

**KONFIGURISANJE I TESTIRANJE MIKROPROCESORSKOG RELEJA ZA ZAŠTITU ENERGETSKOG TRANSFORMATORA****CONFIGURATION AND TESTING OF MICROPROCESSOR RELAY FOR POWER TRANSFORMER PROTECTION**Ninoslav Subotić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO**

**Kratak sadržaj** – U ovom radu je predstavljen primjer zaštite energetske transformatora. Navedeni su osnovni principi rada relejne zaštite i opisane su osnovne zaštite koje se koriste u šticeњу energetskog transformatora. U radu je korišćen jedan tip mikroprocesorsog releja i uređaj za sekundarno ispitivanje. Nakon detaljnog objašnjenja zaštita, praktičnim radom funkcije su ispitane odgovarajućim testnim alatom koji je korišten za sekundarno injektovanje struja. Na osnovu rezultata urađenih testova i funkcionisanja releja došlo se do određenih zaključaka.

**Ključne reči:** Relejna zaštita, Mikroprocesorski relej, Elektroenergetski transformator

**Abstract** – This document presents the basic principles of relay protection of power transformers. The basic protection functions used in the protection of power transformers are listed and described. One type of microprocessor relay and one secondary injection tool are used in test setup. Based on comparative analysis of the feedback in both the relay and the test tool obtained during practical tests, certain conclusions were presented.

**Keywords:** Relay protection, Microprocessor relay, Power transformer

**1. UVOD**

Osnovni cilj elektroenergetskog sistema jeste da se obezbjedi dovoljne količine kvalitetne električne energije potrošačima svih kategorija. Pored toga treba da se obezbjedi neprekidnost u napajanju i proizvodnji električne energije uz što je moguće manje troškove, elektrane, prenosna mreža i transformatorske stanice povezuju se u jedinstven elektroenergetski sistem, kako unutar manjih regija tako i unutar država pa i između više država.

Da bi elektroenergetski sistem mogao da funkcioniše potrebno je obezbjediti zaštitu svakog njegovog elementa (generator, transformator, vod, motor), a takođe i pojedinih cjelina u okviru elektroenergetskog sistema od kvarova. Zaštita cjelokupnog elektroenergetskog sistema od kvarova se ostvaruje relejnom zaštitom [1].

**NAPOMENA:**

**Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je dr Duško Bekut, red. prof.**

Oblast relejne zaštite predstavlja jednu od najvažnijih oblasti elektroenergetike koja treba da pruži adekvatnu zaštitu elemenata sistema, a posredno i zaštitu rukovaoca tim elementima. Iz tih razloga je neophodno da uređaji relejne zaštite budu ispravni i pouzdani, da bi u svakom trenutku mogli da odreaguju na unaprijed definisan način. U nastavku rada u drugom poglavlju dati su osnovni principi, svojstva i opšti zahtjevi koji su postavljeni pred relejnu zaštitu i koji je osnovni cilj relejne zaštite.

U trećem poglavlju govori se uopšteno o energetskom transformatoru kao uređaju i koja je svrha u njegovom korišćenju u elektroenergetskom sistemu, kao i dijelovi energetskog transformatora. Pored toga se govori i o kvarovima koji nastaju u energetskom transformatoru i vrste zaštita od tih istih kvarova i detaljno objašnjenje određenih zaštita koje su kasnije i testirane.

U četvrtom poglavlju urađeno je testiranje. Objasnjeni su uređaji koji su bili potrebni prilikom testiranja, a prikazani su i rezultati urađenih testova u određenom softveru uređaja za testiranje kao i u softveru releja.

Peto poglavlje ujedno i poslednje, a prikazuje kratak opis i zaključak u kom se obrazlaže ovakav vid testiranja.

**2. RELEJNA ZAŠTITA**

S obzirom na veliku vrijednost šticeđenih objekata, kao i na značaj normalnog snadbijevanja potrošača električnom energijom. Relejna zaštita ima vrlo važnu ulogu u pogonu elektroenergetskog sistema kao dio automatike elektroenergetskih postrojenja za proizvodnju, prenos i distribuciju električne energije.

Cilj primjene relejne zaštite je najbrže moguće isključenje elementa i/ili dijela elektroenergetskog sistema sa kvarom uz očuvanje funkcionalnosti ostalog dijela sistema [1].

Prema tome zadatak relejne zaštite elektroenergetskog postrojenja je da trajno nadzire karakteristične električne ili druge veličine (struju, napon, temperaturu) šticeđenog objekta i da u slučaju kvara ili opasnog pogonskog stanja automatski preduzme sve potrebne mjere da se kvar izbjegne ili da se svedu na minimum njegove posledice ako se već pojavio, kao i da o tome obavijesti pogonsko osoblje. Opšti zahtjevi koji se postavljaju pred relejnu zaštitu su [1]:

- Selektivnost.
- Brzina reagovanja.
- Osjetljivost zaštite.
- Pouzdanost.
- Jednostavnost.
- Ekonomičnost.

Najčešći kvarovi u elektroenergetskom sistemu su kratki spojevi (jednostruki, a potom i dvostruki), a zatim su to i prekidi provodnika, oštećenje elemenata sistema.

Kod kratkih spojeva su najčešći jednopolni kratki spojevi (70% do 95% svih jednostrukih kratkih spojeva), zatim dvopolni kratki spojevi (sa i bez spoja sa zemljom), dok su trolinjski kratki spojevi veoma rijetki [1].

Digitalni releji predstavljaju poslednju generaciju zaštitnih releja. Digitalni relej kao hardverski uređaj u sebi objedinjuje zaštite, logičke, mjerne, kontrolne i monitoring funkcije [1].

### 3. ZAŠTITA ENERGETSKOG TRANSFORMATORA

Transformator je statički uređaj koji pomoću elektromagnetne indukcije pretvara jedan sistem naizmjeničnih struja u jedan ili više sistema naizmjeničnih struja iste učestanosti i obično različitih vrijednosti napona i struja. Pri svakoj transformaciji energije javljaju se gubici. Step en iskorišćenja energije kod energetskih transformatora (ET-a) je vrlo visok, što sa jedne strane omogućava tehnički opravdan prenos električne energije, a sa druge strane ih uvrštava u klasu najbojnijih električnih mašina u elektroenergetskom sistemu [2].

Kvarovi na transformatorima nastaju kao posledica slabljenja i oštećenja izolacije. Ta oštećenja mogu biti izazvana naprezanjem električne prirode (nastaju kao posledica atmosferskih i pogonskih prenapona u mreži), mehaničke prirode (izazvane dinamičkim silama u namotima) ili kao posledica prevelikih zagrevanja. Pomenuta naprezanja dovode do polakog i neminovnog starenja i slabljenja izolacije i do pojave kvarova.

Kada su u pitanju kvarovi kod transformatora postoji težnja za brзом eliminacijom kvara jer postoji opasnost od pucanja transformatorskog suda – kotla i paljenja ulja [1].

Kod transformatora se sreću slijedeći kvarovi:

- kratki spojevi između namota transformatora,
- kratki spojevi između navojaka iste faze,
- kratki spojevi sa zemljom,
- lokalna tinjanja izolacije.

Najčešće se događaju preskoci na izvodima transformatora i kratki spojevi između navoja iste faze. Kratki spojevi na izvodima transformatora nastaju kao posledica proboja ili zaprašnja provodnih izolatora. Kratki spojevi između navojaka iste faze nastaju zbog slabljenja izolacije izazvanog strmim prenaponskim talasima. Relativno su česti i proboji prema uzemljenim dijelovima, dok su kratki spojevi između namota rijetki [1].

Kao zaštite od kvarova koriste se sledeće zaštite:

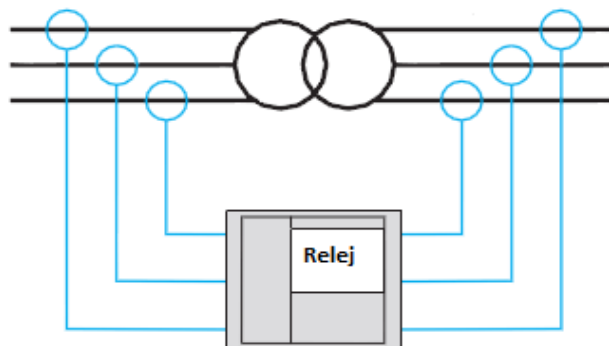
- diferencijalna zaštita transformatora,
- gasna zaštita (Buchholz relej),
- zemljospojna zaštita,
- trenutna prekostrujna,
- distantna,
- osigurači.

Kod transformatora, pored kvarova, postoje i opasna pogonska stanja. Opasna pogonska stanja su [1]:

- spoljašnji kratki spojevi,
- preopterećenje,
- isticanje ulja iz kotla.

### 3.1. Diferencijalna zaštita transformatora

Diferencijalna zaštita predstavlja osnovnu (temeljnu) zaštitu energetskog transformatora (ET-a). Danas ona predstavlja najčešći tip zaštite transformatora. Obavezna je za transformatore iznad 8MVA, za manje transformatore se rijeđe koristi zbog visoke cijene – slika 1.



Slika 1. Prikaz povezivanja releja na mrežu u izvedbi diferencijalne zaštite[3]

Diferencijalna zaštita mora djelovati isključivo u slučaju kvarova unutar svoje zaštitne zone (kvarovi između strujnih transformatora na koje je priključena). Riječ je o kvarovima u samom šticeenom objektu (energetskom transformatoru) i kvarovima na primarnim spojnim vodovima na potezu od energetskog transformatora do strujnih transformatora s obje strane. U slučaju kvarova izvan šticeene zone, diferencijalna zaštita ne smije djelovati [4].

Diferencijalnom zaštitom se transformator štiti od:

- međufaznih kratkih spojeva u ET-u ili na izvodima iz ET-a,
- faznih kratkih spojeva,
- jednofaznih kratkih spojeva ako je zvjezdšte transformatora direktno uzemljeno.

Osnovni element diferencijalne zaštite energetskog transformatora jeste stabilizacioni diferencijalni relej. On djeluje na temelju poređenja struja koje ulaze i izlaze iz šticeenog objekta (zaštitne zone). Sastoji se od:

- stabilizacione grane i
- diferencijalne grane.

Primjenjujući princip diferencijalne zaštite na transformatore, treba uzeti u obzir [4]:

- korekciju mogućeg faznog pomjeraja na faznim namotajima (usklađivanje faznog pomjeraja),
- efekat načina uzemljenja i sprege (filtriranjem nultih komponenti struje),
- korigovanje mogućeg neslaganja veličina struja iz strujnih transformatora (korekcija odnosa transformacije),
- posledica udarne struje tokom uključenja transformatora,
- moguću prepobudu.

### 3.2. Prekostrujna zaštita energetskog transformatora

Uz diferencijalnu zaštitu energetskog transformatora koja je ujedno i njegova osnovna zaštita, još se može koristiti i prekostrujna zaštita, kao rezervna (eng. „back-up“) zaštita. Ona mora u svakom slučaju djelovati s određenim vremenskim zatezanjem (vremenskim kašnjenjem) da

dopusti djelovanje diferencijalnoj zaštiti, koja djeluje trenutno (bez vremenskog kašnjenja, tj. s vlastitim vremenom djelovanja relejnog uređaja uvećanim za vrijeme djelovanja samog prekidača, što zajedno iznosi oko 100ms).

Ukoliko diferencijalna zaštita energetskog transformatora zakaže iz bilo kog razloga, tada prekostustrujna zaštita treba isključiti energetski transformator [4].

Koriste se pritom najčešće sljedeće prekostrujne zaštite:

- niskopodesiva prekostrujna zaštita (IEC  $I>$ , ANSI 51);
- visokopodesiva (trenutna) prekostrujna zaštita (IEC  $I>>$ , ANSI 50).

Trenutna prekostrujna zaštita ( $I>>$ ) će djelovati pri nastajanju međufaznih kvarova unutar osnovne zone štice, koju u ovom slučaju predstavlja sam energetski transformator, ovom zaštitom se eliminišu međufazni kratki spojevi na priključcima transformatora i u transformatoru [1].

### 3.3. Zaštita od kratkih spojeva sa zemljom

Diferencijalna zaštita nije dovoljno osjetljiva da detektuje unutrašnji jednofazni kratak spoj ukoliko se kvar nalazi u blizini neutralne tačke transformatora ili ako je struja zemljospoja ograničena [5].

U mreži u kojoj su zvezdišta transformatora uzemljena preko otpora za ograničenje struje jednopolnog kratkog spoja primjena diferencijalne zaštite nije efikasna.

Može se desiti da struje kratkih spojeva budu istog reda ili čak manje od veličine struje pri kojoj se djeluje diferencijalnom zaštitom, pa postoji opasnost da jedan dio kratkih spojeva ne bude detektovan.

To se posebno odnosi na kvarove koji nastaju bliže zvjezdištu transformatora [1].

### 3.4. Gasna zaštita

Kod transformatora kod kojih postoji dilatacioni sud sa konzervatorom može se primjenjivati gasna zaštita sa Buchholz relejom. Princip rada ove zaštite zasniva se na tome da pri pojavi kvarova (koji su uvijek praćeni lukom) unutar kotla dolazi do intenzivnog nastanka gasova i povećanja pritiska u kotlu.

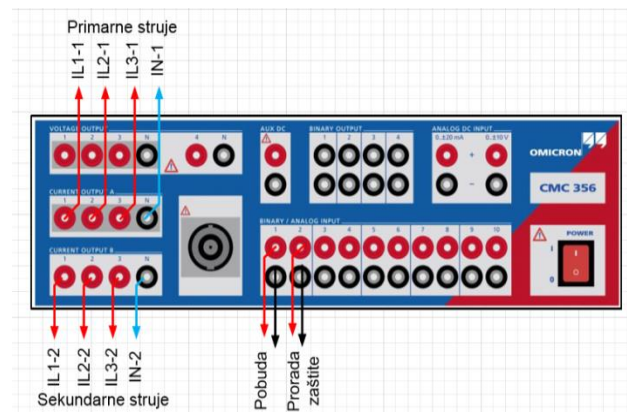
Interesantno je napomenuti da se sastav gasova razlikuje u zavisnosti od vrste kvara.

Ovaj tip zaštite predstavlja izuzetno jednostavnu i pouzdanu zaštitu i primjenjuje se kod gotovo svih uljnih transformatora (ova zaštita se ne koristi kod transformatora snaga manjih od 160kVA). Pri pojavi kratkih spojeva vrijeme djelovanja ovim relejima je oko 0.1s [1].

## 4. TESTIRANJE ZAŠTITNIH FUNKCIJA

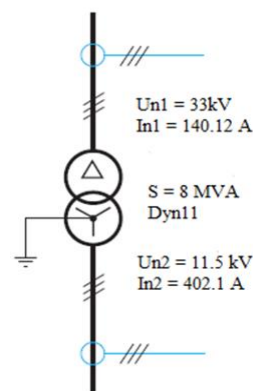
U ovom radu ispitane su zaštite: diferencijalna zaštita, prekostrujna, zaštita i zaštita od kratkih spojeva sa zemljom energetskog transformatora. Za testiranje je korišćen ispitni alat za sekundarno injektovanje struje i napona – slika 2.

Ispitni alat je korišćen za injekciju trofaznih struja, za praćenje izlaza releja koji signalizira pobudu i proradu zaštite.



Slika 2. Uređaj za injektovanje električnih veličina

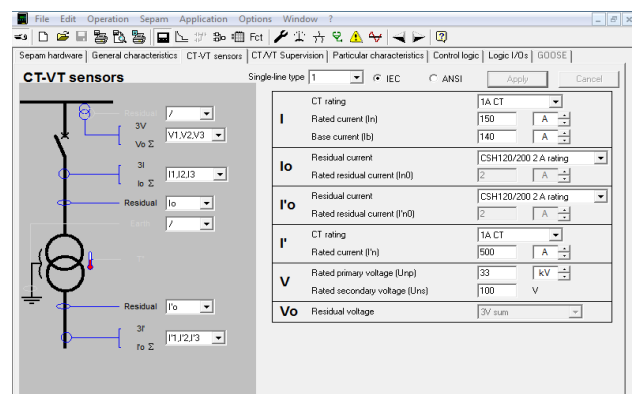
U ovom radu testira se zaštita energetskog transformatora kao štice objekta i za potrebe testiranja koristiće se energetski transformator sa karakteristikama prikazanim na slici 3.



Slika 3. Osnovni parametri energetskog transformatora [3]

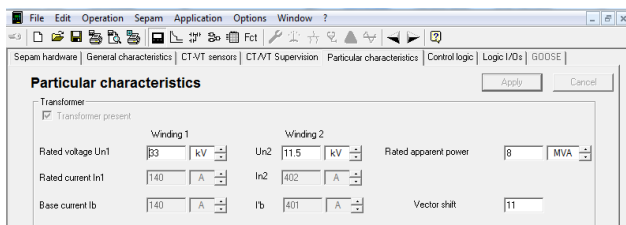
Nominalna snaga transformatora (S) je 8MVA, namotaj 1 sa visokonaponske strane ET-a je 33kV, a namotaj 2 sa niskonaponske strane ET-a je 11,5kV, a sprega transformatora je Dy11. Prenosni odnos ST1 na 33kV strani je 150/1, a prenosni odnos ST2 na 11,5kV je 500/1.

U numeričkim relejima u okviru podešavanja konfiguracije štice objekta, nalazi se podešavanje prenosnih odnosa strujnih transformatora čiji su sekundarni krajevi povezani na strujne kartice releja – slike 4 i 5.



Slika 4. Podešavanje osnovnih karakteristika strujnih i naponskih mjernih transformatora





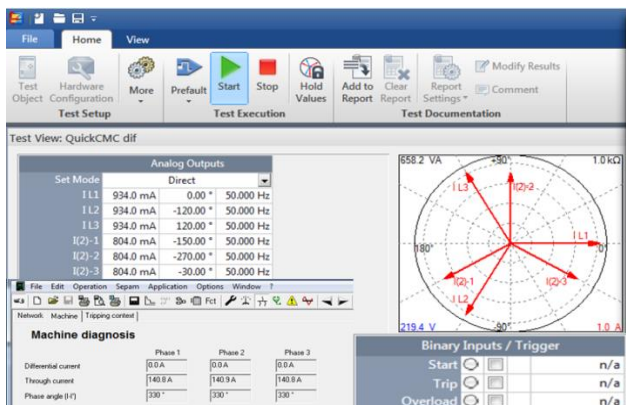
Slika 5. Podešavanje osnovnih karakteristika šticeenog objekta

Prva i osnovna stvar koja je neophodna na samom početku procesa testiranja releja jeste provjera sekundarnih strujnih krugova i provjera tačnosti očitavanja mjerenja releja prilikom injekcije sekundarnih struja.

Prilikom testiranja određene zaštite neophodno je prvo podesiti odgovarajuće parametre zaštite koja se ispituje kao softveru releja tako i u softveru uređaja za ispitivanje.

Test stabilnosti diferencijalne zaštite se sprovodi da bi se utvrdilo da li je diferencijalna zaštita stabilna, diferencijalna zaštita ne bi trebalo da prodadi, kod normalno balansiranih opterećenja.

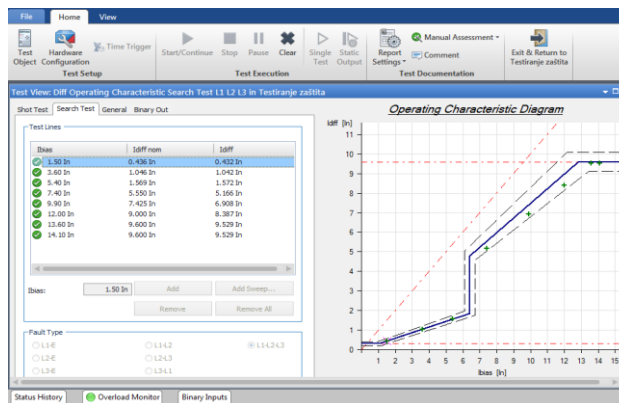
Na ovaj način se provjerava i ispravnost povezanih strujnih transformatora. Na osnovu vrijednost sekundarnih struja koje su injektovane i faznog pomjeraja tih struja, kao rezultat ovog testa očekuje se da diferencijalna struja bude 0, dok će postojati stabilizaciona struja koja bi trebalo da bude najveća od svih pojedinačnih struja. Sa slike 6. se vidi da zaštita nije proradila, da je stabilna.



Slika 6. Stabilnost diferencijalne zaštite

Test određivanja diferencijalno-stabilizacione karakteristike se vrši kako bi se pokazalo da li diferencijalna zaštita transformatora releja radi kako je podešeno odnosno da li podešenje zaštite u softveru releja odgovara stvarnom radu releja. Odnosno, da li će zaštita odreagovati kada je to potrebno i da li će ostati stabilna i neće odreagovara kada ne postoji kvar u šticeenoj zoni. Ograničenje prorade zaštite je diferencijalno-stabilizaciona kriva, pa se ovim testom ispituje podešena kriva.

Kriva mora da se podesi i u softveru releja i u softveru uređaja za testiranje, kako bi se prepoznala kriva u softveru uređaja za testiranje, parametri krive moraju da se podudaraju u oba softvera, time se omogućava ispitivanje krive koju je korisnik podesio – slika 7.



Slika 7. Traženje diferencijalno-stabilizacione karakteristike

## 5. ZAKLJUČAK

Cilj ovog rada bio je da se uradi konfigurisanje i testiranje mikroprocesorskog releja za zaštitu energetskog transformatora. Da bi se to moglo realizovati, bilo je neophodno pružiti detaljan opis funkcionisanja određenih zaštita i funkcionisanja uređaja, odnosno njegovih zaštitnih funkcija. Nakon toga se izvršilo testiranje. Kako bi se uređaj što bolje testirao urađeni su testovi za sve vrste kvarova (jednopolne, dvopolne i trolpolne).

S obzirom na to da su sve dobijene vrijednosti u dobrom mjernom opsegu i da su svi testovi zadovoljili određene kriterijume, izvodi se zaključak da relej u potpunosti radi ispravno i da bi se u stvarnom pogonu prilikom pojava određenih kvarova ponašao baš onako kako se to od njega zahtijeva.

## 6. LITERATURA

- [1] Duško Bekut, „Relejna zaštita“, Fakultet Tehničkih nauka, Novi Sad, 2009.
- [2] Jovan Nahman, Vladica Mijailović, „Razvodna postrojenja“, Beograd, 2015.
- [3] Sepam, „Protection, metering and control functions“, User’s manual, 2016.
- [4] Petar Sarajčević i Robert Kosor, „Zaštita u elektroenergetskom sustavu“, Sveučilište u Splitu, 2020.
- [5] Jelisaveta P. Krstivojević, „Digitalna zaštita energetskih transformatora od unutrašnjih kvarova“, Elektrotehnički fakultet, Beograd, 2015.

### Kratka biografija:



**Ninoslav Subotić** rođen je u Vukovaru 1994. godine. Osnovne studije završio je na Fakultetu tehničkih nauka 2018. godine iz oblasti Elektrotehnika i računarstvo smjer Elektroenergetski sistemi. Master studije upisao je 2018. godine na istom fakultetu smjer Elektroenergetika – Električne mašine i energetska elektronika.

Kontakt: [ninoslav.subotic1@gmail.com](mailto:ninoslav.subotic1@gmail.com)