

Električka zaštita brodskih generatora

FELIKS ŠAUT

OPĆENITO

Potrebe za električnom energijom na brodu danas su takve da se ugrađuju uglavnom tri agregatora, koji mogu raditi samostalno ili u paralelnom spoju. Takvi generatori priključeni su izravno na sabirnice glavne razvodne ploče, s koje odlaze vodovi do vrlo važnih potrošača, važnih potrošača, distributivnih razvodnih ploča ili pomoćnih razvodnih ploča.

U takvim pogonskim uvjetima, u mreži, na sabirnicama glavne razvodne ploče i u samom generatoru (uključujući i priključni kabel do prekidača — sklopke) mogu nastati događaji koji ugrožavaju neposredno generator kao stroj, a posredno i sam brod.

Generator je najvažniji i najteže zamjenjivi dio električne mreže. Zbog toga je potrebno osigurati maksimalnu ispravnost stroja te ugraditi uređaje koji će štiti generator od neželjenih posljedica.

U tu se zaštitu ubrajaju:

- zaštita od kratkog spoja
- zaštita od dozemnog spoja
- zaštita od međuzavojnog spoja
- zaštita od preopterećenja
- zaštita od povratne struje
- zaštita od previsokog i preniskog napona
- zaštita od pregrijanja
- zaštita brzom razbudom

Ovdje neće biti riječi i o nekim drugim oblicima zaštite kao što su:

- zaštita od požara
- mehanička zaštita od mogućeg dodira dijelova pod naponom
- zaštita od pogrešno izvršene sinhronizacije i druge.

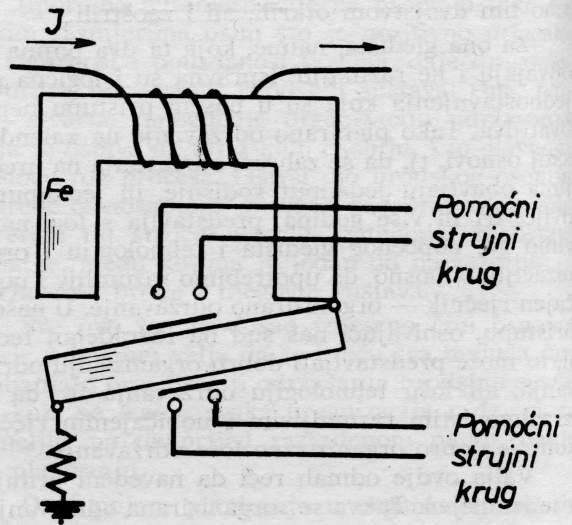
Treba posebno naglasiti, da slijedeća razmatranja vrijede i za izmjenični i za istosmjerni sustav na brodu, ali zbog današnje težnje za gradnjom brodova s izmjeničnim sustavom, prešutno slike crtamo baš za izmjenični sustav.

1. Zaštita od kratkog spoja

Ako u mreži nastupi kratki spoj, koji je to znatniji i opasniji što je bliže generatoru, potrebno je generator što prije izbaciti iz pogona. U takvim slučajevima u generatoru nastupaju dinamičke sile, koje savijaju i lome vodiče, gnječe izolaciju u namotajima, nastupaju mehanički udari na rotirajuće i stajace dijelove, vibracije, što se sve prenosi i na pogonski stroj, a mogući su i kvarovi u uzbudnom strujnom krugu.

Da bi se provela uspješna zaštita od kratkog spoja, ugrađuje se relej na elektromagnetskom principu rada, kakvoga prikazuje slika, uz doda-

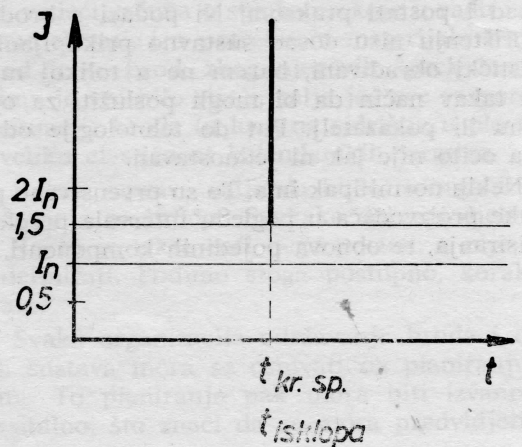
tak vremenskog člana (releja) za regulaciju vremena isklapanja. Takvi releji nazivaju se vremenski neovisni strujni releji. Na slici je osnovna skica njihova načina gradnje, gdje porast struje $I \gg I_n$ dovede do povećanoga magnetskog toka, a ovaj proizvede silu, koja trenutno povuče kotvu i u pomoćnim strujnim krugovima izvrši odgovarajuće radnje (npr. izbací odmah prekidač generatora, daje alarm, uključuje automatiku i slično).



Karakteristika releja prikazana je na slici.

Takvi releji podešavaju se u pogonu na vrijednosti djelovanja od 1,4 do 1,8 puta nominalna struja generatora. Na taj su način isključeni neugodni mogući ispadi generatora iz pogona pri kratkotrajnim preopterećenjima do 40%, odnosno do 80%.

Na slici je prikazana karakteristika releja u kojega je proradna struja postavljena na 1,5 puta nominalna struja generatora. Za sve vrijednosti struje ispod $1,5 I_n$ relej neće reagirati, dok za sve struje veće od te vrijednosti trenutno proradi.



Rečeno vrijedi uspješno za kratke spojeve nastale iza glavnog prekidača (sklopke) generatora, kad ispadom sklopke prestanemo napajati kvarno mjesto.

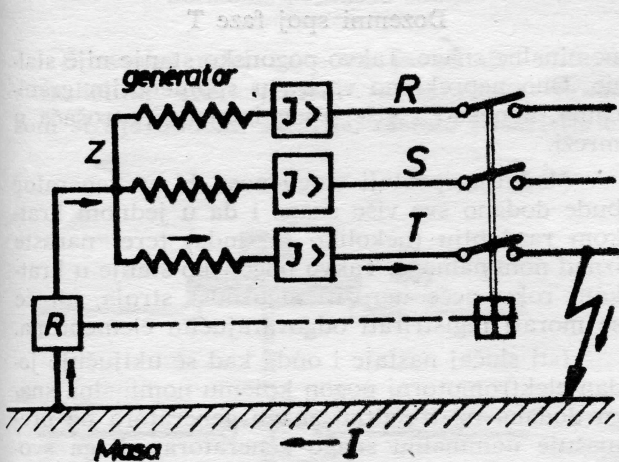
Međutim, ovom zaštitom nisu obuhvaćeni »unutrašnji« kratki spojevi u generatoru, odnosno na priključcima i dovodnom kabeu do sklopke. Tada sâm ispad sklopke iz pogona ne bi prestao »hraniti« kvarno mjesto. U takvim slučajevima postavlja se uzdužna diferencijalna zaštita, koja radi na principu uspoređivanja odlazećih struja iz generatora (zvjezdišta) i onih dolazećih na sklopku. Ukoliko na tom putu dođe do kratkog spoja, nastaje razlika struja, te uzdužni diferencijalni relej izbací generatorsku sklopku, ali se istodobno provodi i BRZA RAZBUDA GENERATORA.

2. Zaštita od dozemnog spoja

Kod dozemnog spoja (spoja dijela pod naponom na MASU broda) treba razlikovati dva slučaja:

- a) zvjezdište generatora uzemljeno
- b) zvjezdište generatora nije uzemljeno

a) Kod dozemnog spoja faze T, kako je to na slici prikazano, sustava koji ima uzemljeno zvjezdište, spoj vodiča sa zemljom (masom) zapravo je jednopolni kratki spoj. Na takav događaj prodati će trenutni član prekostrujnoga elektromagnetskog releja u fazi T i izbaciti sklopku iz pogona, a time i generator.



a.

Međutim, može se postaviti i jedan strujni relej u spoj između zvjezdišta Z i mase broda M, kroz kojega u normalnom pogonu ne teče struja. U trenutku kvara faze T, njezin napon tjera struju zatvorenim strujnim krugom, a ova struja izvede u releju R kontakt, koji djeluje na okidač prekidača i strujni krug se otvori.

b) Kod neuzemljenog zvjezdišta, kako je to na slici prikazano, dozemni spoj faze T neće biti registriran na prekostrujnom releju, jer se pri tome nije strujni krug zatvorio. Strujno nije došlo do nikakve promjene. Taj slučaj kontrolira se vrlo jednostavno pomoću tri signalne svjetiljke ugrađene na glavnoj razvodnoj ploči. Svaka od njih spojena je na svoju fazu i, s druge strane, na masu, tj. u zajedničko zvjezdište, te na taj način svijetle pod faznim naponom. U trenutku kvara dozemnog spoja svjetiljka kvarne faze se ugasi, a ostale dvije svijetle povišenim naponom $\sqrt{3}U_f$.

Ako bi se postavilo i naponski relej R, on bi na istom principu reagirao i izbacio sklopku iz pogona.

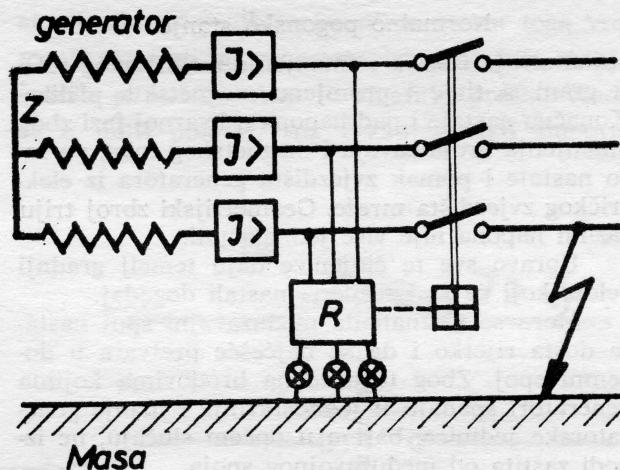
Međutim, je li baš potrebno odmah izbaciti sklopku iz pogona i izvršiti prekid u napajanju električnom energijom?

Budući da pri takvom kvaru nije bilo nikakvih strujnih promjena, to nije potrebno pogon prekidati. Dovoljno je izvršiti relejom signalizaciju kako bi se kvar uklonio. Tako je vrlo često na glavnoj razvodnoj ploči broda samo taster kojim povremeno posada stroja kontrolira tri svjetiljke.

Na sljedećim dvjema slikama (str. 140) prikazani su vektorski odnosi objašnjenog događaja.

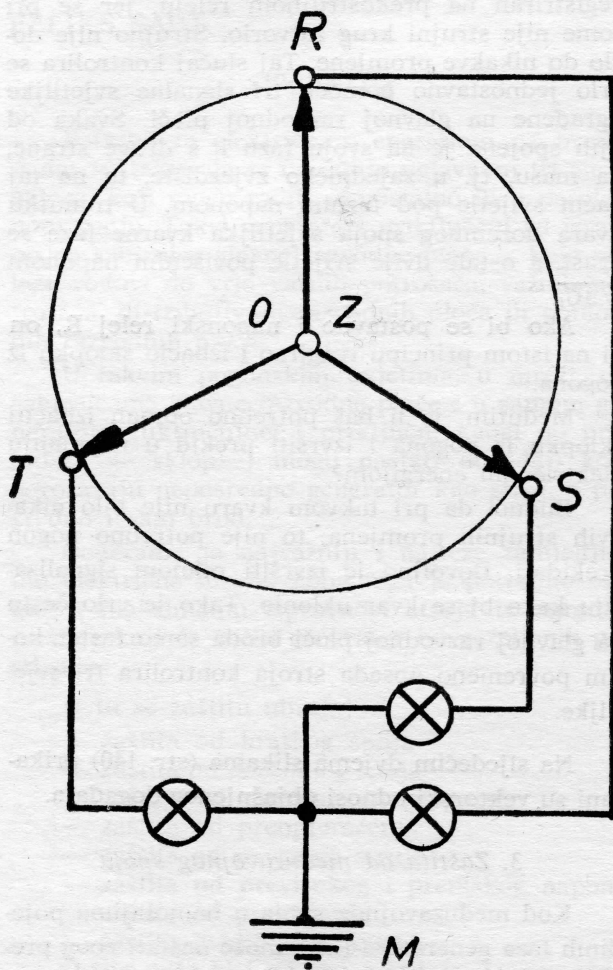
3. Zaštita od međuzavojnog spoja

Kod međuzavojnog spoja u namotajima pojedinih faza generatora (koji može nastati zbog pregrijanja, vlage, mehaničkog oštećenja, dinamičkih



b.

sila pri kratkim spojevima i slično) nastaje međuzavojna struja jednaka omjeru premoštenih napona po zavoju i ukupnog otpora Z namotaja tako stvorenoga strujnog kruga. Ta struja velikih vrijednosti može dalje oštetiti namotaje zbog razvijanja nove topline i time uništiti stroj, a u krajnjem, izazvati i požar. S druge strane, međuzavojna



Normalno pogonsko stanje

vojna struja izaziva i smanjenje magnetskog toka u grani, a time i promjenu magnetskih prilika. Konačno nastaje i pad napona u kvarnoj fazi zbog smanjenja broja zavoja i magnetskog toka, pa zato nastaje i pomak zvjezdišta generatora iz električkog zvjezdišta mreže. Geometrijski zbroj triju faznih napona nije više jednak nuli.

Upravo sve te činjenice daju temelj gradnji releja koji će »prepoznati« nastali događaj.

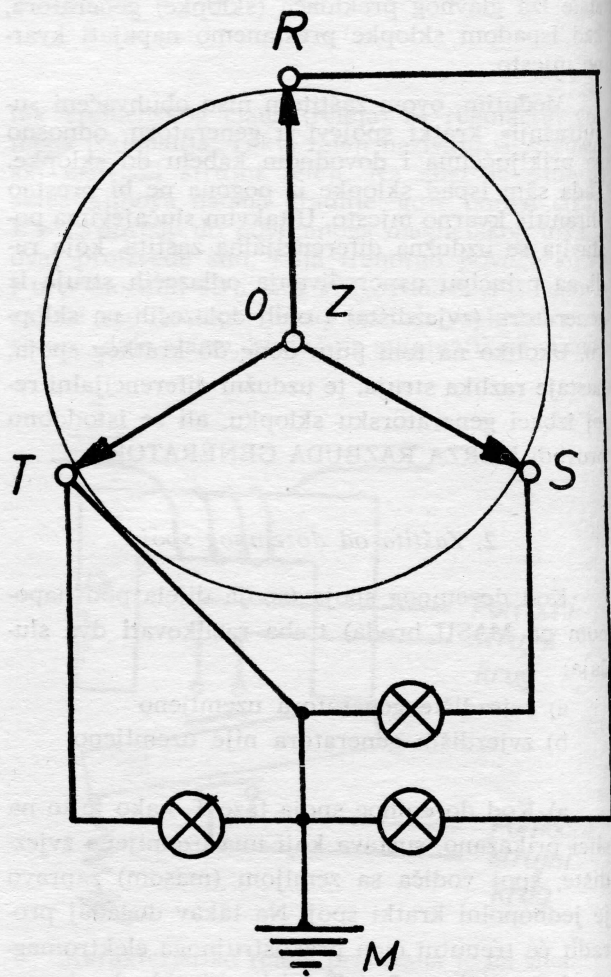
Mora se priznati da međuzavojni spoj nastaje dosta rijetko i da se najčešće pretvara u dozemni spoj. Zbog toga se na brodovima kojima generatori spadaju u jednostavnije i manje generatorske jedinice, barem u općem slučaju, ne izvodi zaštita od međuzavojnog spoja.

4. Zaštita od preopterećenja

Preopterećenje generatora može biti kratkotrajno i dugotrajno.

a) Kratkotrajno preopterećenje

Za brodske generatore (i njihov pogonski stroj) predviđa se opterećenje u pogonu 70 — 90%



Dozemni spoj faze T

nominalne snage. Takvo pogonsko stanje nije stalno. Ono neprekidno varira u spomenutim granicama, a nekad i više, zbog izmjene potrošača u mreži.

Međutim, postoji mogućnost da na generator bude dodano sve više snage i da u jednom kratkom razdoblju (nekoliko sekunda) teret naraste iznad nominalnoga. Takvo pogonsko stanje u kratkom roku neće ugroziti sigurnost stroja, ali će se morati registrirati odgovarajućim elementima.

Isti slučaj nastaje i onda kad se uključuje jedan elektromotorni pogon kojemu nominalna snaga dodana na trenutnu snagu generatora ne premašuje nominalnu snagu generatora, ali ga svojom udarnom strujom elektromotor kratkotrajno preopteretiti.

Jedan primjer:

Nominalna snaga generatora	100 kW
Zatečeno pogonsko opterećenje generatora	80 kW
Novi elektromotorni pogon	10 kW
Novo pogonsko opterećenje generatora	90 kW

Ali pri uključenju elektromotornog pogona nastaje trenutno udarno opterećenje zbog struje pokretanja 4 do 7 · In 5 · 10 kW

	50 kW
zatečenih	80 kW
Kratkotrajno opterećenje generatora	130 kW
Kratkotrajno preopterećenje	30 %

Bilo bi vrlo nezgodno kad bi zbog toga generator ispaao iz pogona jer bi zbog nestanka napona bila dovedena u pitanje sigurnost broda (i posade, i putnika, i tereta).

S druge strane, od takvog kratkotrajnog preopterećenja generator nije ugrožen jer je njegovo dimenzioniranje izvršeno i s izvjesnom rezervom, a porast temperatura namotaja nije moguć za tako kratko vrijeme.

b) Dugotrajno preopterećenje

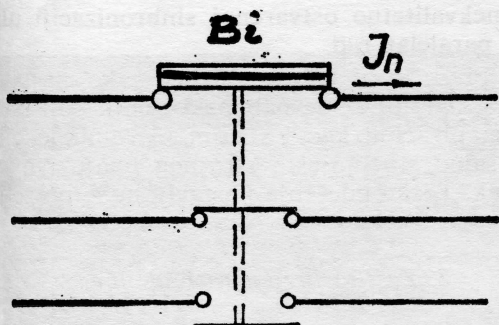
Ako bi se na generator nekontrolirano priključivalo sve više potrošača, koji bi doveli do toga da teret premaši nominalnu snagu generatora, a za vrijeme dulje od 20 do 60 sekunda, što bi značilo da je na generatoru takav teret »ostavljen za stalno«, sigurnost bi mu bila ugrožena, jer bi zbog pregrijanja namotaja moglo doći do pregaranja izolacije namotaja, a time i do oštećenja (kvara) stroja.

c) Zaštita

Zaštiti generator od preopterećenja u razmatrana dva primjera moguće je vrlo jednostavno ugradnjom bimetalnoga (termičkog) strujnog releja.

normalno pogonsko stanje
preopterećenje

Bimetalni relej izgrađen je od dva metala s različitim koeficijentom rastezljivosti. Prolazom struje bimetal se grije, rasteže i iskrivljuje.



Normalno pogonsko stanje

To je proizvedeno rastezanje u nekoj funkciji s prolazećom strujom.

Tu funkciju pokazuje slika, na str. 142, a to je karakteristika bimetalnog releja. Pri malim struj-

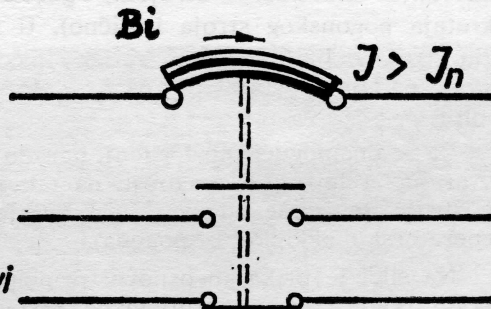
nim opterećenjima vrijeme reagiranja je beskonačno dugo, pri malim strujnim preopterećenjima ono je vrlo dugo, a kod velikih struja preopterećenja vrijeme reagiranja je kratko. Za primjer uzet je bimetalni relej RB 2 »Iskra« — Kranj.

Iz krivulje se vidi da pri 10%-tnom preopterećenju bimetalni relej jedva da će reagirati, kod 20% preopterećenja trebaju 4 minute do prorađe releja, a uz 10 · In još uvijek 2 sekunde.

Iako je bimetalni strujni relej vrlo jednostavan i jeftin element, ipak je njegovo djelovanje »previše grubo« za zaštitu jednog generatora, nepouzdana zbog nesavršenosti izrade, ovisno o okolnoj temperaturi, dakle neprecizno i ovisno o vanjskim uvjetima. I budući da ima drugačijih i sigurnijih načina ove zaštite, bimetalni strujni releji upotrebljavaju se samo za jednostavnije pogone, a to su također i brodovi. Osim toga mogu biti kombinirani kao dodatno sredstvo zaštite.

Za zaštitu od preopterećenja i od kratkog spoja služe danas releji na brodovima građeni na bimetalnom i elektromagnetskom principu, kombinirani s vremenskim članom, kojem se mogu postaviti željena vremena. Takav je »Siemensov« relej SAT 1, doduše nešto zastarjele izvedbe, ali efikasan, te jedan suvremeni relej »Siemens« GENOP 21.

Kod pojave i najmanjeg preopterećenja aktivira se vremenski član koji izvodi programiranje. Dopusća se za nastali događaj nekoliko (postavljenih, udešenih) sekundi, a nakon toga vremena rastereti se generator izbacivanjem manje važnih potrošača. Ako je smetnja prošla, vraća se u nulti položaj, »na čekanje«. Ako smetnja

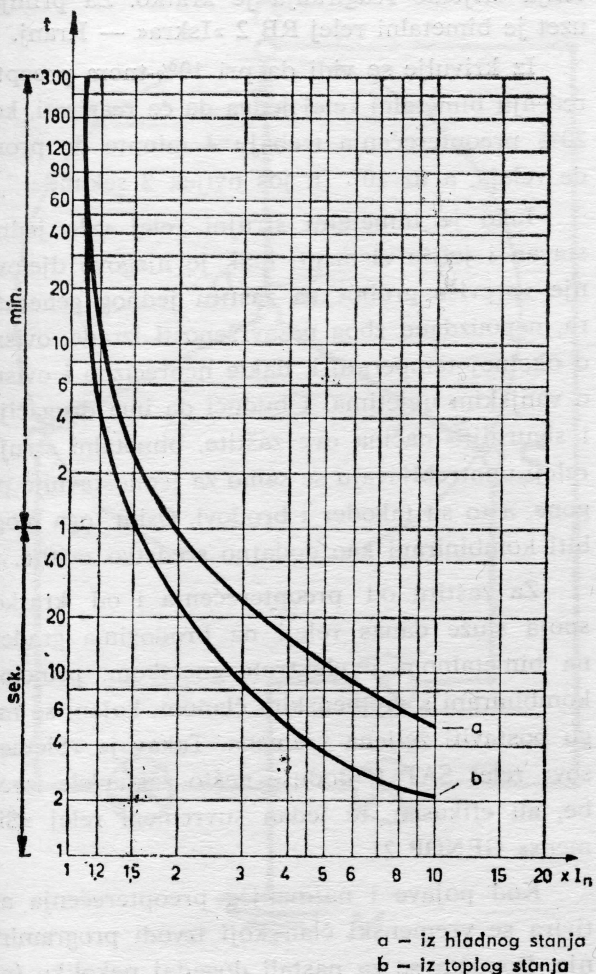


Preopterećenje

nije prošla, može izbaciti generator iz pogona ili, što je bolje, izvršiti daljnje rasterećenje. U slučaju kratkog spoja relej djeluje trenutno i izbacuje sklopku generatora iz pogona.

KARAKTERISTIKA DJELOVANJA

(srednje vrijednosti kod trofaznog djelovanja)

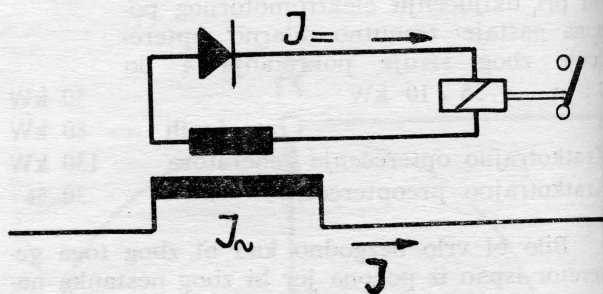


5. Zaštita od povratne struje

Pri paralelnom radu generatora može se jednom od generatora smanjiti inducirani napon na veličinu manju od napona mreže (pogrešno rukovanje uzбудnom strujom, gubitak broja okretaja pogonskog stroja i slično). U tom slučaju struja dobiva suprotan smjer i teče u generator, pa on postaje potrošač — vrći se kao motor.

Da se onemogući taj događaj, ugrađuju se odgovarajući releji, koji reaguju na takve povratne struje, te izvrše odgovarajuće radnje (izbace generatorsku sklopku iz pogona).

Na slici je prikazan osnovni princip gradnje takvih releja, i to za izmjenične sustave. Prilikom okretanja smjera struje dolazi do blokiranja u ispravljačkoj grupi, te pomoćni relej ostane bez napona i kontaktom K izvrši radnju. Kod istosmjernog sustava problem je lakši jer se izravno koristi okretanjem smjera struje, i time okretanjem magnetskog toka u jednome magnetskom krugu, pri čemu nastaje zapor.



6. Zaštita od previsokog i preniskog napona

Inducirani napon generatora dobija se u osnovi prema relaciji:

$$E = k \cdot w \cdot f \cdot \Phi$$

gdje je: w — broj zavoja

Φ — magnetski tok

$f = \frac{n \cdot p}{60}$ frekvencija kod izmjeničnih strojeva.
jeva.

Napon na stezaljkama generatora je:

$$\vec{U} = \vec{E} - \vec{\Delta U}$$

gdje je ΔU ukupni pad napona u namotajima generatora.

Iz toga slijedi da će promjene napona na brodu uslijediti pri:

- kvaru u uzбудnom strujnom krugu
- kvaru u namotajima generatora
- nestručnom rukovanju uzбудnom strujom
- porastu broja okretaja pogonskog stroja, bilo zbog naglog rasterećenja, bilo zbog nekoga drugog razloga

— strujnom rasterećenju kada je $\Delta U = 0$ a $E = U$

— padu broja okretaja pogonskog stroja (nestanak goriva)

— nekvalitetno ostvorenoj sinhronizaciji ulaskom u paralelan rad.

Da bi se spriječile posljedice tako nastalih događaja, ugradit će se naponski releji, koji rade na istom principu kao i strujni (o čemu je bilo riječi), samo što umjesto strujnog imaju naponski svitak. Točke udešenja postavljaju se po želji.

7. Zaštita brzim razbudom

»Samo brzo isklapanje generatora koji ima kratki spoj, dozemni spoj ili međuzavojni spoj nije dovoljno da se djelotvorno ograniči opseg štete na namotajima i željezu. Istovremeno se mora, i to što je moguće brže, potisnuti i uzbuđanje, jer će inače kroz mjesto kvara, do zaustavljanja stroja, previše dugo protjecati znatna struja.

ja uslijed još visokog napona, i to će izazvati velika razaranja. Zbog toga se razbuda općenito vrši tako da se u uzbudnome strujnom krugu, u odgovarajućem spoju, uključe djelatni otpori, koji poništavaju skupljenu energiju polja i istovremeno jako smanjuju, ili čak posve poništavaju, uzbudnu struju.»

U tom kratkom izvodu iz knjige *Relejna zaštita* zaista je na najkraći mogući način sve rečeno o zaštiti brzom razbudom. Zato će mi biti oprošteno što sam citirao riječi iz velikog djela Michaela Waltera.

8. Zaštita od pregrijanja

Iako se ova zaštita ne ubraja u električku zaštitu, ipak pregrijanje generatora i njegovo oštećenje izolacije može dovesti do električnih kvara. S druge strane, ova je zaštita električki vezana u sistem zaštite.

Provodi se ugradnjom bimetalne sonde među namotaje statora ili među namotaje i željezo statora. Izvodi bimetalne sonde vode se na ploču signalizacije i alarma, a rjeđe na izvršenje komande izbacivanja stroja iz pogona.

LITERATURA

- Walter Michael: *Relejna zaštita*, Stuttgart 1951/Zagreb 1954.
- Požar, Hrvoje: *Visokonaponska rasklopna postrojenja*, Zagreb 1967.
- Krebs, Walter: *Elektrische Schiffsanlagen*, Berlin 1963.
- Siemens: *Schiffselektrotechnik — Generatoren*, Set 1, 1975.
- Siemens: *Switchboards and automation*, Set 2, 1976.
- Iskra: *Prospekti*
- Energoinvest: *Prospekti*

