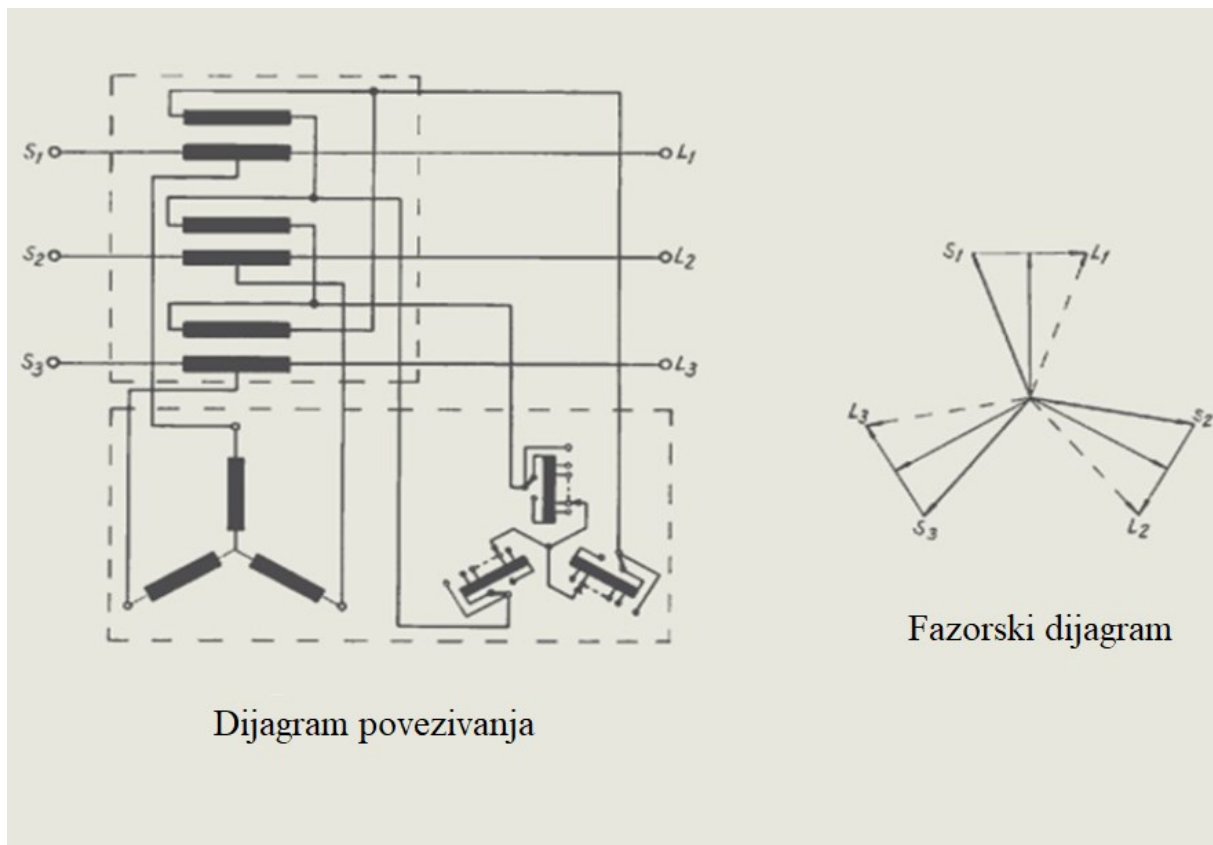
Za regulaciju niskog napona  $U_2$  primjenjuju se sklopovi na slici 4.7 b), 4.7 d), 4.7 e) i 4.7 f). Dogovoreno je da su dva temeljna rješenja, slika 4.7 e) i 4.7 f). Slika 4.7 f) djeluju s promjenjivim tokom, ali ima prednost što se može koristiti neutralni kraj OLTC-a. U slučaju rasporeda prema slici 5.4 e), glavni i regulacijski transformatori su često smješteni u posebne spremnike kako bi se smanjila transportna težina. Istovremeno, ovo rješenje omogućuje određeni fazni pomak promjenom uzbudnih veza unutar direktnog kruga.

Važnost faznog pomicanja transformatora koji se koriste za kontrolu toka snage na dalekovodima u mrežama se postupno povećava. Ovi transformatori često zahtijevaju regulacijske domete koji premašuju one koji se inače koriste. Da bi se postigli takvi rasponi regulacije, potrebni su posebni sklopovi. Dana su dva primjera na slikama 4.8 i 4.9. Slika 4.8 prikazuje sklop s izravnom regulacijom na kraju linije, a slika 4.9 prikazuje srednji raspored kruga. Slika 4.8 vrlo jasno prikazuje kako fazni kut između napona izvora i napona opterećenja sustava može varirati ovisno o položaju OLTC-a [8][9].



*Slika 4.8 Transformator s faznim pomicanjem – raspored izravnih krugova [8]*





Slika 4.9 Transformator s faznim pomicanjem – međukružni raspored [8]

Broj operacija OLTC-a u PST je puno veći nego u običnim transformatorima u mreži (10 do 15 puta veći). U nekim slučajevima prema regulacijskim dometima, posebno u line-end rasporedu, tranzicijski prenapon stvara naprezanje na opsegu izvoda te moraju biti ograničeni primjenom nelinearnih otpornika. Uz to mora se provjeriti struja prekida u OLTC-u, jer snaga kratkog spoja mreže određuje struju. Preostale značajke OLTC-a za takve transformatore mogu se odabrati prema uobičajenim pravilima.

Prednosti korištenja PST-a:

- Smanjenje ukupnih gubitaka sustava uklanjanjem cirkulirajuće struje
- Poboljšanje kapaciteta kruga pravilnim upravljanjem opterećenja
- Poboljšanje faktora snage kruga
- Kontrola toka snage

Osim odabira izvoda, najvažniji zadatak OLTC-a je funkcija prekida ili struja opterećenja. Nakon prijenosa struje, kontakt koji se "prekida" mora biti sposoban da izdrži napon oporavka. Potrebna preklapna sposobnost (produkt preklapne struje i napona oporavka) za specifični kontakt u OLTC se temelji na odgovarajućem naponu koraka i struji, ali se također određuje

dizajnom i krugom OLTC-a. Sam preklopni kapacitet prvenstveno ovisi o dizajnu kontakta, brzini promjene kontakta i sredstvu za gašenje luka.

Povijesno gledano većina transformatora snage koriste mineralno ulje kao rashladni i izolacijski medij. Razvoj OLTC-a prema sadašnjem "stanju tehnike" također se fokusirao na transformatorsko ulje. U OLTC-u uljnog tipa, OLTC je uronjen u transformatorsko ulje i sklopni kontakti rade MBB struje u ulju. Ova konvencionalna OLTC tehnologija dosegla je veliku razinu i sposobna je zadovoljiti većinu zahtjeva proizvođača transformatora. Ovo vrijedi za sva polja napona i snage danas.

Zajedno sa porastom potražnje za električnom energijom u gradskim područjima, potreba za instaliranjem transformatora u zgradama stvaraju potrebu za regulaciju transformatora s malom opasnošću od požara. Uz to i s obzirom na prevenciju onečišćenja vode, regulacijski transformatori koji to ne čine zahtijevaju konvencionalno mineralno ulje kao izolaciju.

Osim transformatora koji koriste plin kao izolaciju (uglavnom se koriste u Japanu), koriste se i suhi transformatori i transformatori s alternativnim izolacijskim fluidima koji zadovoljavaju ove zahtjeve, pa je za njima potražnja sve veća.

Konvencionalni OLTC zapravo nisu pogodni za ovu vrstu regulacijskih transformatora, jer je upotreba mineralnog ulja kao preklopnog medija nije poželjna i izvedba bi bila tehnički kompleksna i jako skupa [8][9].

## **4.2 OLTC uljnog tipa**

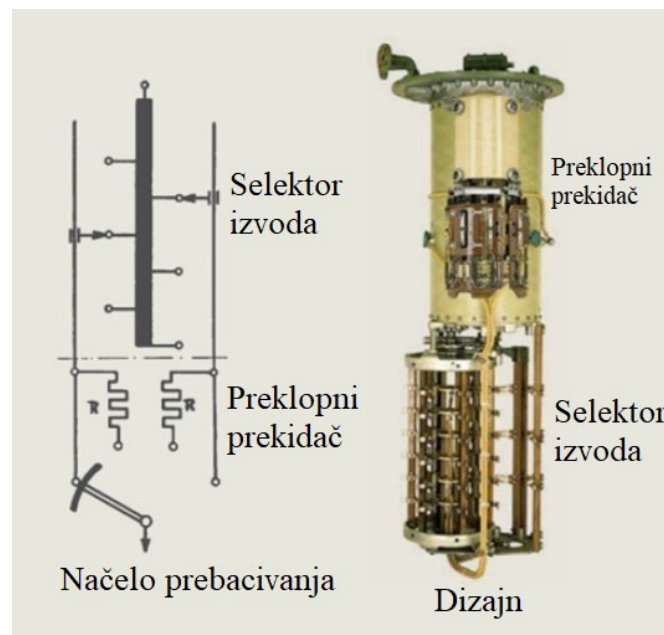
### **Otpornički tip uljnog OLTC-a**

OLTC dizajn koji se obično koristi za veće nazivne vrijednosti i veće napone, ima preklopni prekidač i birač izvoda. Za niže vrijednosti, koristi se OLTC dizajn za male omjere. OLTC dizajni u kojima su funkcije preklopnog prekidača i birača izvoda, kombiniraju se u selekcijskom prekidaču (prekidač za ispuštanje luka).

S OLTC-om koji se sastaju od preklopnog prekidača i birača izvoda slika 4.10, operacija promjena izvoda odvija se u dva koraka na slici 4.11.

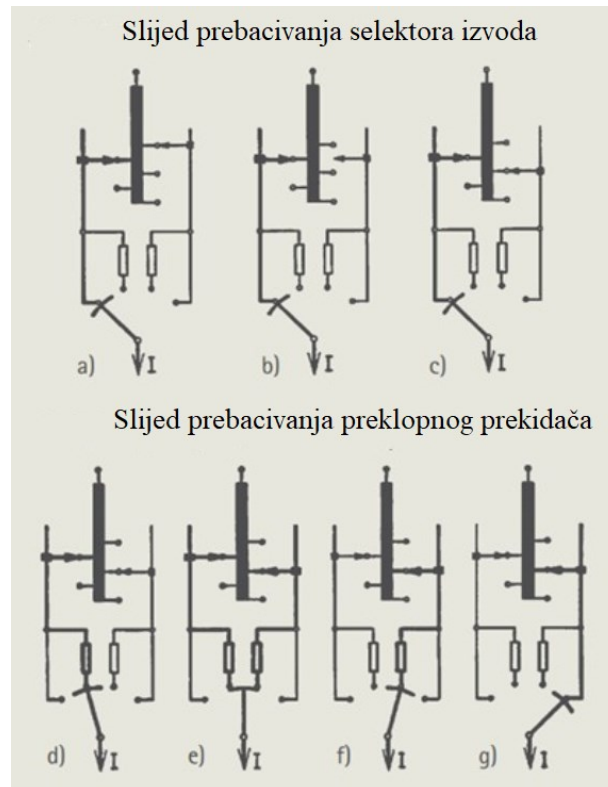
Sljedeći izvod je prvi izvod koju pred odabire birač izvoda bez opterećenja ( slika 4.11 položaj c). Preklopni prekidač zatim prenosi struju opterećenja na izvod u pogonu na unaprijed odabrani izvod (slika 4.11 položaj c-g). OLTC se upravlja pomoću pogonskog mehanizma. Izvodom sa selektorom upravlja zupčanik izravno na pogonskom mehanizmu. Istodobno,

energija opruge akumulatora koji je zategnut, upravlja preklopnim prekidačem, nakon otpuštanja u vrlo kratkom vremenskom intervalu, neovisno o gibanju pogonskog mehanizma. Zupčanik osigurava da se rad preklopnog prekidača uvijek odvija nakon završetka postupka predizbora izvoda. Vrijeme uključivanja preusmjeriteljskog prekidača je između 40 i 60 ms. Tijekom rada preklopnog prekidača, prijelazni otpornici su umetnuti (slika 4.11 – položaj d-f) koji su opterećeni s 20-30ms, tj. otpornici mogu biti dizajnirani za kratko opterećenje. Količina potrebnog otpornog materijala je vrlo mala. Ukupno vrijeme rada OLTC-a je između 3 i 10 sekundi ovisno o dizajnu [8][9].



Slika 4.10 – Načelo dizajna-prekidač za preusmjeravanje (lučni prekidač) s biračem izvoda

[8]



*Slika 4.11 – Slijed prebacivanja birača izvoda pomoću preklopnog prekidača [8]*

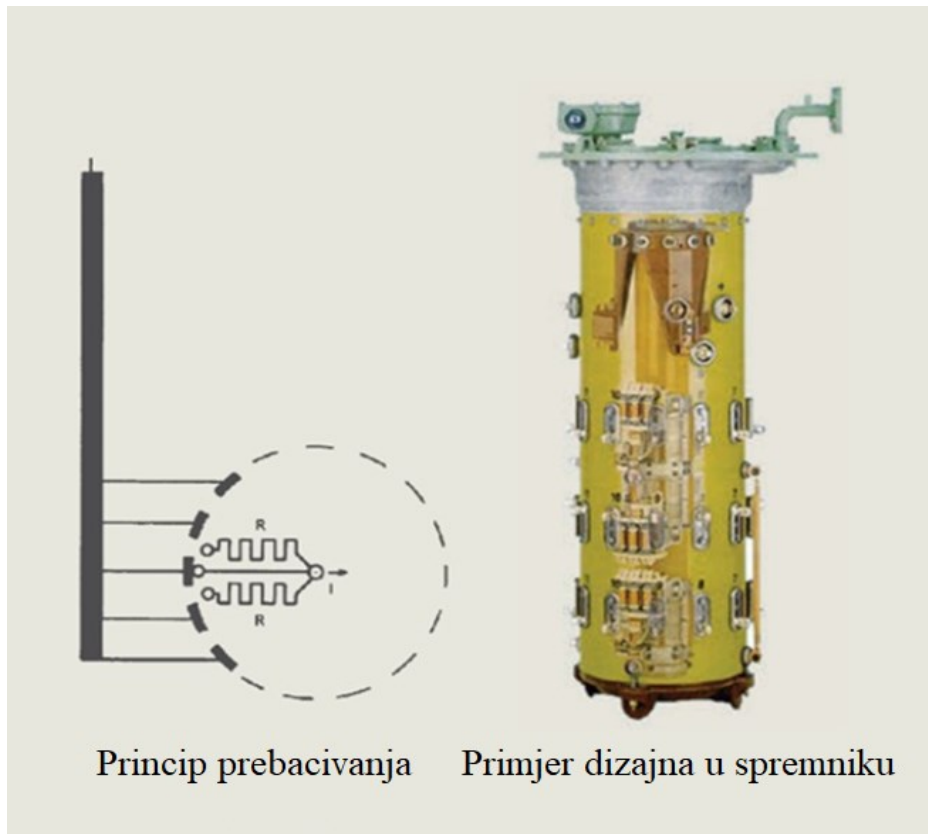
### Reaktorski OLTC uljnog tipa

Sljedeće vrste prekidača koji se koriste za reaktorski tip uljnog OLTC-a:

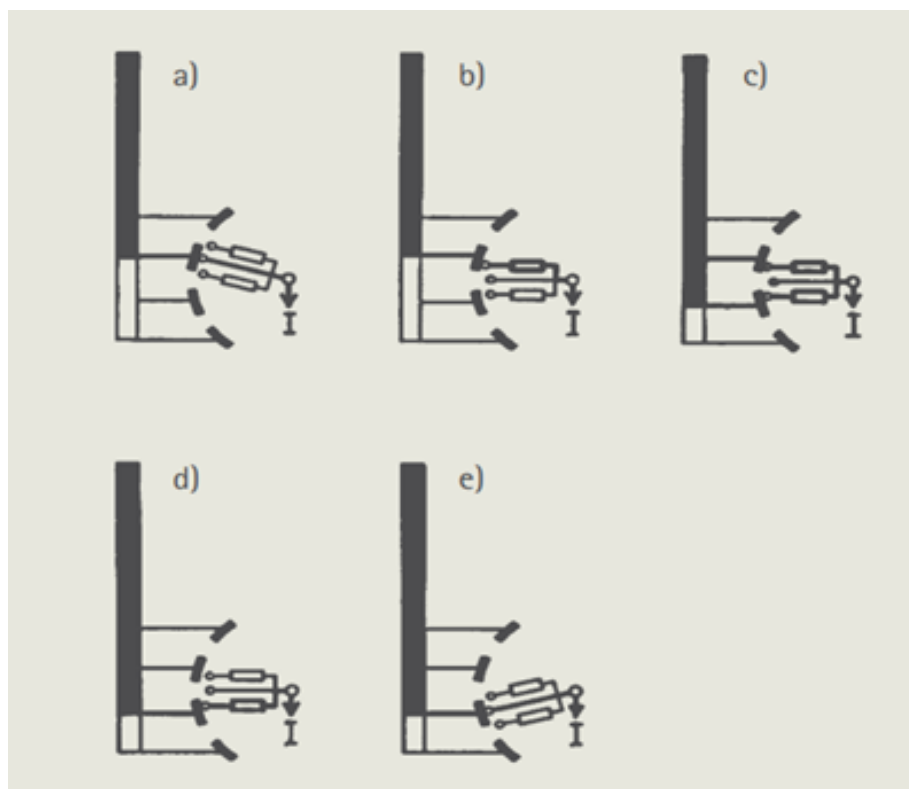
- Prekidač za odabir
- Prekidač za preusmjerenje s biračem izvoda

Svi OLTC reaktorskog tipa su tipovi odjeljaka gdje preventivni autotransformator (reaktor) nije dio OLTC-a. Dizajniran je preventivni autotransformator od strane proizvođača transformatora i nalazi se u spremniku transformatora.

Prekidač za odabir kao što je na slici 4.12 vrši promjenu izvoda u jednom koraku od izvoda u radu na susjedni izvod slika 4.13. Energija opruge akumulatora, namotane na pogon mehanizma naglo aktivira prekidač nakon otpuštanja. Za vrijeme uključivanja i opterećenja otpornika (slika 4.13 položaj b-d) [8][9].



Slika 4.12 – načelo dizajna- biračka sklopka[8]



Slika 4.13 – Slijed prebacivanja preklopne sklopke [8]

### 4.3 Vakuumski tip OLTC-a

Tehnologija prebacivanja s vakuumom postala je dominantna preklopna tehnologija u područjima srednjeg napona trafostanice i prekidačima snage velikog kapaciteta, i zamijenilo je tehnologiju nafte i SF6. Danas više od 60% potražnje za prekidačima pokriveno je vakuumskim tipovima prekidača.

Tehnologija vakuumskog prebacivanja također najbolje zadovoljava nove zahtjeve i povećane zahtjeve performansa za OLTC-e od krajnjih korisnika.

Prednosti vakuumskog OLTC-a:

1. Vakuumski prekidač je hermetički zatvoren sustav
  - Nema interakcije s okolinom niti s bilo kakvim medijom, unatoč luku
  - Karakteristike prebacivanje ne ovise o okolnom mediju
2. Napon luka (pad napona) u vakuumu je znatno niži nego u ulju ili SF6
  - Niska potrošnja energije
  - Smanjeno trošenje kontakta
3. Uklanjanje izolacijskog medija kao sredstvo za gašenje luka
  - Uklanjanje štetnih plinova npr. ugljik kod korištenja transformatorskog ulja
  - On-line filter je nepotreban
  - Jednostavno odlaganje
4. Nema starenja medija za gašenje
  - Stalna ili čak poboljšana karakteristika prebacivanja tijekom cijelog životnog vijeka
5. Nema interakcije/oksidacije tijekom prebacivanja
  - Visoka stopa ponovne kondenzacije metalne pare na kontaktu produljuju životni vijek kontakta
  - Stalno nizak otpor kontakta
6. Izvanredni brzi dielektrični oporavak do 10 kV/ $\mu$ s
  - Osigurava kratko vrijeme luka (maksimalno jednu poluperiodu) čak i u slučaju velikih faznih kutova između struje i napona ili velike promjene napona.

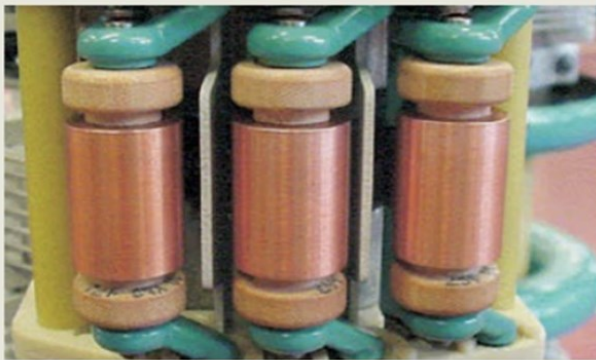
Pri razvoju vakuumskog prekidača koji se koristi u OLTC, jedinstveni parametri su:

1. Mehanički vijek u transformatorskom ulju (ili u bilo kojem drugom mediju) za područje radne temperature i očekivani vijek trajanja OLTC-a

2. Izvedba prebacivanja
3. Životni vijek kontakta
4. Fizička dimenzija

Od početka 1970-ih vakuumski prekidači koji udovoljavaju značajkama potrebnim za reaktorski tip OLTC-a su razvijeni. Ovi OLTC-i, koji su općenito dizajnirani s vanjskim odjeljkom, nisu diktirali nikakve posebne zahtjeve u pogledu na fizičku veličinu prekidača. Ovo nije slučaj s otporničkim OLTC-om, koji obično imaju vrlo kompaktan dizajn.

Danas, vakuumski prekidači su dostigli naprednu tehničku razinu izvedbe. Korištenjem modernog lemljenja tijekom proizvodnog procesa i novih kontaktnih sustava i dizajna materijala, prekretnica su ovog pouzdanog proizvoda. Ovo je omogućilo znatno manji dizajn vakuumskih prekidača koji otvaraju vrata za primjenu u otporničkim vrstama OLTC-a (slike 4.14 i 4.15) [8][9].



Kontaktni sistem selektorske sklopke s valjkastim kontaktima



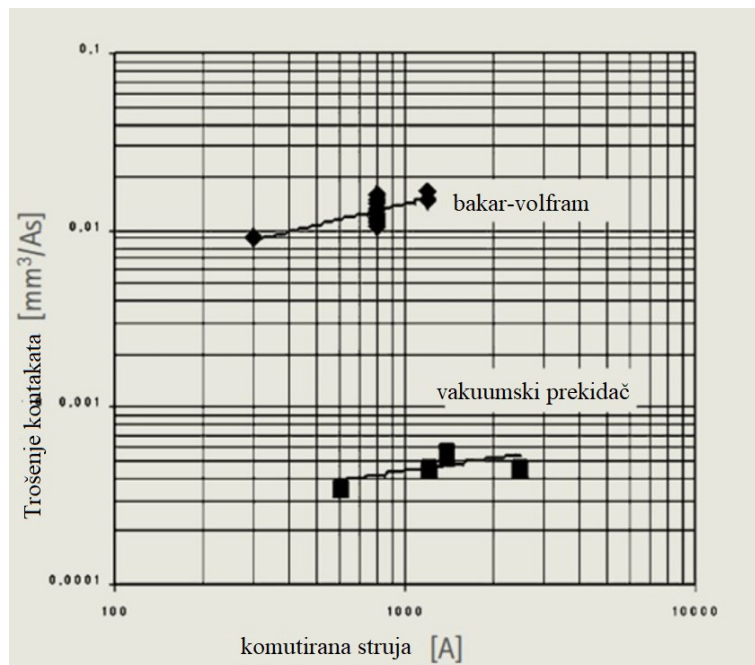
Kontaktni sistem preklopnih prekidača

*Slika 4.14 OLTC s wolfram-bakrenim sustavom lučnih kontakata za mineralno transformatorsko ulje [8]*



Slika 4.15 Vakuumski prekidač dizajniran za razne OLTC preusmjerne prekidače [8]

Na slici 4.16 prikazano je habanje kontakata zbog prekidne struje za uobičajene kontakte bakar-wolfram pod uljem i za vakuumske prekidače. Opseg habanja je manje za više od jedne dekade za vakuumske prekidače (primjer. Opseg od 1/30 pri 1000 A). Osim materijala kontakata, geometrija kontakata je najvažniji faktor za trenutni raspon i primjene OLTC-a. To rezultira životnim vijekom kontakta, gdje vakuumski prekidači lako dosežu broj prekidačkih operacija preko 600 000 bez mijenjanja prekidača [8][9].



Slika 4.16 Usporedba brzina kontaktnog trošenja konvencionalnih bakreno-wolframovih kontakata i vakuumskih prekidača [8]



## 4.4 Odabir OLTC-a

Odabir određenog OLTC-a pružit će optimalnu tehničku i ekonomsku učinkovitost ako su ispunjeni zahtjevi za rad i ako su testiranja svih uvjeta transformatorskih namotaja zadovoljena. Općenito, ne moraju se poštivati uobičajene sigurnosne granice kao OLTC-i koji su dizajnirani, testirani, odabrani u skladu s IEEE i IEC standardima [8][9].

Za odabira odgovarajućeg OLTC-a, trebaju biti poznati sljedeći ključni podaci odgovarajućih namota transformatora:

- Nazivna snaga u MVA
- Priključak namota izvoda (za trokut-zvijezda, trokut ili jednofazni spoj)
- Nazivni napon i područje regulacije
- Razine izolacije prema tlu
- Svjetlosni impulsi i napon frekvencije napajanja od unutarnje izolacije

Sljedeći operativni podaci OLTC-a mogu se izvesti iz ovih podataka:

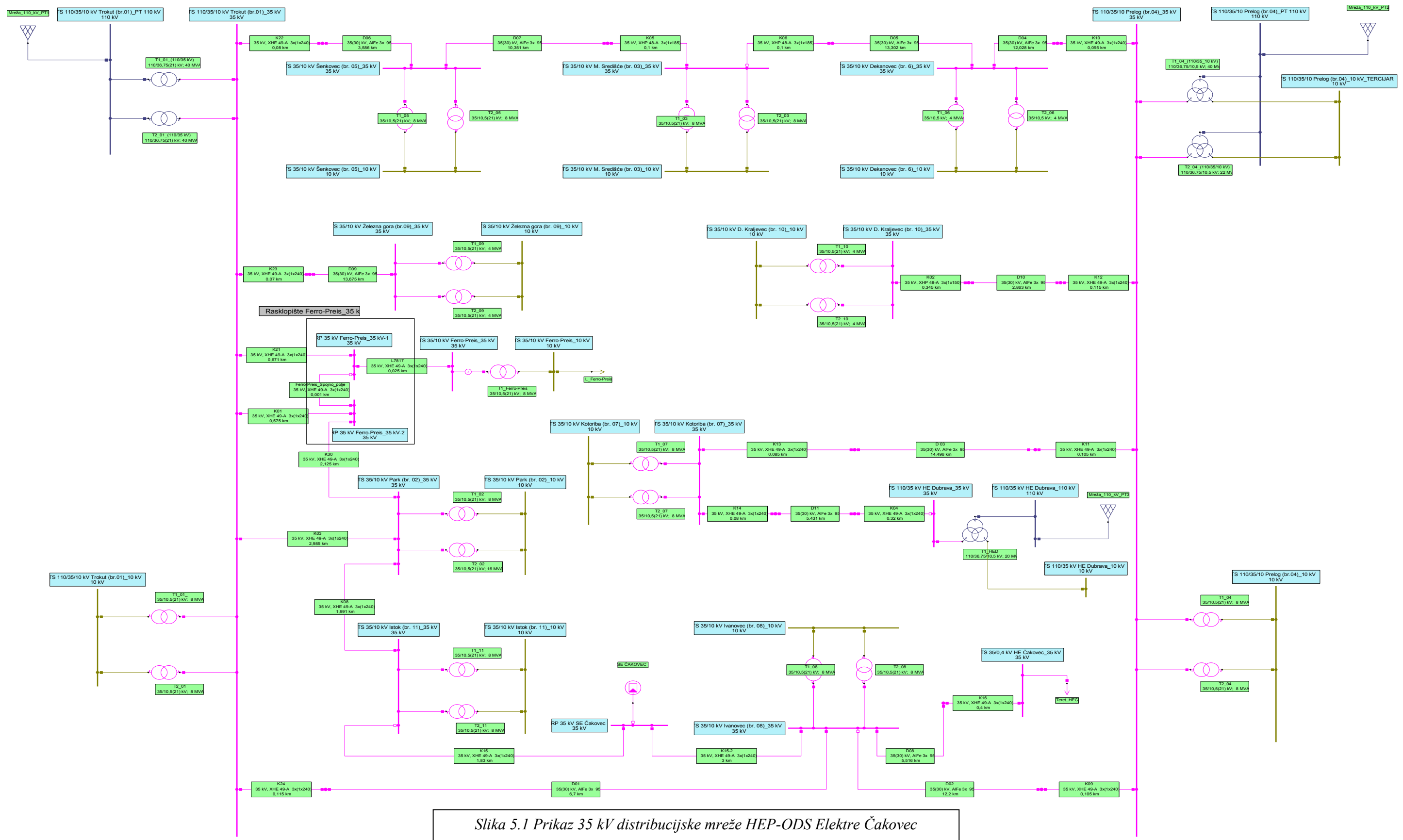
- Nazivna propusna struja  $I_u$
- Nazivni napon koraka  $U_i$
- Nazivni kapacitet koraka  $p_{st} = U_i \times I_u$  i tada se može odrediti odgovarajući OLTC
- Tip OLTC-a
- Broj polova
- Nazivna razina napona OLTC-a
- Osnovni dijagram povezivanja

Ako je potrebno, treba provjeriti sljedeće karakteristike OLTC-a:

- Prekidna sposobnost
- Sposobnost preopterećenja
- Struja kratkog spoja ( mora se provjeriti u kućištu)
- Život kontakta

## **5. Utjecaj sunčane elektrane SE Čakovec na naponski profil u pojnim točkama elektroenergetske mreže Elektre Čakovec**

HEP-ODS Elektra Čakovec upravlja radom distribucijske elektroenergetske mreže na području Međimurske županije. Distribucijska mreža Elektre Čakovec ima dvije pojne točke TS 110/35/10 kV Čakovec "Trokut" i TS 110/35/10 kV Prelog u kojima dolazi do predaje energije s prijenosne mreže pod upravom HOPS-a u distribucijsku mrežu pod nadležnošću HEP-ODS Elektre Čakovec. Dalje se energija prenosi 35 kV, 10 kV odnosno 0,4 kV mrežom do krajnjih kupaca. Ukupno ima deset 35/10 kV trafostanica i jedno 35 kV rasklopno postrojenje za priključak kupaca Ferro-Preis. U pojnim transformatorskim stanicama na transformaciji 110/35 kV ugrađeni su transformatori s automatskom regulacijom napona s po 21 korak od 1.5%. Regulacija napona podešena je na  $102 \pm 1.5\%$ . Na predmetnu mrežu planira se priključiti sunčana elektrana SE Čakovec nazivne snage 8.5 MW, a ista će se priključiti na 35 kV mrežu pomoću 35 kV rasklopnog postrojenja interpolacijom na postojeći 35 kV kabel K15 [11]



Slika 5.1 Prikaz 35 kV distribucijske mreže HEP-ODS Elektre Čakovec

Dalje je analiziran utjecaj planirane sunčane elektrane na naponske prilike u 35 kV mreži, s naglaskom na automatsku regulaciju napona u pojnim transformatorskim stanicama. Analiza je provedena za 2 granična slučaja:

- maksimalno opterećenje mreže
- minimalno opterećenje mreže

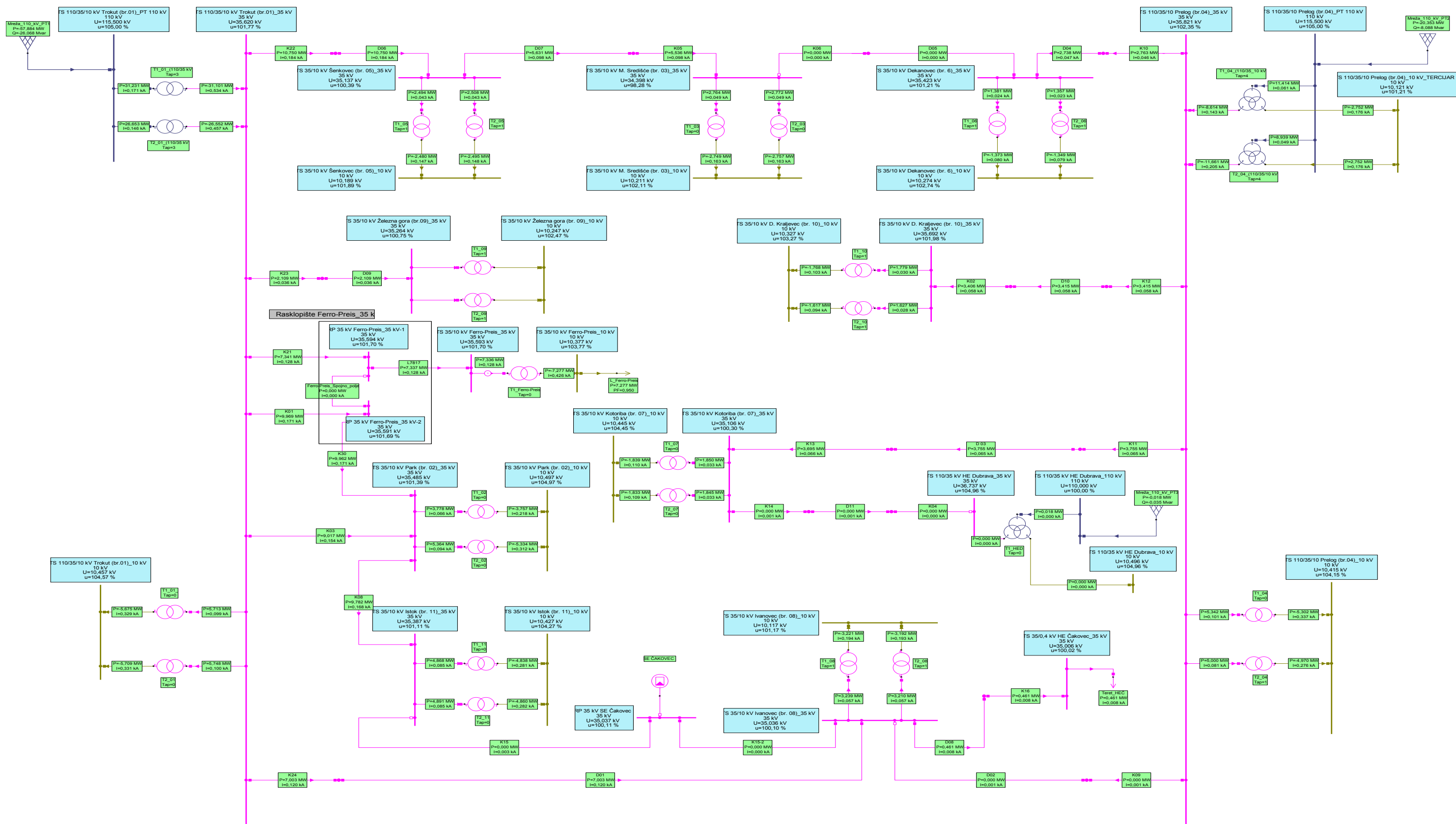
**Maksimalno opterećenje** mreže iznosi 78,24 MW, od čega :

- a) TS 110/35/10 kV Čakovec "Trokut" – 57,884 MW
- b) TS 110/35/10 kV Prelog – 20,353 MW

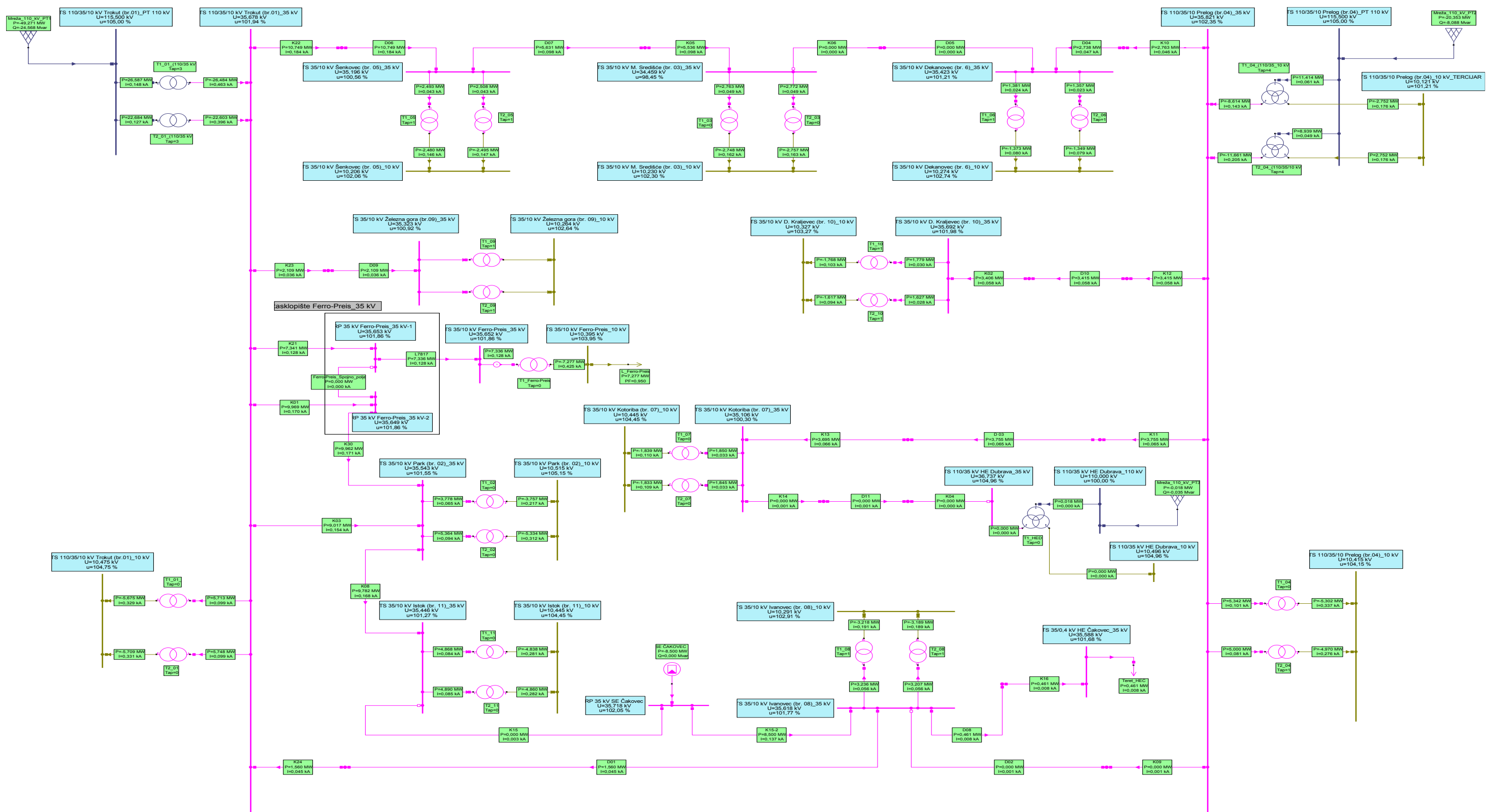
U tablici je prikazan napon na 35 kV sabirnicama u pojnim trafostanicama i položaj regulacijskih preklopki na transformatorima, za slučaj maksimalnog opterećenja s i bez priključene SE Čakovec [11]:

*Tablica 5.1 napon i položaj regulacijskih preklopki u pojnim TS za maksimalno opterećenje mreže s i bez priključene sunčane elektrane SE Čakovec*

	TS 110/35/10 kV Čakovec „Trokut“		TS 110/35/10 kV Prelog	
	bez SE	sa SE	bez SE	sa SE
U% 35 kV sabirnice	101,77	101,94	102,35	102,35
Transformator 1	8/21	8/21	7/21	7/21
Transformator 2	8/21	8/21	7/21	7/21



Slika 5.2 Napon u 35 kV mreži za maksimalno opterećenje bez priključene SE Čakovec



Slika 5.3 Napon u 35 kV mreži za maksimalno opterećenje s priključenom SE Čakovec

Priključenjem SE Čakovec dolazi do promjene napona na sabirnicama 35 kV u pojnoj TS 110/35/10 kV Čakovec "Trokut" za 0,17% što je nedovoljna promjena da bi došlo do promjene položaja regulacijske preklopke na transformatorima [11].

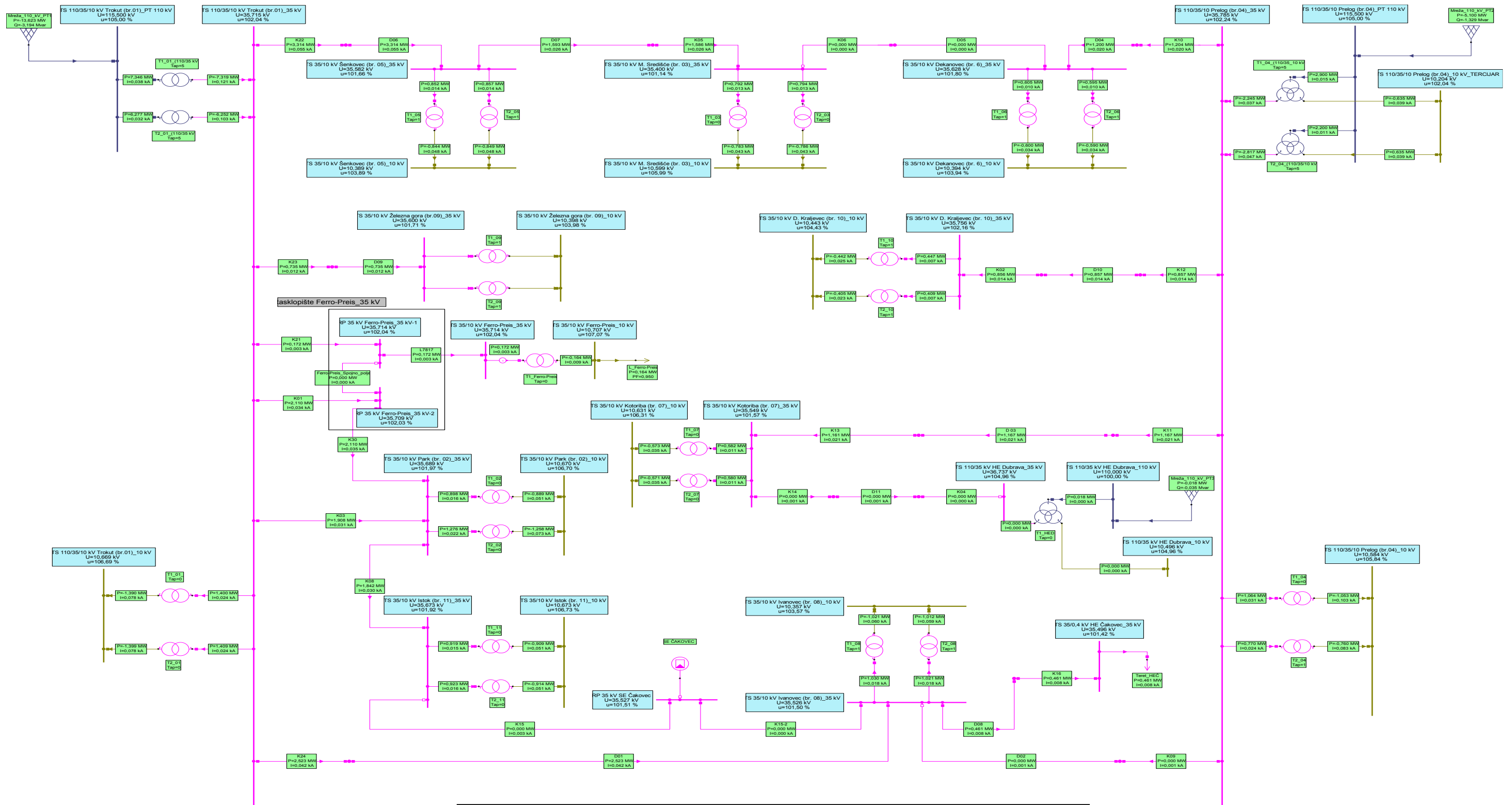
**Minimalno opterećenje** mreže iznosi 18,72 MW, od čega:

- a) TS 110/35/10 kV Čakovec "Trokut" – 13,623 MW
- b) TS 110/35/10 kV Prelog – 5,100 MW

U tablici je prikazan napon 35 kV sabirnicama u pojnim trafostanicama i položaj regulacijskih preklopki na transformatorima, za slučaj minimalnog opterećenja s i bez priključene SE Čakovec.

*Tablica 5.2 Napon i položaj regulacijskih preklopki u pojnim TS za minimalno opterećenje mreže s i bez priključene sunčane elektrane SE Čakovec*

	TS 110/35/10 kV Čakovec „Trokut“		TS 110/35/10 kV Prelog	
	bez SE	sa SE	bez SE	sa SE
U% 35 kV sabirnice	102,04	102,09	102,24	102,24
Transformator 1	6/21	6/21	6/21	6/21
Transformator 2	6/21	6/21	6/21	6/21



Slika 5.4 Napon u 35 kV mreži za minimalno opterećenje bez priključene SE Čakovec



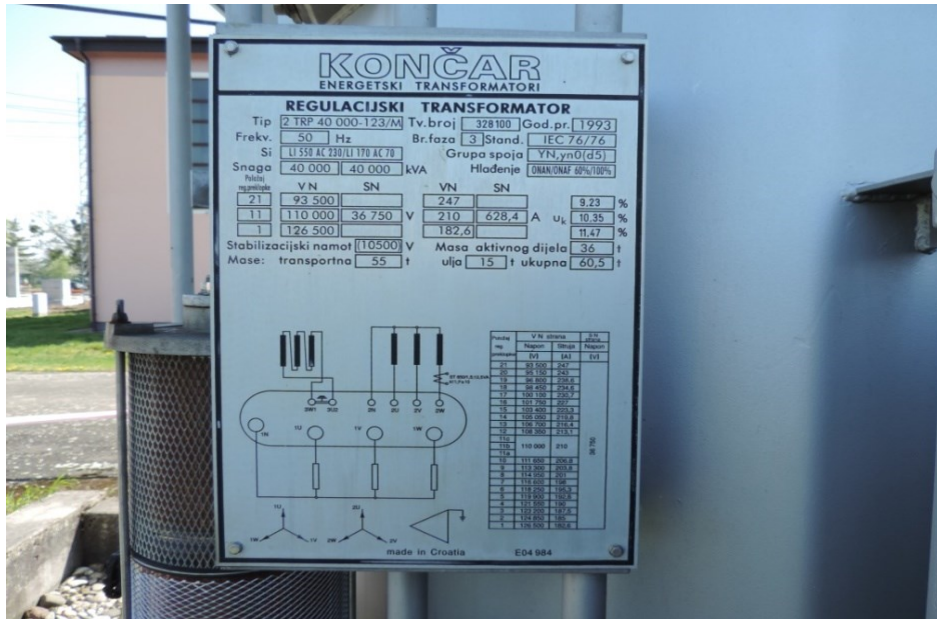
Priključenjem SE Čakovec dolazi do promjene napona na sabirnicama 35 kV u pojnoj TS 110/35/10 kV Čakovec "Trokut" za 0,005% što je nedovoljna promjena da bi došlo do promjene položaja regulacijske preklapke na transformatorima [11].



*Slika 5.6 Transformator "Trokut" Čakovec*



*Slika 5.7 Ormar automatske regulacija transformatora "Trokut" Čakovec*



Slika 5.8 Podaci transformatora "Trokut" Čakovec

## 6. Zaključak

OLTC će i dalje biti neophodan u optimalnom radu električnih mreža i industrijskih procesa u budućnosti. Konvencionalna tehnologija OLTC-a dostigla je vrlo visoke razine i sposobna je udovoljiti većini zahtjeva proizvođača transformatora. To se odnosi na sva današnja polja napona i snage, koji će vrlo vjerojatno ostati nepromijenjeni u budućnosti. Vrlo je malo vjerojatno da će kao rezultat novih impulsa za razvoj biti potrebne veće snage i veći naponi. Danas, glavna briga je pouzdanost OLTC-a te njegovo ponašanje u radu i kako zadržati ovu pouzdanost na visokoj razini tijekom životnog ciklusa regulacijskog transformatora.

Današnji koncepti dizajna OLTC-a temelje se na otporničkom i reaktorskom tipu OLTC-a i sve više i više vakuumskim prekidačima. Vakuum tehnologija prebacivanja koja se koristi u OLTC-ima zapravo je najsuvremeniji dizajn danas i sutra. Razvoj novih alternativnih tekućina za upotrebu u transformatorima i u OLTC poput prirodnih i sintetičkih estera dovest će do novih izazova. Uz vakuumsko prebacivanje tehnologija u OLTC-ima, te se tekućine mogu koristiti. Danas, uglavnom regulira transformatore do srednjeg dometa (<100 MVA).

## 7. Literatura

[1]

<https://www.google.com/search?q=tap+changer+know+how&oq=tap+changer+know+how&aqs=chrome..69i57.4154j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8> , dostupno 5.9.2021

[2] Božo Udovičić, Elektroenergetski sustav, Nenad Lihtar, Zagreb, 2005.

[3] Hrvoje Požar, Visokonaponska rasklopna postrojenja, Hrvoje Požar, Zagreb, 1978.

[4] <https://electricalgang.com/oil-circuit-breaker/>, dostupno 10.9.2021

[5] <https://www.scribd.com/doc/55528064/OEES-Predavanje-8> , dostupno 10.9.2021

[6] [http://ss-ios-pu.skole.hr/upload/ss-ios-pu/images/static3/883/attachment/ES\\_2-\\_1-Jednofazni\\_transformator.pdf](http://ss-ios-pu.skole.hr/upload/ss-ios-pu/images/static3/883/attachment/ES_2-_1-Jednofazni_transformator.pdf) , dostupno 10.9.2021

[7] Branko Tomičić, Električni strojevi zbirka, Branko Tomičić, Zagreb, 2004.

[8] [www.reinhausen.com](http://www.reinhausen.com) - OLTC for power transformers , dostupno 11.9.2021

[9] <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/on-load-tap-changer>, dostupno 25.9.2021

[10] <https://blog.phoenixcontact.com/marketing-sea/tag/make-before-break/> ,dostupno 12.9.2021

[11]

[https://www.hep.hr/ods/UserDocsImages/dokumenti/Desetogodisnji%20plan/10g\\_2020\\_2029.pdf](https://www.hep.hr/ods/UserDocsImages/dokumenti/Desetogodisnji%20plan/10g_2020_2029.pdf), dostupno 25.9.2021

## Popis slika

Slika 2.1 Rasklopno postrojenje

Slika 2.2 Primjer sabirnice

Slika 2.3 Rastavljač za napon 10 kV

Slika 2.4 Vrste rastavljača

Slika 2.5 *Pantografski rastavljač*

Slika 2.6 Uljni prekidač

Slika 2.7 Malouljni prekidač

Slika 2.8 Hidromatski prekidač

Slika 2.9 Pneumatski prekidač

Slika 2.10 SF<sub>6</sub> prekidač

Slika 2.11 Učinski rastavljač

Slika 2.12 Shema mjernog transformatora

Slika 2.13 Mjerni transformator 110 kV

Slika 2.14 Odvodnik prenapona

Slika 3.1 princip rada transformatora

Slika 3.2 nadomjesna shema realnog transformatora

Slika 3.3 vektorski dijagram realnog induktivno opterećenog transformatora

Slika 3.4 vektorski dijagram i nadomjesna shema realnog transformatora u praznome hodu

Slika 3.5 vektorski dijagram i nadomjesna shema realnog transformatora u kratkome spoju

Slika 3.6 Autotransformator

Slika 3.7 V spoj transformatora

Slika 3.8 Strujni transformator

Slika 3.9 Regulacijski transformator

Slika 4.1 Princip rasporeda namota regulacijskog transformatora u zvijezda-trokut spoju

Slika 4.2 Gubitak opterećenja sustava s jednim kontaktnim prebacivanjem

Slika 4.3 Princip "Make before break"

Slika 4.4 Osnovni spojevi namotaja izvoda

Slika 4.5 OLTC s neutralnim krajem izvoda namota

Slika 4.6 OLTC s priključkom namotaja izvoda u trokut

Slika 4.7 OLTC u autotransformatorima

Slika 4.8 Transformator s faznim pomicanjem – raspored izravnih krugova

Slika 4.9 Transformator s faznim pomicanjem – međukružni raspored

Slika 4.10 Načelo dizajna-prekidač za preusmjeravanje (lučni prekidač) s biračem izvoda

Slika 4.11 Slijed prebacivanja birača izvoda pomoću preklopnog prekidača

Slika 4.12 načelo dizajna- biračka sklopka

Slika 4.13 Slijed prebacivanja preklopne sklopke

Slika 4.14 OLTC s wolfram-bakrenim sustavom lučnih kontakata za mineralno transformatorsko ulje

Slika 4.15 Vakuumski prekidač dizajniran za razne OLTC preusmjerne prekidače

Slika 4.16 Usporedba brzina kontaktnog trošenja konvencionalnih bakreno-wolframovih kontakata i vakuumskih prekidača

Slika 4.17 Otvoreni vakuumski prekidači nakon 300 000 EAF operacija

Slika 5.1 Prikaz 35 kV distribucijske mreže HEP-ODS Elektre Čakovec

Slika 5.2 Napon u 35 kV mreži za maksimalno opterećenje bez priključene SE Čakovec

Slika 5.3 Napon u 35 kV mreži za maksimalno opterećenje s priključenom SE Čakovec

Slika 5.4 Napon u 35 kV mreži za minimalno opterećenje bez priključene SE Čakovec

Slika 5.5 Napon u 35 kV mreži za minimalno opterećenje s priključenom SE Čakovec

Slika 5.6 Transformator "Trokut" Čakovec

Slika 5.7 Ormar automatske regulacija transformatora "Trokut" Čakovec

Slika 5.8 Podaci transformatora "Trokut" Čakovec

## **Popis tablica**

Tablica 5.1 Napon i položaj regulacijskih preklopki u pojnim TS za maksimalno opterećenje mreže s i bez priključene sunčane elektrane SE Čakovec

Tablica 5.2 Napon i položaj regulacijskih preklopki u pojnim TS za minimalno opterećenje mreže s i bez priključene sunčane elektrane SE Čakovec





IZJAVA O AUTORSTVU  
I  
SUGLASNOST ZA JAVNU OBJAVU

Završni/diplomski rad isključivo je autorsko djelo studenta koji je isti izradio te student odgovara za istinitost, izvornost i ispravnost teksta rada. U radu se ne smiju koristiti dijelovi tuđih radova (knjiga, članaka, doktorskih disertacija, magistarskih radova, izvora s interneta, i drugih izvora) bez navođenja izvora i autora navedenih radova. Svi dijelovi tuđih radova moraju biti pravilno navedeni i citirani. Dijelovi tuđih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom, odnosno nezakonitim prisvajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnoga rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, Lucciano Ferdi (ime i prezime) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/~~ica~~ završnog/~~diplomskog~~ (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom Analiza mogućnosti korištenja automatske regulacije napajanja na srednjonaponskoj razini (upisati naslov) te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:

(upisati ime i prezime)

Lucciano Ferdi

(vlastoručni potpis)

Sukladno Zakonu o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju završne/diplomske radove sveučilišta su dužna trajno objaviti na javnoj internetskoj bazi sveučilišne knjižnice u sastavu sveučilišta te kopirati u javnu internetsku bazu završnih/diplomskih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice. Završni radovi istovrsnih umjetničkih studija koji se realiziraju kroz umjetnička ostvarenja objavljuju se na odgovarajući način.

Ja, Lucciano Ferdi (ime i prezime) neopozivo izjavljujem da sam suglasan/na s javnom objavom završnog/~~diplomskog~~ (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom Analiza mogućnosti korištenja automatske regulacije napajanja na srednjonaponskoj razini (upisati naslov) čiji sam autor/ica.

Student/ica:

(upisati ime i prezime)

Lucciano Ferdi

(vlastoručni potpis)