Srđan Skok

SUSTAVI ISTOSMJERNIH RAZVODA U ELEKTROENERGETSKIM POSTROJENJIMA

Izdavač
Kigen d.o.o. Zagreb

Za izdavača
Erna Lojna Lihtar

Urednik
Nenad Lihtar

Recenzenti
Prof. dr. sc. Sejid Tešnjak
Mr. sc. Krešimir Meštrović
Javor Škare, dipl. Ing. el.

Grafički urednik
Branko Jurak

Oblikovanje naslovnice
Sandra Ilievski

Lektura
Fikret Cacan

Tisak
GZH d.o.o., Zagreb

ISBN 978-953-6970-41-4

CIP zapis dostupan je u računalnom katalogu Nacionalne i sveučilišne knjižnice u Zagrebu pod brojem 650872

Sva prava pridržana. Ni jedan dio ove knjige ne smije se umnožavati ili prenositi elektronički ili mehanički u bilo kojem obliku ili značenju, uključujući fotokopiranjem, presnimavanjem te bilo kojim drugim sustavom prenošenja informacija bez pismene dozvole Izdavača.

Srđan Skok

SUSTAVI ISTOSMJERNIH RAZVODA U ELEKTROENERGETSKIM POSTROJENJIMA

Zagreb, studeni 2007.

- mom sinu Stjepanu -

... za vrijeme koje nisam bio
s tobom ...

Sadržaj:

Recenzije 9

Popis oznaka i kratica 13

1. Uvod 19

2. Sustavi pomoćnih napajanja u elektroenergetskim postrojenjima 21

2.1. Sustav istosmjernog razvoda 21

2.2. Sustav za besprekidno napajanje izmjeničnih trošila 22

3. Uloga i važnost sustava istosmjernog razvoda u elektroenergetskim postrojenjima 23

4. Topološki i koncepcijski opis sustava istosmjernog razvoda 27

4.1. Topologija sustava istosmjernog razvoda 27

4.2. Režimi rada sustava istosmjernog razvoda 30

4.3. Analiza potrošnje sustava istosmjernog razvoda 31

4.4. Osnovni dijelovi sustava istosmjernog razvoda 34

4.4.1. Akumulatorska baterija 34

4.4.1.1. Klasične olovne baterije 36

4.4.1.2. Zatvorene olovne akumulatorske baterije - VRLA baterije 38

4.4.1.3. Zatvorene olovne baterije s apsorbiranim elektrolitom . 39

4.4.1.4. Zatvorene olovne akumulatorske baterije s gel elektrolitom 41

4.4.1.5. Ni-Cd baterije 41

4.4.1.6. Buduća rješenja 41

4.4.1.7. "Pametne baterije" 42

4.4.1.8. Nikal - Metal Hidridne baterije 42

4.4.1.9. Litij - ion baterije 42

4.4.1.10. Litij - polimer baterije 42

4.4.1.11. Usporedba zatvorenih olovnih i Ni-Cd akumulatorskih baterija 43

4.4.2. Ispravljač 44

4.4.3. Razvod i sklopno rastavna oprema 51

4.4.3.1. Sklopna i rastavna oprema 51

4.4.3.2. Zaštitni uređaji 53

4.4.3.2.1. Osigurači 53

4.4.3.2.2. Prekidač s termo-magnetskim okidačem 55

4.4.3.2.3. Hidrauličko-magnetski prekidači 58

4.4.3.2.4. Prekidači koji ograničavaju struju kratkog spoja ... 58
4.4.3.3. Usporedba prekidača i osigurača ... 60
4.4.3.4. Kabeli ... 61
4.4.4. Centralna mikroprocesorska upravljačka jedinica ... 61
4.5. Prostori za smještaj opreme i instalacije sustava istosmjernog razvoda .. 66
4.5.1. Prostori za smještaj opreme ... 66
4.5.2. Provjetravanje prostora ... 66
4.5.3. Instalacija rasvjete ... 67
4.5.4. Instalacija uzemljenja ... 67
4.5.5. Oprema i instalacija grijanja ... 68
5. Ispitivanje sustava istosmjernog razvoda ... 69
5.1. Cilj i svrha ispitivanja ... 69
5.1.1. Ispitivanja, provjere i postupci tijekom pogona ... 70
5.1.2. Ispitivanja novo ugovorenih sustava i opreme ... 70
5.2. Norme ... 71
5.3. Scenarij ispitivanja sustava istosmjernog razvoda u pogonu ... 72
5.3.1. Potrebni uvjeti rada sustava istosmjernog razvoda ... 72
5.3.2. Nadzor u pogonu 74
5.3.3. Pregledi, provjere i ispitivanja ... 76
5.3.4. Mjerenje i nadzor pogonskih parametara sustava istosmjernog razvoda ... 77
5.3.4.1. Mjerenje napona ... 78
5.3.4.2. Mjerenje struje ... 78
5.3.4.3. Mjerenje izolacijskog otpora ... 78
5.3.4.4. Mjerenje temperature elektrolita i prostorije ... 79
5.3.4.5. Mjerenje gustoće elektrolita ... 80
5.3.4.6. Mjerenje razine elektrolita ... 80
5.3.5. Određivanje neispravnosti članka prema vanjskim znacima ... 81
5.3.6. Promjene karakteristika akumulatorske baterije zbog neispravnosti na člancima ... 81
6. Održavanje sustava istosmjernog razvoda ... 83
6.1. Radovi na održavanju sustava istosmjernog razvoda ... 84
6.1.1. Revizija ... 84
6.1.2. Remont i generalni remont ... 85
6.2. Održavanje akumulatorske baterije ... 86
6.2.1. Pražnjenje akumulatorske baterije ... 86
6.2.2. Postupak za izjednačavanje gustoće elektrolita ... 88
6.2.3. Održavanje elektrolita u člancima ... 88
7. Izvanredna pogonska stanja i mogući kvarovi sustava istosmjernog razvoda .. 91
7.1. Općeniti pregled i definiranje izvanrednih pogonskih stanja ... 91
7.2. Izvanredna pogonska stanja sustava istosmjernog razvoda ... 92

7.2.1. Kvarovi akumulatorske baterije 94
7.2.1.1. Oštećenja posude članka 94
7.2.1.2. Kratki spoj u članku 94
7.2.1.3. Sulfatiranje ploča članka 95
7.2.1.4. Povećano samopražnjenje akumulatorske baterije 96
7.2.1.5. Neispravnost separatora 96
7.2.1.6. Raspad donjeg dijela (+) ploče 96
7.2.1.7. Prepolarizacija članka 97
7.2.1.8. Zaostajanje članaka 97
7.2.1.9. Stvaranje taloga u članku 98
7.2.1.10. Prekomjerno povećanje i savijanje ploča 98
7.2.1.11. Štetne primjese u elektrolitu 99
7.2.2. Kvarovi ispravljača 100
7.2.3. Kvarovi glavnog razvoda ili podrazvoda 100
7.2.4. Kvarovi na kabelima 100
7.2.5. Kvar uređaja signalizacije 100

8. Analiza i dimenzioniranje sustava istosmjernog razvoda - stacionarni model .. 101
8.1. Odabir nazivnog napona sustava 101
8.2. Dimenzioniranje akumulatorske baterije 102
8.3. Dimenzioniranje ispravljača 105
8.4. Proračun struja kratkog spoja 106
8.5. Dimenzioniranje sklopne i rastavne opreme, kabela i zaštitnih uređaja .. 106
8.6. Odabir odgovarajuće sheme sustava 110
8.7. Uzemljenje sustava istosmjernog razvoda 110

9. Selektivnost zaštitnih uređaja u sustavu istosmjernog razvoda 115
9.1. Vrste selektivnosti 117
9.2. Ograničenje maksimalne vrijednosti struje kratkog spoja i količine propuštene energije 117
9.3. Metodologija ispitivanja selektivnosti 121
9.3.1. Preduvjeti za provedbu ispitivanja 121
9.3.2. Mjesta i broj mjerenja 121
9.3.3. Oprema za provedbu mjerenja 122
9.3.4. Način izvođenja mjerenja 124
9.3.5. Postupci pri ispitivanju selektivnosti 125
9.3.6. Postupci nakon obavljenog ispitivanja u sustavu istosmjernog razvoda 125
9.3.7. Kriterij za ocjenu selektivnost 126

10. Analiza i dimenzioniranje sustava istosmjernog razvoda na osnovi norme IEC 61660 - 1 127
10.1. Značenje norme IEC 61660-1 (1997) 127
10.2. Prijelazna struja kratkog spoja u sustavima istosmjernog razvoda 128
10.3. Matematički model sustava istosmjernog razvoda 130
10.3.1. Utjecaj ispravljača 130

10.3.2. Utjecaj akumulatorske baterije 133
10.3.3. Utjecaj kondenzatorske baterije 134
10.3.4. Utjecaj istosmjernog motora 135
10.3.5. Nadomjesna shema sustava istosmjernog razvoda 136
10.3.6. Primjer proračuna kratkog spoja prema IEC 61660 - 1 138
11. Usporedba stacionarnog pristupa analizi sustava istosmjernog razvoda i prema normi IEC 61660-1 141
11.1. Teorijska dinamička analiza sustava istosmjernog razvoda 142
11.2. Prijedlog matematičkog modela sustava istosmjernog razvoda 143
11.2.1. Matematički model ispravljača 145
11.2.2. Matematički model akumulatorske baterije 146
11.2.3. Matematički model istosmjernog motora 147
12. Zaključna razmatranja 149
Kazalo.... 151
Literatura 153

Recenzije

* * *

Ova knjiga na pristupačan način vrlo temeljito daje cjelokupan pregled svih komponenta sustava istosmjernog razvoda, te objašnjava ulogu i važnost sustava istosmjernih razvoda u elektroenergetskim postrojenjima. Veliku vrijednost knjiga ima u činjenici da je predočen novi matematski model na temelju kojeg je moguće izvršiti dimenzioniranje svih komponenta sustava, odnosno pravilan izbor istosmjernog sustava za zadano elektroenergetsko postrojenje.

Objavljivanje ove knjige će se popuniti praznina koja postoji u domaćoj literaturi na području izvođenja nastave pojedinih kolegija, projektiranja, izvođenja i održavanja elektroenergetskih postrojenja.

Prof. dr. Sejid Tešnjak

* * *

U ovom znanstvenom djelu kvalitetno su i na vrlo razumljiv način opisane pojedine kompenonte istosmjernih sustava, uloga i važnost istosmjernih sustava u elektroenergetskim postrojenjima, režimi rada, ispitivanje i održavanje istosmjernih sustava. Objašnjen je i osnovni matematički model na temelju kojega je moguće obaviti dimenzioniranje svih komponenta sustava, odnosno ispravan izbor istosmjernog sustava za zadano elektroenergetsko postrojenje.

Mislim da treba svakako omogućiti objavljivanje ove knjige, čime bi se malo popunila praznina koja postoji u domaćoj literaturi na području projektiranja, izvođenja i održavanja elektroenergetskih postrojenja.

Mr. sc. Krešimir Meštrović, prof. v. šk.

* * *

Ovo znanstveno djelo dobrim će dijelom popuniti prazninu koja postoji u domaćoj i stanoj stručnoj literaturi glede sustava istosmjernih razvoda u elektroenergetskim postrojenjima. U njemu su kvalitetno opisane pojedine sastavnice istosmjernih sustava, uloga i važnog istosmjernih sustava u elektroenergetskim postrojenjima, režimi rada, ispitivanje i održavanje istosmjernih sustava, a daje se i osnovni matematički model na temelju kojeg je moguće provesti dimenzioniranje svih komponenti sustava.

Ova knjiga će biti vrlo koristan priručnik projektantima kao i svom tehničkom osoblju koje se bavi održavanjem elektroenergetskih postrojenja. Iz te će knjige crpiti niz korisnih informacija prilikom projektiranja i održavanja sustava istosmjernih razvoda. Ta knjiga će također biti korisna za upoznavanje znanstvene i stručne javnosti sa specifičnostima istosmjernih sustava kao sastavnog i izuzetno važnog dijela svakog elektroenergetskih postrojenja.

Javor Škare, dipl. ing. el.

Popis oznaka i kratica

AC	Alternated Current - Izmjenična struja
ACP	Prilagodne periferne jedinice
AGM	Absorptive Glass Mat Recombination Batteries
ATP	Alternative Transient Program
C_{10}	Desetsatni kapacitet akumulatorske baterije [Ah]
CUJ	Mikroprocesorskog upravljačkog sklopa
DC	Direct Current - Istosmjerna struja
DCP	Prilagodne periferne jedinice
E	Energija [J]
E_B	Elektomotorna sila akumulatorske baterije [V]
E_b	Propuštena energija za vrijeme isklapanja [J]
EES	Elektroenergetski sustav
E_M	Napon istosmjernog motora u generatorskom režimu rada [V]
F	Frekvencija [Hz]
GEL	Baterije s gelom umjesto elektrolita
HE	Hidroelektrana
I_D	Maksimalna prekidna struja [kA]
I_d	Struja za koju je strujni krug projektiran [A]
i_D	Struja ispravljača tijekom kratkog spoja [A]
I_{dop}	Struja nadopunjavanja akumulatorske baterije [A]
I_{pu}	Struja punjenja prazne akumulatorske baterije [A]
IEC	International Electrotechnical Commission - Međunarodna elektrotehnička komisija
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
I_i	Nazivna struja ispravljača [A]

I_{iz}	Trajno podnosiva struja kabela [A]
i_k	Trenutna vrijednost struje kratkog spoja [A]
I_k	Trajna struja kratkog spoja [A]
I_{kB}	Trajna struja kratkog spoja akumulatorske baterije [A]
I_{kC}	Trajna struja kratkog spoja kondenzatorske baterije [A]
I_{kD}	Trajna struja kratkog spoja ispravljača [A]
I_{kM}	Trajna struja kratkog spoja istosmjernog motora [A]
I_{kmax}	Maksimalna struja kratkog spoja [A]
I_{kmin}	Minimalna struja kratkog spoja [A]
I_l	Ograničena struja kratkog spoja [A]
I_{lD}	Struja ograničenja ispravljača [A]
I_m	Vrijednost struje podešenja magnetskog okidača [A]
I_n	Nazivna struja [A]
I_{nprek}	Razina struje prekidača [A]
I_{nt}	Nazivna struja termičkog okidača [A]
I_{nz}	Nazivna struja zaštitnog uređaja [A]
i_p	Vršna vrijednost struje [A]
i_{pB}	Vršna vrijednost struje kratkog spoja akumulatorske baterije [A]
i_{pC}	Vršna vrijednost struje kratkog spoja kondenzatorske baterije [A]
i_{pD}	Vršna vrijednost struje kratkog spoja ispravljača [A]
i_{pM}	Vršna vrijednost struje kratkog spoja istosmjernog motora [A]
I_r	Struja reakcije kontakta [A]
I_{rM}	Nazivna struja istosmjernog motora [A]
I_t	Vrijednost struje podešenja termičkog okidača [A]
I_u	Udarna struja pražnjenja [A]
I_{vmax}	Maksimalna struja odvoda [A]
I_{vt}	Trajna struja odvoda [A]
I_{zdj}	Struja kod koje zaštitni uređaj pouzdano djeluje [A]

l	Duljine vodova [m]
L_{0F}	Ekvivalentan induktivitet u krugu kad nema opterećenja [H]
L_F	Ekvivalentan induktivitet pri zasićenju u kratkom spoju [H]
MCCB	Moulded case circuit breaker
n	Broj članaka akumulatorske baterije
NAP	Sklopa za napajanje
n_n	Nazivna brzina vrtnje istosmjernog motora [s-1]
P	Snaga [W]
PIRN	Postrojenje istosmjernog razvoda i napajanja
P_m	Maksimalna snaga trošila [W]
Q_Z	Potrebna količina zraka [m^3]
p	Specifični otpor vodova [Ωm]
R_{BBr}, L_{BBr}	Otpor i induktivitet od akumulatorske baterije do sabirnica [Ω], [H]
R_{BL}, L_{BL}	Otpor i induktivitet voda u grani akumulatorske baterije [Ω], [H]
R_{bmax}	Maksimalni otpor baterije [Ω]
R_{bmin}	Minimalni otpor baterije [Ω]
R_C	Ekvivalentan istosmjerni otpor kondenzatorske baterije [Ω]
R_{CBr}, L_{CBr}	Otpor i induktivitet od kondenzatora do sabirnica [Ω], [H]
R_{CL}, L_{CL}	Otpor i induktivitet voda u grani kondenzatorske baterije [Ω], [H]
$R_{čmax}$	Maksimalni otpor članka [Ω]
$R_{čmin}$	Minimalni otpor članka [Ω]
R_{DBr}, L_{DBr}	Otpor i induktivitet od ispravljača do sabirnica [Ω], [H]
R_{DL}, X_{DL}	Otpor i induktivitet voda od ispravljača do glavnih sabirnica [Ω], [W]
REL	Relejne jedinice
RHE	Reverzibilna hidroelektrana
R_{iz}	Otpor izolacije [Ω]
R_M, L_M	Otpor i induktivitet armature uključujući četkice [Ω], [H]
R_{MBr}, L_{MBr}	Otpor i induktivitet od istosmjernog motora do sabirnica [Ω], [H]

R_{ML}, L_{ML}	Otpor i induktivitet voda u grani istosmjernog motora [Ω], [H]
R_n	Otpor regulacijskog otpornika [Ω]
R_N, L_N	Nadomjesni otpor i induktivitet na izmjeničnoj strani ispravljača [Ω], [H]
R_P, X_P	Otpor i reaktancija izmjeničnog voda [Ω], [Ω]
R_Q, X_Q	Otpor i reaktancija kratkog spoja vanjskog napajanja [Ω]
R_R, X_R	Otpor i reaktancija komutacije [Ω], [Ω]
R_{SB}, L_{SB}	Otpor i induktivitet zasićenog AC/DC filtera [Ω], [H]
R_T, X_T	Otpor i reaktancija kratkog spoja transformatora [Ω]
R_u	Unutarnji otpor voltmetra [Ω]
R_v	Unutarnji otpor voltmetra [Ω]
R_Y, L_Y	Otpor i induktivitet zajedničke grane [Ω], [H]
S_{min}	Minimalni presjek kabela [mm^2]
T	Vremenska konstanta istosmjernog kruga [s]
t_b	Stvarno vrijeme isklopa [s]
t_D	Vrijeme nastajanja maksimalne prekidne struje [s]
TE	Termoelektrana
t_{iz}	Vrijeme isklopa prekidača [s]
T_k	Trajanje kratkog spoja [s]
t_l	Vrijeme pojave luka [s]
t_p	Vrijeme nastanka vršne vrijednosti struje [s]
TS	Transformatorska stanica
t_v	Vrijeme reakcije kontakta [s]
t_{vb}	Proračunsko vrijeme iskopa [s]
U_{bmax}	Maksimalni napon baterije [V]
U_{bmin}	Minimalni napon baterije [V]
U_{bpu}	Napon trajnog punjenja baterije [V]
$U_{č}$	Napon punog članka [V]
$U_{č}$	Napon punog članka [V]

$U_{čmin}$	Minimalni napon članka [V]
$U_{čmin}$	Napon praznog članka [V]
$U_{čpu}$	Napon punjenja članka [V]
$U_{čpu}$	Napon punjenja članka [V]
$U_{čpub}$	Napon ubrzanog punjenja članka [V]
U_{iN}	Napon na stezaljkama ispravljača [V]
U_L	Napon luka [V]
ULM	Ultra-low maintenance
U_{max}	Maksimalni dozvoljeni napon sustava istosmjernog razvoda [V]
U_{min}	Minimalni dozvoljeni napon trošila sustava istosmjernog razvoda [V]
U_n	Nazivni napon [V]
UPS	Uninterruptible Power Supplies
U_{rM}	Nazivni napon istosmjernog motora [V]
VF	Visokofrekventni
VRLA	Valve Regulated Lead Acid
ζ_1, ζ_K	Izmjerena temperatura za K mjerenja [°C]
ζ_{sr}	Srednja temperatura [°C]
τ_1, τ_2	Vremenske konstante prijelaznog stanja struje kratkog spoja [s]
τ_M	Vremenska konstanta kruga armature [s]

1. Uvod

Sustavi istosmjernog razvoda pripadaju skupini sigurnosnih i rezervnih napajanja, čija važnost posebno dolazi do izražaja u izvanrednim pogonskim stanjima, odnosno havarijskim stanjima. Sustavi istosmjernog razvoda nalaze svoju primjenu svugdje gdje je potrebno sigurno i besprekidno napajanje istosmjernih trošila. Problematika ovog rada bit će specifičnosti sustava istosmjernog razvoda u elektroenergetskim postrojenjima, ali općenito, struktura koja će biti predstavljena vrijedi i za sustave istosmjernog razvoda koji se primjenjuju i u drugim vrstama postrojenja.

Sustav istosmjernog razvoda ima neosporni značaj u omogućavanju pouzdanog djelovanja primarne i sekundarne opreme u normalnom pogonu i posebno u havarijskom stanju. Napajanje najosjetljivijih trošila svakog elektroenergetskog postrojenja (termoelektrane, hidroelektrane ili transformatorske stanice) ovisi o dobro dimenzioniranom sustavu istosmjernog razvoda.

Gotovo je nevjerojatan nedostatak stručne literature, kako na domaćem, tako i na svjetskom planu vezan uz područje istosmjernog razvoda obzirom na njegovu važnost. Razlog tome može se pronaći u uvriježenom mišljenju o simplifikantnosti sustava istosmjernog razvoda, te se obično može čuti jednostavna ocjena, da je u sustavu istosmjernog razvoda "sve riješeno". Takve tvrdnje se najbolje mogu odbaciti s drastičnim primjerima kao što su neka od zabilježenih havarija u našim postrojenjima, a posljedica su kvara u sustavu istosmjernog razvoda (TS Jarun-1981., TS Koprivnica-1996.). Prema kronologiji nastanka zabilježenih havarija uočljivo je da se na planu razvoja metodologije planiranja i analize sustava istosmjernog razvoda nije ostvario neki veći napredak koji bi rezultirao preporukama ili normom gledano s domaćeg stajališta.

Na svjetskoj razini postoji nekoliko normi vezanih uz sustave istosmjernih razvoda (IEC 61660-1, Part 1, Part 2, IEC TR 61660-1 Part 3 i IEEE 946-1992) [14, 17], te mnogobrojne norme vezane uz dimenzioniranje, proizvodnju i održavanje svih tipova stacionarnih baterija koje se koriste u sustavima istosmjernog razvoda. Međutim, izuzme li se akumulatorska baterija kao zaseban element sustava istosmjernog razvoda sa svojim specifičnostima i problematikom, ponovno ne postoji svjetski prihvaćena norma koja rješava metodologiju dimenzioniranja i analize sustava istosmjernih razvoda, budući navedene norme ne daju transparentno rješenje.

Pogotovu sa razvitkom novih vrsta baterija sa sve manjim unutarnjim otporima i sve većim strujama kratkog spoja, a naročito razvojem novih zaštitnih uređaja postojeće norme i preporuke postaju nevažeće, prije svega osmatrano sa stajališta selektivnosti zaštita u sustavima istosmjernog razvoda, te sukladno k tome topološkoj strukturi, odnosno optimalnom odabiru broja zaštitnih razina.

Dosada je analiza, dimenzioniranje i održavanje sustava istosmjernog razvoda uglavnom bilo temeljeno na empirijskim iskustvima, te su se koristila različita koncepcijska rješenja projektanata koji su se bavili predmetnom problematikom.

Objavljivanje norme IEC 61660 - 1 (1997) pokušaj je novog pristupa analize sustava istosmjernog razvoda, kada Ohmov zakon ne bi bio jedini mjerodavan, već bi se uključila i prijelazna stanja karakterizirana preko induktiviteta i kapaciteta pojedinih dijelova sustava istosmjernog razvoda. Uspjeh navedene norme je više nego upitan, iz više razloga (ne daje upute za dimenzioniranje, već se bavi samo analizom kratkog spoja u sustavu istosmjernog razvoda, uzima u obzir samo diodne ispravljače, zanemarujući tiristorske i VF ispravljače, itd.), ali predstavlja osnovu za daljnje istraživanje i analizu sustava istosmjernog razvoda.

Stanje u analizi i dimenzioniranju sustava istosmjernog razvoda u postrojenjima Hrvatske elektroprivrede slično je već opisanom stanju u svjetskim okvirima. Uglavnom se pri projektiranju koriste postojeća koncepcijska rješenja, a veliki problemi nastaju prilikom revitalizacije postojećih sustava istosmjernog razvoda. Nestandardiziranost u rješenjima koja se primjenjuju prilikom izgradnje novih postrojenja i najnoviji primjer izgradnje TS Žerjavinec i TS Ernestinovo, gdje su primijenjena različita rješenja za dva nova postrojenja građena gotovo u isto vrijeme.

Cilj ovog rada usmjeren je na prikaz metodologije s pomoću koje se uspješno može sveobuhvatno projektirati, izvoditi i nadzirati sustavi istosmjernog razvoda u elektroenergetskim postrojenjima, prvenstveno sa stajališta selektivnosti električnih zaštita. Prema tome prikazat će se metodologija za analizu i dimenzioniranje sustava istosmjernog razvoda u elektroenergetskim postrojenjima, te će biti prikazan općeniti matematički model sustava istosmjernog razvoda u elektroenergetskim postrojenjima za istraživanje strujnih i naponskih prilika pri nastanku kratkog spoja.

2. Sustavi pomoćnih napajanja u elektroenergetskim postrojenjima

Unutar elektroenergetskih postrojenja važan segment je postrojenje vlastite potrošnje bez kojeg nije moguće provesti normalan rad postrojenja.

Glavni električni izvori napajanja vlastite potrošnje su izmjenični napon, obično s otcjepa vlastitog generatora ili transformatora, koje se obično naziva i radno ili osnovno napajanje trošila, a koristi se za rad elektroenergetskog postrojenja u normalnom pogonu. Drugi izvor napajanja vlastite potrošnje (kada je riječ o elektrani) je vanjska mreža elektroenergetskog sustava (EES) i naziva se obično pričuvno napajanje, te se koristi pri upuštanju i obustavi rada elektrane ili ukoliko je došlo do kvara, odnosno ispada osnovnog napajanja. U normalnom pogonu sa izvora vanjske mreže napajaju se trošila opće potrošnje, pa iz tog razloga se obično ovaj dio razvoda naziva opća potrošnja.

Sustavi vlastite i opće potrošnje odnose se na napajanje trošila, koja ne ugrožavaju sigurnost elektroenergetskog postrojenja i njenih vitalnih dijelova ako u kojem slučaju dođe do raspada EES-a, samim time do nestanka napona na sabirnicama vlastite i opće potrošnje, odnosno do havarijskog stanja u EES-u.

Osim navedenih trošila i sustava napajanja u elektroenergetskom postrojenju postoje i specifična, bitna trošila koja moraju imati osigurano besprekidno napajanje. Ugrožavanjem napajanja takvih trošila može dovesti do oštećenja vitalnih dijelova postrojenja, što bi za posljedicu imalo dužu obustavu u opskrbi električnom energijom i velike materijalne troškove kako zbog neisporučene električne energije prema konzumu, tako i zbog havarije i uništenja opreme u samom elektroenergetskom postrojenju.

Bitna trošila napajaju se na razini niskog napona i to sa trofaznih besprekidnih izmjeničnih sustava 3x380/220 V ili jednofaznih besprekidnih izmjeničnih sustava 220 V, te sa istosmjernih besprekidnih sustava 220 V; 110 V; 48 V i 24 V.

Za navedene sustave predviđeni su posebni razvodi na koje se priključuju bitna trošila. Bitna trošila su u normalnom pogonu napajana iz sekcija vlastite potrošnje ili opće potrošnje.

2.1. Sustav istosmjernog razvoda

Najvažniji dio elektroenergetskog postrojenja, s najosjetljivijim trošilima je zasigurno sustav istosmjernog razvoda. Sustav se sastoji od akumulatorskih stacionarnih baterija (u daljnjem tekstu samo akumulatorska baterija), najčešće paralelno

spojenih sa ispravljačima i glavnim razvodom s priključenim pripadnim trošilima. Ispravljač je napajan izmjeničnim naponom 0,4 kV iz sekcija vlastite ili opće potrošnje s otcjepa namijenjenom bitnim trošilima.

Na istosmjernoj strani ispravljač je spojen na akumulatorsku bateriju i glavni istosmjerni razvod i pri normalnom radu napaja sva trošila i osigurava potrebnu energiju za nadopunjavanje akumulatorske baterije. U slučaju nestanka izmjeničnog napona ili kvara ispravljača, napajanje istosmjernih bitnih trošila preuzima na sebe akumulatorska baterija. U slučaju havarijskog stanja EES-a potrošnja bitnih istosmjernih trošila znatno je povećana, pa je iz tog razloga akumulatorska baterija uvijek dimenzionirana za takva stanja sustava.

Unutar elektroenergetskih postrojenja prema vrsti trošila i razini napona za koji su predviđeni u većini slučajeva izvode se tri zasebna sustava:

- Sustav napona 220 V ili 110 V; na toj naponskoj razini priključuju se najveći broj bitnih trošila (gledano prema snazi), te stoga ima i najveći kapacitet. Uloga sustava namijenjena je napajanju slijedećih vrsta trošila:
  - Uređaji upravljanja, nadzora, zaštite i signalizacije;
  - Elektromotorni pogoni pričuvnih uljnih crpki, motorni pogoni prekidača;
  - Isklopni svitci prekidača;
  - Pomoćna i sigurnosna rasvjeta, itd.
- Sustav napona 48 V predviđen je za napajanje telekomunikacijske opreme.
- Sustav napona 24 V predviđen (obično se nalazi u elektranama) je za napajanje regulacijske opreme i vođenja, primjerice tehnološkog procesa parogeneratora i turbinskog postrojenja elektrane.

2.2. Sustav za besprekidno napajanje izmjeničnih trošila

Sustav za besprekidno napajanje bitnih izmjeničnih trošila obično je podijeljen u dvije moguće izvedbe i to izvedbu sa uređajima za besprekidno napajanje tzv. UPS-om (Uninterruptible Power Supplies) koji može biti dodatno povezan sa dizelskim agregatom i na sustav gdje je prisutan samo dizelski agregat.

Sustav koji kao besprekidni izvor koristi UPS uređaje napaja regulacijsku i informatičku opremu, instrumentaciju, i sl. Ovaj sustav izveden je sa zasebnim razvodom.

Sustav koji se sastoji od dizelskog agregata s pomoćnom opremom i vlastitim razvodom napaja bitna trošila na naponskoj razini 0,4 kV i to u slučaju raspada EES-a. U tu skupinu bitnih trošila ubrajaju se:

- motorni pogon za prekretanje osovine turbogeneratora,
- pričuvne uljne crpke,
- skupina bitnih motornih pogona zasuna i ventila,
- pomoćna rasvjeta u nekim rješenjima.