

ZAŠTITA TRANSFORMATORA TRANSFORMER PROTECTION

Milica Dukić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO

Kratak sadržaj – U ovom radu se razmatra zaštita transformatora. Cilj je da se opišu sve zaštite transformatora kao i primena mikroprocesorske zaštite. Razmatranja su ilustrovana na primeru dve transformatorske ćelije u 35 kV postrojenju. Razvijeno je rešenje u softverskom okruženju „SFT2841“ koje se koristi u slučaju primene zaštitnog uređaja SEPAM T87.

Ključne reči: zaštita transformatora, mikroprocesorska zaštita

Abstract – This paper deals with transformer protection. The goal is to describe all types of transformer protection and use of microprocessor protection. Considerations are illustrated on example with two transformer cells in 35kV switchgear. A software solution has been developed in „SFT2841“ software environment. This environment is used for a case of SEPAM T87 protection device.

Keywords: Transformer protection, Microprocessor protection

1. UVOD

U radu se razmatra zaštita transformatora. Zaštita transformatora, kao i naravno bilo kog dela elektroenergetskog sistema, je veoma važan deo održavanja sistema. Ono na šta se u današnje vreme sve češća pojava je primena mikroprocesorske zaštite umesto starih elektromehaničkih zaštita. U poglavlju 2 kratko su opisani mogući kvarovi transformatora i šta su mogući uzroci tih kvarova. U poglavlju 3 nabrojane su i opisane vrste zaštita koje se koriste za zaštitu transformatora. Navedena su i opasna pogonska stanja kao i zaštite koje se koriste u takvim situacijama. Poglavlje 4 posvećeno je mikroprocesorskoj zaštiti. Opisan je istorijski razvoj mikroprocesorske zaštite, princip rada i vrste ovih zaštita. Na kraju ovog poglavlja dato je poređenje mikroprocesorske zaštite i klasične zaštite. U poglavlju 5 dat je konkretan primer podešenja zaštite transformatora na transformatorskim ćelijama 35 kV postrojenja toplane „Cerač“. Kao zaštitni uređaj korišćen je relej SEPAM T87. Podešenja zaštite se realizuju u softverskom okruženju „SFT2841“. Poglavlje 6 tiče se ispitivanja zaštite. Objasnjeno je iz kojih razloga je neophodno ispitavanje funkcionalnosti zaštite pre puštanja u rad. U poglavlju 7 razmatra se sistem za upravljanje, zaštitu i nadzor – SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) sistem. Navedene su mnogobrojne prednosti korišćenja ovog sistema. U poglavlju 8 dat je zaključak.

NAPOMENA:

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

2. ZAŠTITA TRANSFORMATORA

Kvarovi na transformatorima prvenstveno nastaju kao posledica slabljenja i oštećenja izolacije. Oštećenja mogu biti izazvana napreznjima električne prirode, mehaničke prirode ili kao posledica prevelikog zagrevanja. Kada govorimo o kvarovima transformatora, postoji zahtev za brzom eliminacijom kvarova jer postoji opasnost od pucanja kotla i paljenja ulja.

Obično se nailazi na sledeće kvarove:

1. Kratki spojevi između namota transformatora.
2. Kratki spojevi između navojaka iste faze.
3. Kratki spojevi sa zemljom.
4. Lokalna tinjanja izolacije zbog previsokih električnih napreznja ili kao posledica smanjenja kvaliteta izolacije usled prevelikog zagrevanja [1].

3. VRSTE ZAŠTITA TRANSFORMATORA

Kao zaštite transformatora od kvarova koriste se sledeće zaštite:

- Diferencijalna.
- Gasna.
- Zemljospojna.
- Trenutna prekostrujna.
- Distantna.
- Osigurači.

Kod transformatora postoje i opasna pogonska stanja – spoljašnji kratki spojevi, preopterećenje i isticanje ulja iz kotla. Kao zaštite od opasnih pogonskih stanja koriste se prekostrujna zaštita, zaštita od preopterećenja i gasna zaštita.

3.1 DIFERENCIJALNA ZAŠTITA

Ova zaštita se koristi kada se transformatora štiti od kratkih spojeva između namota, navoja i kratkih spojeva sa zemljom. Kod primene ove zaštite nailazi se na problem razlike struja sa njegovih strana, po modulu i faznom stavu. Ovaj problem je dodatno složen ukoliko je fazni pomeraj sprege transformatora različit od 0 sati.

3.2 GASNA ZAŠTITA

Gasna zaštita sa Buholc relejom se može koristiti kod transformatora kod kojih postoji dilatacioni sud. Princip rada ove zaštite se zasniva na tome da pri pojavi kvarova unutar kotla dolazi do intenzivnog nastanka gasova i povećanja pritiska u kotlu. Konstrukcijom Buholc releja omogućena je i detekcija lokalnih tinjanja izolacije i kratkih spojeva.

3.3 ZAŠTITA OD KRATKIH SPOJEVA SA ZEMLJOM

Kod transformatora koji rade u mreži u kojoj su zvezdišta transformatora uzemljena preko otpora za ograničenje

struja jednopolnog kratkog spoja primena diferencijalne zaštite nije efikasna. Problem je što se može desiti da struje kratkih spojeva budu istog reda ili manje od veličine struje pri kojoj se deluje diferencijalnom zaštitom, pa postoji opasnost da jedan deo kratkih spojeva ne bude detektovan. Iz tog razloga se diferencijalna zaštita primenjuje samo za transformatore većih snaga. Rad zaštite od kratkih spojeva sa zemljom zasnovan je na detekciji nulte komponente struje.

3.4 TRENUTNA PREKOSTRUJNA ZAŠTITA

Ova zaštita je rezervna ili alternativna diferencijalnoj zaštiti. Ovom zaštitom se eliminišu međufazni kratki spojevi na priključcima transformatora i u transformatoru. Ovom zaštitom je efikasno delovati u slučaju kvarova unutar transformatora ukoliko se pri simulaciji međufaznog kratkog spoja sa minimalnom vrednošću struje na mestu bliže releju dobije vrednost struje koja je bar dva puta veća od struje podešenja. Ovaj način provere osetljivosti zaštite je pre svega praktičan jer se ne mogu lako izračunati vrednosti struja kada je mesto kvara unutar transformatora.

3.5 TERMIČKA ZAŠTITA

Transformatori su električne mašine koje se mogu preopteretiti. Propisima nije regulisano koliko sme da bude i da traje opterećenje. Zato se u tehničkim preporukama elektroprivrednih preduzeća daju odgovarajuće preporuke za pogone sa preopterećenjima. Kao zaštita od preopterećenja se kod transformatora SN/NN koristi bimetalna zaštita sa strane niskog napona. Postupci zaštite od preopterećenja zasnovani na merenju temperature ulja bolja su varijanta zaštite od preopterećenja jer su, posredno, preko temperature ulja uzeti u obzir i prethodno opterećenje i aktuelna temperatura okoline.

3.6 ZAŠTITA OD STRUJA SPOLJNIH KRATKIH SPOJEVA

Pri pojavi kratkih spojeva u blizini transformatora može se dogoditi da kroz transformator teku struje velikog intenziteta koje mogu dovesti do oštećenja. U ovakvim slučajevima termičke zaštite nisu dovoljno efikasne jer reaguju relativno sporo.

Trenutna prekostruja je takođe neosetljiva na ovakve kvarove. Iz tog razloga uvodi se zaštita od struja spoljnih kratkih spojeva.

Ona se realizuje pomoću prekostrujnih releja postavljenih sa jedne ili obe strane transformatora, u zavisnosti da li postoji jednostrano ili dvostrano napajanje transformatora [1].

4. MIKROPROCESORSKA ZAŠTITA

4.1. ISTORIJSKI RAZVOJ

Razvoj mikroprocesorske zaštite počeo je krajem 60-ih i početkom 70-ih godina. U početku je rad mikroprocesorskih zaštita bio upoređivan sa radom klasičnih releja. Uloženo je mnogo napora da se mikroprocesori učine dovoljno pouzdanim i sigurnim. Prvi komercijalni mikroprocesorski releji su bili frekventni releji.

Cena je nekada bila ograničavajući faktor za značajnije širenje ove zaštite, ali sa značajnim smanjenjem cene čipova i ova prepreka je uklonjena.

4.2 PRINCIP RADA

Ova grupa releja predstavlja savremenu grupu koja se primenjuje u zaštiti. Relativno retko se javlja situacija da se mikroprocesor koristi samo za jednu vrstu zaštite. Najčešći je slučaj da se mikroprocesor koristi kao baza za funkcionalno objedinjavanje više vrsta releja, kao i funkcija koje se sreću u okviru zaštitnog sistema, pa se zato često govori o mikroprocesorskom zaštitnom sistemu ili kraće o mikroprocesorskoj zaštiti.

Mikroprocesorska zaštita podrazumeva zaštitu koja je potpuno numerički orijentisana. Dakle, svi ulazi u deo u kojem se obrađuju merni signali su numeričke vrednosti koje se dobijaju odgovarajućim proračunom. Do potrebnih veličina za proračune se dolazi merenjem (semplovanjem) naponskih i strujnih signala i njihovom konverzijom u binarne vrednosti više puta u nekom periodu vremena. Kod većine releja, broj semplova predstavlja unapred izabrani umnožak nominalne frekvencije koja se koristi u elektroenergetskom sistemu. Pošto se za proračune koriste veličine kao što su npr. Fazori ili efektivne vrednosti, neophodno je dobijene binarne vrednosti transformisati u te veličine. Ove veličine su podaci za proračune nakon kojih se dobija rezultat – vrednost koja se logički poredi sa izabranim podešenjem. Kao rezultat poređenja dobijaju se signali na izlazima koji mogu imati za rezultat delovanje prekidačima, upravljanje, startovanje nekih drugih procedura ili samo obaveštavanje operatera o događajima.

4.3 VRSTE MIKROPROCESORSKIH RELEJA I ZAŠTITA

Postoje sledeće tri grupe mikroprocesorskih releja i zaštita:

- Mikroprocesorski releji čiji se rad zasniva na primeni izuzetno jednostavnih funkcija i kod kojih se ne zahteva velika brzina merenja. Ovi releji su najčešće bazirani na primeni efektivnih vrednosti, a retko na primeni vrednosti kod kojih se mere amplituda i frekvencija.
- Hibridne zaštite kod kojih se brzo merenje obezbeđuje hardverom (npr. DSP čipom). U okviru takvih releja postoji sistem kojim se obezbeđuje odgovarajući nadzor i upravljanje radom jednog ili više mikroprocesora.
- Deljeni releji se dobijaju kada se jedan deo resursa nekog mikroprocesora (a koji se inače koristi za više namena istovremeno) iskoristi i za potrebe relejne zaštite. U ovom slučaju se primenjuju krajnje jednostavne funkcije, a ne može se očekivati ni posebno visok kvalitet zaštite, niti brzina delovanja. Tipično vreme delovanja ovakvih releja je reda veličine 50ms, tako da se ova grupa primenjuje na mestima gde se ne zahteva brza eliminacija kvara. Istovremeno, cena ovih releja je izuzetno niska.

4.4 POREĐENJE MIKROPROCESORSKE ZAŠTITE I KLASIČNE ZAŠTITE

Primena mikroprocesora stvorila je mogućnost za konstruisanjem inteligentnih releja koji se relativno jednostavno i praktično neprekidno prilagođavaju novostečenim iskustvima. Primenom mikroprocesora dobija se zaštita koja ima sledeće osobine:

- Kvalitetnija i znatno širih mogućnosti u odnosu na klasičnu; omogućena je primena „inteligentnih“ funkcija i postupaka.

- Veći broj funkcija se povezuje u okviru jedne zaštite.
- Omogućava se nadzor šticećenog objekta i u slučajevima kada nema kvara.
- Korišćenje grafičkog (ekranskog) prikaza.
- Detaljan zapis svih parametara kvara.
- Daljinski nadzor i upravljanje.
- Stabilnost rada sa podešenim parametrima.
- Ovakva zaštita služi kao podrška sistemu upravljanja i automatizaciji pogona.
- Omogućava se samonadzor i samokontrola ispravnosti; postoji mogućnost prijave kvara releja i zaštite odmah po nastavku (kod klasičnih releja kvar se može ustanoviti tek pri kontroli ili tek kada relej ne deluje).
- Jednostavnije održavanje i zamena; značajno smanjenje broja ljudi potrebnih za ove poslove; održavanja praktično nema, već se samo nadziru alarmi o eventualnoj neispravnosti; popravke se ne vrše, već samo zamene.
- Značajni smanjen prostor koji se zahteva za montažu releja; objedinjavanjem funkcija releja u mikroprocesorskoj zaštiti gube se žičane veze koje su postojale između klasičnih releja; smanjuje se potreba za kontrolom veza, kao i mogućnost grešaka pri vezivanju i održavanju releja; sa smanjenjem žičanih veza smanjuje se i verovatnoća eventualnog oštećenja tih veza zbog korozije ili oštećenja koje mogu izazvati životinje (npr. glodari).
- Značajno smanjena potrošnja energije.
- Niska cena.

5. PRIMENA MIKROPROCESORSKE ZAŠTITE ZA ZAŠTITU TRANSFORMATORA

5.1 TOPLANA „CERAK“

Kao primer praktične primene zaštite transformatora mikroprocesorskom zaštitom u odgovarajućem softverskom okruženju biće obrađena zaštita transformatora u toplani „Cerak“ (prikazana na slici 5.1.1).



Slika 5.1.1 – Toplana Cerak [2]

5.2 Proračun podešenja zaštite

Konkretan primer podešenja mikroprocesorske zaštite transformatora biće urađen na transformatorskim ćelijama 35 kV postrojenja toplane „Cerak“. Postrojenje 35 kV se sastoji iz dve dovodne, jedne merno-spojne i dve transformatorske ćelije. Zaštitni uređaj koji je u ovom slučaju primenjujen je SEPAM T87.



Slika 5.2.1 – Izgled zaštitnog uređaja SEPAM T87 [4]

5.2.1 Diferencijalna zaštita

Tabela 5.2.1.1 – Podešenja diferencijalne zaštite [3]

Diferencijalna zaštita (87T)			
Ćelija	Stepen funkcije	Proradna struja [$\times I_{nTR}$]	Vreme reagovanja [s]
Transformatorske ćelije	Stabilisani – $I_d >$	0,3	0
	Nestabilisani – $I_d >>$	12	0

5.2.2 Prekostrujna zaštita – VN strana (51)

Tabela 5.2.2.1 – Podešenja prekostrujne zaštite [3]

Prekostrujna zaštita – VN strana (51)		
Ćelija	Proradna struja [A]	Vreme reagovanja [s]
Transformatorske ćelije	160	1

5.2.3 Kratkospojna zaštita – VN strana (50)

Tabela 5.2.3.1 – Podešenja kratkospojne zaštite [3]

Kratkospojna zaštita – VN strana (50)		
Ćelija	Proradna struja [A]	Vreme reagovanja [s]
Transformatorske ćelije	1050	0

5.2.4 Zemljospojna zaštita – VN strana (51N)

Tabela 5.2.4.1 – Podešenja zemljospojne zaštite [3]

Zemljospojna zaštita – VN strana (51N)		
Ćelija	Proradna struja [A]	Vreme reagovanja [s]
Transformatorske ćelije	50	0,5

5.2.5 Zaštita od otkaza prekidača (50BF)

Tabela 5.2.5.1 – Podešenja zaštite od otkaza prekidača [3]

Zaštita od otkaza prekidača (50BF)		
Ćelija	Strujni uslov [A]	Vreme reagovanja [s]
Transformatorske ćelije	50	0,25

5.3 PRIMENA PRORAČUNATIH PODEŠENJA

Za podešavanje zaštitnog uređaja SEPAM T87 koristi se softversko okruženje „SFT2841“.

6. ISPITIVANJE ZAŠTITE

Pored podešenja zaštite, veoma važan korak je svakako i ispitivanje zaštite. Ispitivanje zaštite je obavezan korak pre puštanja u rad u cilju proveravanja podešenih zaštitnih funkcija injektovanjem sekundarnih vrednosti napona i struja i simuliranjem realnih situacija i kvarova. Testiranje pre puštanja u rad najčešće obuhvata:

- Ispitivanje sistema (injektovanje sekundarnih vrednosti baziranih na primarnim parametrima sistema).
- Ispitivanje zaštitnog uređaja (injektovanje sekundarnih vrednosti u cilju provere tačnosti pojedinačnih funkcija zaštite).
- Testiranje logike zaštitnog uređaja.

Osim testiranja pre puštanja u rad, neophodno je i testiranje funkcionalnosti zaštite u sklopu održavanja uređaja. Ovo je potrebno uraditi u cilju održavanja ispravnosti funkcija zaštite Sistema, ali takođe i u cilju produžavanja životnog veka samog uređaja. Prilikom testiranja funkcionalnosti moguće je otklanjanje skrivenih grešaka.

7. UPOTREBA PODATAKA ZA SISTEM UPRAVLJANJA, ZAŠTITE I NADZORA

Sam zaštitni mikroprocesorski uređaj, u zavisnosti od kompleksnosti, raspolaže sa velikim brojem informacija. U cilju isporuke kvalitetne električne energije poželjno je sve informacije pratiti i sagledati u realnom vremenu. U cilju povećanja ekonomičnosti, pouzdanosti, sigurnosti i kvaliteta isporuke električne energije potrebno je povezati transformatorske stanice u sistem pomoću koga bi bilo moguće vršiti daljinsko nadziranje i upravljanje.

SCADA je sistem koji služi za automatizaciju procesa, za prikupljanje podataka sa senzora i dislociranih mernih stanica, za prenos i prikazivanje prikupljenih podataka u centralnoj stanici u svrhu nadzora i/ili upravljanja u realnom vremenu [5, 6].

Za nadgledanje su obično zaduženi operatori, inženjeri i sl. a pod pojmom upravljanja misli se na praćenje, zadavanje pravila rada i telemetriju. Prikupljeni podaci se prikazuju na jednom ili više računara u centralnoj stanici.

8. ZAKLJUČAK

Kvarovi transformatora koji nastaju se eliminišu korišćenjem nekih od zaštita koje su obrađene u ovom radu. Pored ekonomskih razloga (samo transformatori ima visoke cene), razlozi šticejenja su svakako i sprečavanje havarijskih dešavanja i ugrožavanje bezbednosti ljudi.

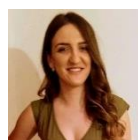
Mikroprocesorska zaštita je svakako prevazišla sve ograničavajuće faktore starih tipova relejne zaštite.

U poslednjim delovima ovog rada prikazane su samo neke od mogućnosti primene mikroprocesorske zaštite (u ovom radu konkretno zaštite transformatora, što je svakako primenjivo i na druge zaštite) koje je omogućio napredak i razvoj tehnologije. Pored pomenutih zaštitnih funkcija, kvalitet zaštite i upravljanja podignut je na viši nivo digitalnim prenosom signala i digitalnom komunikacijom. Ova pomenuta rešenja direktno dovode do prednosti automatizovanih sistema i brojne dobrobiti kao što su: smanjenje troškova održavanja transformatorske stanice u periodu eksploatacije, povećanje pouzdanosti i sigurnosti, smanjenje ljudskih resursa,...

9. LITERATURA

- [1] Duško Bekut, „Relejna zaštita“, Novi Sad, Fakultet tehničkih nauka, 2009.
- [2] <http://www.beoelektrane.rs/>
- [3] Electroconsult d.o.o „Ispitni protokoli, Electroconsult“, Novi Sad
- [4] Schneider Electric „SEPAM mikroprocesorska zaštita“ – srpski korisnički katalog
- [5] <https://www.scadalink.com/solutions/solutions-by-technology/remote-monitoring-systems/>
- [6] https://www.ucg.ac.me/skladiste/blog_8554/objava_30673/fajlovi/SCADA%20sistemi2013.pdf

Kratka biografija:



Milica Dukić rođena je u Zrenjaninu 1994. godine. Master rad je odbranila 2019. godine na Fakultetu tehničkih nauka iz Elektrotehnike i računarstva – Elektroenergetski sistemi.