

Sustav za pomoćno napajanje istosmjernim naponom

Farkaš, Stjepan

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:894936>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-01**

Repository / Repozitorij:

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I
INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA**

Stručni studij

**SUSTAV ZA POMOĆNO NAPAJANJE ISTOSMJERNIM
NAPONOM**

Završni rad

Stjepan Farkaš

Osijek, 2020.

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

Obrazac Z1S: Obrazac za imenovanje Povjerenstva za završni ispit na preddiplomskom stručnom studiju

Osijek, 27.09.2020.

Odboru za završne i diplomske ispite

**Imenovanje Povjerenstva za završni ispit
na preddiplomskom stručnom studiju**

Ime i prezime studenta:	Stjepan Farkaš
Studij, smjer:	Preddiplomski stručni studij Elektrotehnika, smjer Elektroenergetika
Mat. br. studenta, godina upisa:	A 4367, 17.09.2019.
OIB studenta:	03955734762
Mentor:	Zorislav Kraus
Sumentor:	
Sumentor iz tvrtke:	
Predsjednik Povjerenstva:	Izv. prof. dr. sc. Krešimir Fekete
Član Povjerenstva 1:	Zorislav Kraus
Član Povjerenstva 2:	Ružica Kljajić
Naslov završnog rada:	Sustav za pomoćno napajanje istosmjernim naponom
Znanstvena grana rada:	Elektroenergetika (zn. polje elektrotehnika)
Zadatak završnog rada	Tema rezervirana za: Stjepan Farkaš Sumentor iz tvrtke: Mario Zovko i Matom Rošić (HOPS)
Prijedlog ocjene pismenog dijela ispita (završnog rada):	Izvrstan (5)
Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:	Primjena znanja stečenih na fakultetu: 2 bod/boda Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 2 bod/boda Jasnoća pismenog izražavanja: 3 bod/boda Razina samostalnosti: 3 razina
Datum prijedloga ocjene mentora:	27.09.2020.
<i>Potpis mentora za predaju konačne verzije rada u Studentsku službu pri završetku studija:</i>	Potpis:
	Datum:

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**IZJAVA O ORIGINALNOSTI RADA**

Osijek, 14.10.2020.

Ime i prezime studenta:

Stjepan Farkaš

Studij:

Preddiplomski stručni studij Elektrotehnika, smjer Elektroenergetika

Mat. br. studenta, godina upisa:

A 4367, 17.09.2019.

Turnitin podudaranje [%]:

13

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Sustav za pomoćno napajanje istosmjernim naponom**

izrađen pod vodstvom mentora Zorislav Kraus

i sumentora

moj vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija. Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada, osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis studenta:

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. SUSTAVI POMOĆNIH NAPAJANJA U ELEKTROENERGETSKOM POSTROJENJU.....	2
2.1. Sustav istosmjernog razvoda	2
2.2. Uloga i važnost sustava istosmjernog razvoda u elektroenergetskim postrojenjima	3
3. AKUMULATORSKA BATERIJA.....	5
3.1. Akumulatorske baterije u sustavu istosmjernog razvoda	5
3.2. Vrste baterija u istosmjernom razvodu	6
3.2.1. Dimenzioniranje akumulatorske baterije	8
4. ISPRAVLJAČI.....	12
4.1. Ispravljači u sustavu istosmjernog razvoda elektroenergetskih postrojenja	12
4.2. Princip rada ispravljača.....	13
4.2.1. Ulazni dio ispravljača sa sklopom za korekciju faktora snage	13
4.2.2. DC/DC pretvarač s izlaznim filterom	14
4.3. Opis funkcija ispravljača	14
4.4. Dimenzioniranje ispravljača	17
5. PRORAČUN STRUJE KRATKOG SPOJA.....	18
6. OPIS I PRORAČUNA SUSTAVA ISTOSMJERNOG NAPONA 48 V	19
6.1. Trošila istosmjernog napona 48 V	20
6.2. Izbor i dimenzioniranje akumulatorske baterije	21
6.2.1. Određivanje struje pražnjenja	21
6.2.2. Kriterij napona	21
6.3. Dimenzioniranje ispravljača istosmjernog sustava 48 V.....	23
6.4. Proračun kratkog spoja na sabirnicama istosmjernog razvoda 48 V	23
6.5. Dimenzioniranje sabirnice po kriteriju termičke struje kratkog spoja.....	25
7. ZAKLJUČAK	26
LITERATURA.....	26
SAŽETAK.....	27
ABSTRACT	27
ŽIVOTOPIS	28

1. UVOD

Sustavi pomoćnog napajanja unutar elektroenergetskog postrojenja važan su dio postrojenja vlastite potrošnje bez kojeg nije moguće izvršiti normalan rad postrojenja. Glavni električni izvor napona za napajanje vlastite potrošnje je izmjenični napon, obično se dovodi s vlastitog transformatora ili generatora, koji se naziva osnovno ili radno napajanje trošila, te se koristi za rad u normalnom pogonu elektroenergetskog postrojenja. Najvažniji dio u elektroenergetskom postrojenju s najosjetljivijim trošilima je sustav za pomoćno napajanje istosmjernim naponom. Sustav za pomoćno napajanje se sastoji od akumulatorskih baterija koje su najčešće spojene paralelno sa ispravljačima i glavnim razvodom s priključenim pripadajućim trošilima. Ispravljač je napajan izmjeničnim napon 400 V s otcjepa opće ili vlastite potrošnje s dijela namijenjenim za bitna trošila. Ispravljač je na istosmjernoj strani sustava spojen na akumulatorsku bateriju i glavni istosmjerni razvod te pri normalnom radu sustava osigurava potrebnu energiju za dopunjavanje akumulatorske baterije i napaja sva trošila. Napajanje istosmjernih bitnih trošila u slučaju kvara ili nestanka izmjeničnog napona na sebe preuzima akumulatorska baterija. U slučaju da dođe do havarijskog stanja u elektroenergetskom postrojenju potrošnja energije bitnih istosmjernih trošila znatno se poveća, pa iz toga razloga vrlo je bitno pravilno napraviti proračun te dimenzionirati akumulatorsku bateriju u slučaju takvoga stanja sustava.

U ovom radu se obrađuje 6 velikih poglavlja. U prvom poglavlju opisuje se sustav pomoćnog napajanja te njegova uloga u elektroenergetskom postrojenju. U drugom poglavlju opisuje se akumulatorska baterija, vrste i dimenzioniranje baterija. U trećem poglavlju opisuju se ispravljači, njihove funkcije i pravilno dimenzioniranje ispravljača. U četvrtom poglavlju ukratko se opisuje proračun struje kratkog spoja. U petom poglavlju se iznosi primjer proračuna sustava za pomoćno napajanje istosmjernim naponom. A zadnje poglavlje je zaključak, koji predstavlja zapažanje za cijeli rad, sa posebnim naglaskom na dimenzioniranje sustava. Cilj završnog rada je objasniti teorijsku tematiku sustava za pomoćno napajanje istosmjernim naponom (glavne dijelovi sustava i dimenzioniranje), te kroz praktični dio prikazati pravilno dimenzioniranje sustava za pomoćno napajanje.

2. SUSTAVI POMOĆNIH NAPAJANJA U ELEKTROENERGETSKOM POSTROJENJU

U elektroenergetskom postrojenju važan dio je postrojenje vlastite potrošnje bez kojeg nije moguće izvršiti normalan rad postrojenja. Glavni električni izvor napajanja vlastite potrošnje je izmjenični napon, najčešće s vlastitog transformatora ili generatora, koji se najčešće naziva osnovno ili radno napajanje trošila, a koristi se za rad u normalnom pogonu elektroenergetskog postrojenja.

2.1. Sustav istosmjernog razvoda

U elektroenergetskom postrojenju najvažniji dio s najosjetljivijim trošilima je nesumnjivo sustav istosmjernog razvoda. Sustav se sastoji od akumulatorskih baterija, najčešće paralelno spojenih sa ispravljačima i glavnim razvodom s priključenim trošilima. Izmjeničnim naponom od 400 V se napaja ispravljač iz vlastite ili opće potrošnje s dijela namijenjenom bitnim trošilima. Ispravljač je na istosmjernoj (DC) strani spojen na glavni istosmjerni razvod i akumulatorsku bateriju te pri normalnom radu sustava napaja sva trošila i nadopunjava akumulatorsku bateriju potrebnom energijom. U slučaju nastanka kvara ispravljača u elektroenergetskom postrojenju ili nestanku izmjeničnog napona, napajanje bitnih trošila sa istosmjernim naponom na sebe preuzima akumulatorska baterija. U slučaju nastanka havarijskog stanja elektroenergetskog sustava potrošnja energije se povećava, iz tog razloga od velike važnosti nam je pravilno dimenzionirati akumulatorsku bateriju.

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

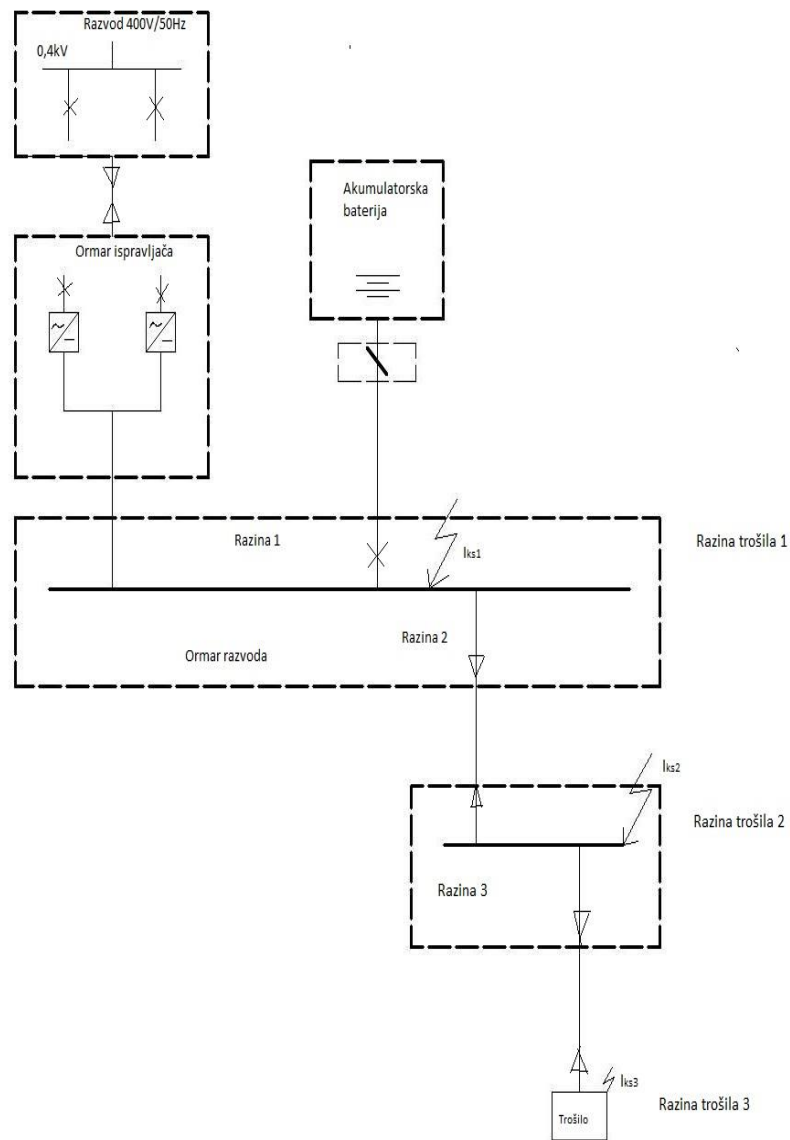
- Sustav napona 220 V ili 110 V; na tom naponu priključuju se najveći broj bitnih trošila, te s toga ima najveći kapacitet. Uloga sustava namijenjena je za napajanje sljedećih vrsta trošila:
 - Uređaji upravljanja, nadzora, zaštite i signalizacije
 - Elektromotorni pogoni pričuvnih uljnih crpki, motorni pogoni prekidača
 - Isklopni svitci prekidača
 - Pomoćna i sigurnosna rasvjeta
- Sustav napona 48 V za napajanje telekomunikacijske opreme.

- Sustav napona 24 V (obično se nalazi u elektranama) je za napajanje regulacijske opreme vođenja, tehnološkog procesa parageneratora i turbinskog postrojenja elektrane.

2.2. Uloga i važnost sustava istosmjernog razvoda u elektroenergetskim postrojenjima

U elektroenergetskim postrojenjima istosmjerni razvod je vrlo bitan jer omogućuje pouzdano upravljanje elektrane ili transformatorske stanice kako u normalnom pogonu, te također u slučaju kvara u postrojenju, odnosno izvanrednog pogonskog stanja. Istosmjerni razvod sastoji se od instalacija sa pripadajućim trošilima, ispravljača i akumulatorske baterije (slika 2.1.).

U električnom postrojenju glavni dijelovi kao što su zaštita, prekidači i upravljački uređaji moraju biti pouzdano i besprekidno napajani jer moraju biti u mogućnosti izvršiti rad u svim pogonskim stanjima. Prema tome istosmjerni razvod treba biti najsigurniji dio električnog postrojenja.



Slika 2.1. Shema istosmjernog razvoda u tri razine s označenim glavnim dijelovima [2]

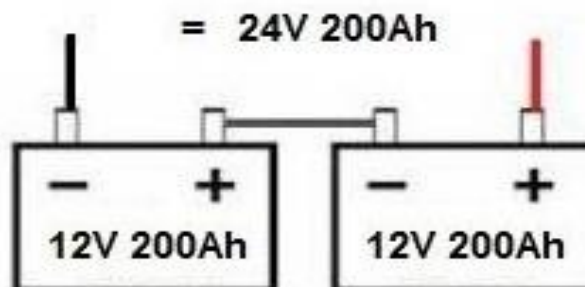
Istosmjerni sustavi napajanja namijenjeni su za besprekidno napajanje bitnih istosmjernih trošila čiji je pouzdan rad od iznimne važnosti. Princip besprekidnog napajanja zasniva se na istodobnom punjenju i održavanju akumulatorske baterije te napajanju paralelno spojenih trošila. Ispravljači rade u paralelnom redundantnom radu uz ravnomjernu raspodjelu tereta.

3. AKUMULATORSKA BATERIJA

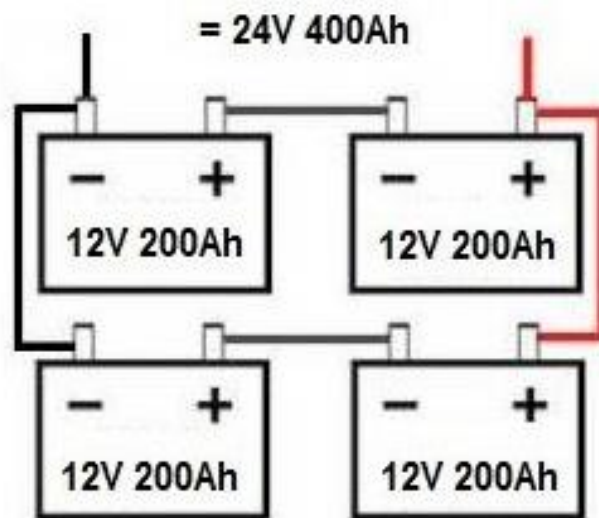
Akumulatorska baterija je jedinstveni elektroenergetski uređaj koji je istovremeno skladište električne energije i osigurava sigurnu i besprekidnu dobavu električne energije. Akumulatorska baterija prvenstveno je u funkciji rezervnog besprekidnog napajanja važnih i prioritetnih potrošača električne energije. Akumulatorska baterija je po definiciji kemijski izvor električne energije, a način rada je u osnovi akumuliranje-skupljanje električne energije potencijalno u obliku kemijske energije.

3.1. Akumulatorske baterije u sustavu istosmjernog razvoda

Akumulatorska baterija je temelj besprekidnog sustava napajanja i u sustav je uključena kao pričuvni izvor istosmjernog napona, koji bez prekida preuzima napajanje trošila u slučaju ispada mrežnog napona ili u slučaju ispada (kvara) ispravljačkih jedinica. Modul akumulatorske baterije sastavljen je od stacionarnih hermetički zatvorenih akumulatorskih baterija određenog kapaciteta. Akumulatorske baterije se sastoje od 6 članaka istosmjernog izlaznog napona od 2 V. Uglavnom se koriste akumulatorske baterije izlaznog napona od 12 V i 24 V, spojene su u serijskom spoju (Slika 3.1.) ili u serijsko-paralelnom spoju (Slika 3.2.) kako bi dobili potreban izlazni napon te potreban kapacitet za određene naponske razine



Slika 3.1. Serijski spoj akumulatorske baterije [4]

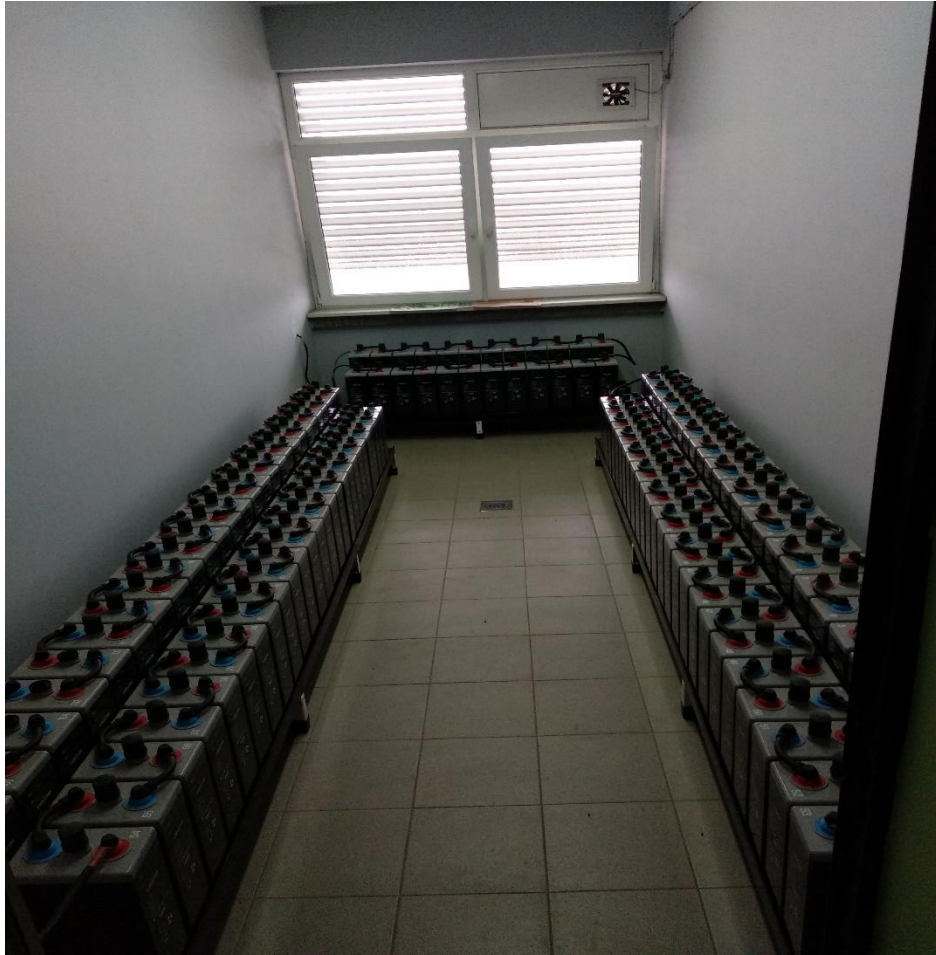


Slika 3.2. Serijsko-paralelni spoj akumulatorske baterije [4]

3.2. Vrste baterija u istosmjernom razvodu

U sustavu pomoćnog napajanja istosmjernim naponom koristimo dvije vrste akumulatorskih baterija, a to su otvorene (kisele) i zatvorene (VRLA, eng. *Valve Regulated Lead-Acid*) baterije.

Otvorene akumulatorske baterije (Slika 3.3.) imaju otvoreno kućište koje je napunjeno sumpornom kiselinom u koju se uranja olovna ploča odnosno elektroda. Najveći nedostatak otvorenih akumulatorskih baterija je taj što ih je potrebno postaviti u zasebnu prostoriju jer ispuštaju otrovne plinove.



Slika 3.3. Otvorene baterije

Zatvorena baterija (VRLA, *eng. Valve Regulated Lead-Acid*) je moderna izvedba akumulatorske baterije (Slika 3.4), a prednosti tih baterija su:

- ne cure
- ne zahtijevaju nadolijevanje vode
- zahtjevi za ventilacijom prostora neusporedivo manji
- niži troškovi održavanja
- povećana sigurnost za opremu, prostor i osoblje
- mogućnost smještaja u isti stalak sa opremom
- mogućnost instaliranja horizontalno i vertikalno u prostoru
- manje zahtjevni transportni uvjeti



Slika 3.4. VRLA baterije

3.2.1. Dimenzioniranje akumulatorske baterije

Prilikom odabira akumulatorske baterije potrebno je odrediti broj članaka i kapacitet. Odabir akumulatorske baterije zasniva se na kriteriju trajnog havarijskog režima rada u trajanju od 1, 3, 5 i 10 sati. Uglavnom se uzima petosatni trajni havarijski režim rada kao kriterij za odabir akumulatorske baterije. Na kraju takvog režima rada napon na akumulatorskoj bateriji treba biti takav da se mogu obavljati potrebne radnje uklapanja i isklapanja u elektroenergetskom postrojenju.

Osnovni ulazni parametri za odabir akumulatorske baterije su:

- Analiza potrošnje podijeljena na povremenu, stalnu i pomoćnu rasvjetu, a s ciljem određivanja struje pražnjenja,
- Naponska razina s određenim maksimalnim i minimalnim dozvoljenim naponom
- Napon nadopunjavanja

- Napon punog i praznog članka
- Vrijeme trajanja havarijskog režima rada

Iz popisa svih trošila može se zaključiti da će u ukupnoj energiji povremena trošila sudjelovati obično s vrlo malim udjelom. Treba napomenuti da pomoćna rasvjeta može imati veliki udio u ukupnoj snazi. Pretpostavljamo da je uključena sva rasvjeta, te s takvim podatkom računamo ukupnu snagu povremenih i stalnih trošila. Prema popisu svih trošila računa se ukupna energija prema (3-1) [2]:

$$E_{uk} = (\sum_{i=1}^{tr} P_i) \cdot t + \sum_{j=1}^{po} P_j \cdot t_j \quad [\text{Wh}] \quad (3-1)$$

gdje je:

E_{uk} – ukupna energija trajnih i povremenih trošila [Wh]

P_i – snaga pojedinog trajnog trošila [W]

P_j – snaga pojedinog povremenog trošila [W]

t_j – vrijeme trajanja rada pojedinog povremenog trošila [s]

t – ukupno trajanje havarijskog režima rada [s]

tr – broj trajnih trošila

po – broj povremenih trošila

Ukupna snaga se prema [2] računa po izrazu (3-2):

$$P = E_{uk}/t \quad [\text{W}] \quad (3-2)$$

gdje je:

P – ukupna snaga svih trošila u sustavu istosmjernog razvoda [W]

Za proračun konstantne struje pražnjenja odabire se ukupna energija potrošnje trajnih trošila i energija povremenih trošila s očekivanim trajanjem djelovanja. Na temelju ovih podataka vrijednosti trajne snage, trajna struja pražnjenja na temelju koje se dimenzionira akumulatorska baterija, iznosi prema (3-3):

$$I_{tr} = P/U_n \quad [\text{A}] \quad (3-3)$$

gdje je:

I_{tr} – trajna struja pražnjenja [A]

U_n – nazivni napon sustava istosmjernog razvoda [V]

Udarne struja I_u pražnjenja sastoji se od struje stalnih trošila i maksimalne struje koju oduzimaju povremena trošila u određenom trenutku i iznosi prema (3-4):

$$I_u = P_m / U_n \quad [\text{A}] \quad (3-4)$$

gdje je:

P_m – maksimalna snaga trošila [W]

Prema dopuštenim odstupanjima napona za trošilo obično se uzima u opsegu +10 % do -15 %. pa minimalni i maksimalni napon izvora računamo prema (3-5) i (3-6) :

$$U_{\min} = 0.85 \cdot U_n \quad [\text{V}] \quad (3-5)$$

$$U_{\max} = 1.1 \cdot U_n \quad [\text{V}] \quad (3-6)$$

gdje je:

U_{\min} – minimalni dozvoljeni napon na sabirnicama trošila sustava istosmjernog razvoda [V]

U_{\max} – maksimalni dozvoljeni napon sustava istosmjernog razvoda [V]

Također prilikom dimenzioniranja akumulatorskih baterija treba osigurati povećani kapacitet zbog utjecaja snižene temperature na 5 °C ($k_t = 1,1$) i zbog starenja ($k_s = 1,25$).

Također treba odrediti:

$U_{\text{čpub}}$ – napon ubrzanog punjenja članka (2,4 V – 2,7 V),

$U_{\text{čpu}}$ – napon punjenja članka (2,23 V – 2,27 V),

$U_{\text{č}}$ – napon punog članka (2,15 V).

Odabir broja članak određuje se prema izrazu (3-7):

$$n = U_{\max} / U_{\text{čpu}} \quad (3-7)$$

gdje je:

n – broj članaka.

Minimalni napon članka određuje se prema izrazu (3-8):

$$U_{\check{c} \min} = U_{\min} / n \quad [\text{V}] \quad (3-8)$$

gdje je:

$U_{\check{c} \min}$ – napon praznog članka (1,75 V – 1,9 V)

Prema kapacitetu akumulatorska baterija se određuje prema izrazu (3-9):

$$C_{10} = k \cdot I_{\text{tr}} \cdot t \quad [\text{Ah}] \quad (3-9)$$

gdje je:

C_{10} – desetsatni kapacitet akumulatorske baterije [Ah]

k – konstanta ($k_1=1.923$, $k_3= 1.333$, $k_5= 1.163$, $k_{10} = 1$)

Uvjeti za odabir akumulatorske baterije prikazani su u Tablici 1.

Tablica 1. Uvjeti odabira baterije

Vrijeme trajanja havarijskog režima rada [h]	t
Trajna struja pražnjenja [A]	I_{tr}
Broj članaka	n
Kapacitet [Ah]	C_{10}
Maksimalni napon [V]	U_{\max}
Minimalni napon [V]	U_{\min}
Napon punog članka [V]	$U_{\check{c}}$
Napon punjenja [V]	$U_{\check{c} \text{pu}}$
Minimalni napon članka [V]	$U_{\check{c} \min}$
Udarna struja pražnjenja [A]	I_{u}

4. ISPRAVLJAČI

Ispravljač (Slika 4.1.) je električki uređaj koji povezuje izmjeničnu pojnu mrežu s istosmjernim trošilom, pri čemu se energija prenosi sa izmjenične pojne mreže prema istosmjernom trošilu. Dijelimo ih na neupravljive i upravljive ispravljače. Pretvaračke komponente neupravljivih ispravljača su diode. Upravljive ispravljače dijelimo još i na poluupravljive ispravljače koji se sastoje od dioda i tiristora i punoupravljive ispravljače koji se sastoje samo od tiristora. Kod ispravljanja izmjenične struje (napona) u istosmjernu često se podrazumijeva da se vrši i glađenje (filtraciju, smanjivanje valovitosti) izlaznog napona i stabiliziranje napona. Često u sklopu ispravljača je smješten i transformator koji smanjuje napon na pogodnu vrijednost.



Slika 4.1. Ispravljač [1]

4.1. Ispravljači u sustavu istosmjernog razvoda elektroenergetskih postrojenja

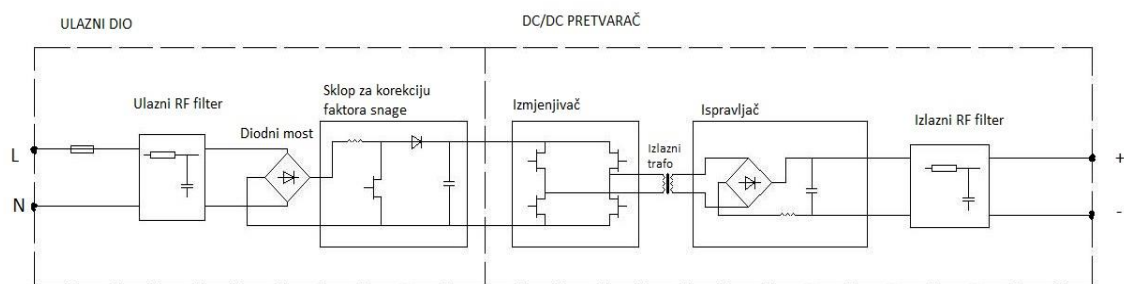
Ispravljači u sustavu istosmjernog razvoda pri normalnom radu pogona omogućuju potrebnu energiju za dopunjavanje akumulatorske baterije i napajaju sva bitna trošila. U sustavu istosmjernog razvoda ispravljači rade u redundantnom paralelnom radu uz ravnomjernu raspodjelu tereta. Modularnost konstrukcije omogućuje jednostavnu demontažu neispravnog i montažu rezervnog ispravnog modula, što je osnovni uvjet brzog i učinkovitog servisiranja. U sustavu

istosmjernog razvoda ispravljači su upravljani mikroprocesorom, a njihov rad kao i rad sustava u cjelini nadzire centralna mikroprocesorska upravljačka jedinica.

4.2. Princip rada ispravljača

Ispravljač se, kao što se vidi iz blok sheme (Slika 4.2.) sastoji od sljedećih funkcijskih cjelina:

- Ulazni dio
- DC/DC pretvarač



Slika 4.2. Blok shema ispravljača [1]

4.2.1. Ulazni dio ispravljača sa sklopom za korekciju faktora snage

Ulazni dio ispravljača sa sklopom za korekciju faktora snage sadrži:

- Ulazni RF filter
- Diodni most
- Sklop za korekciju faktora snage

Mrežni napon se preko priključnih stezaljki dovodi na RF filter. Ulazni filter s mrežne strane štiti ispravljač od vanjskih smetnji i prenapona, a sa strane ispravljača potiskuje visokofrekventivne smetnje ulazne struje. Uz uzlazni filter nalaze se i otpornici koji ograničavaju struju nabijanja

kondenzatora u sklopu prilikom uključanja. Filtrirani mrežni napon dovodi se na diodni most na kojem se punovalno ispravlja. Napon sa diodnog ispravljačkog mosta dolazi na korekciju faktora snage.

Uloga ovog sklopa je regulacija istosmjernog napona međukruga za zadane varijacije uzlaznog napona i tereta te održavanje sinusne ulazne struje koja ostaje i fazi s ulazim naponom.

4.2.2. DC/DC pretvarač s izlaznim filterom

Unutar DC/DC pretvarača nalazi se:

- Izmjenjivač
- Izlazni transformator
- Punovalni diodni ispravljač s filterom
- Izlazni RFI filter

Zadatak DC/DC pretvarača je da ispravljeni napon s ulazne jedinice smanji, ispravi i stabilizira na iznos izlaznog napona. Izlazni napon jedinice za korekciju faktora snage dovodi se na izmjenjivač. Izmjenjivač se upravlja po principu pomaka faza (*eng. phase shift*) kojim su impulsi za grane mosta fazno pomaknuti. Pomoću rezonantne prigušnice i parazitnih kapaciteta u krugovima omogućen je mek uklop tranzistora čime se značajno smanjeni gubici preklapanja. Uz visoku radnu frekvenciju ostvareni su mali gabariti magnetskih komponenti kao i smanjeni gubici vođenja energetskih poluvodiča.

Napon dobiven na diodnom mostu se prenosi transformatorom na ispravljačke diode gdje se punovalno ispravlja, a nakon toga filtrira s LC filterom. Dodatno se filtrira izlaznim RFI filterom visokofrekventivna komponenta i utjecaj kapacitivnog prijenosa preko transformatora.

4.3. Opis funkcija ispravljača

- **Stabilizacija izlaznog napona**

Informacija o izlaznom naponu dovedena je na ulaz regulatora preko djelitelja direktno s izlaznih stezaljki. Izlazni napon moguće je podešavati do nivoa prenaponske zaštite. Strujni signal dolazi

na strujni regulator. S ova dva signala kao i sa signalom dovedenim iz sistema održava se stabilni izlazni napon i struja.

- **Strujno ograničenje**

Ispravljač je opremljen termičkim, statičkim i dinamičkim strujnim ograničenjem. Statičko ograničenje osigurava IU izlaznu karakteristiku uređaja. Dinamičko ograničenje namijenjeno je za zaštitu uređaja od trenutnih preopterećenja. Na ispravljaču se također nalazi termosonda koja je montirana na hladnjak s poluvodičima. Kada temperatura na njoj dosegne određenu temperaturu na upravljački sklop dolazi signal koji generira nalog za strujni limit ispravljača.

- **Podešavanje ispravljača**

Ispravljač dolazi tvornički podešen. Korisniku je ostavljena samo mogućnost podešavanja izlaznog napona ispravljača; podešava se potenciometrom IZL. NAPON (na prednjoj ploči ispravljača). Izlazni napon ispravljača podešava se do nivoa prenaponske zaštite

- **Paralelni rad**

Ispravljač može raditi u paraleli jer se u ispravljaču nalaze sklopovi koji osiguravaju nagib naponsko-strujne karakteristike izlaznog napona pa ih je moguće spojiti u paralelu, a da dijeljenje struje ostaje u deklariranim granicama.

- **Zaštita**

Na nivou ispravljača su sklopovi koji ostvaruju sljedeće zaštite:

- ✓ *Zaštita od preniskog i previsokog napona mreže*

Ukoliko mjerenje napona mreže izađe iz dopuštenih granica dolazi do blokade ispravljača. Prestati će svijetliti zelena LED dioda „MREŽA“, a centrala upravljača jedinica sustava će signalizirati KVAR ispravljača. Kada se napon vrati u dozvoljene granice odstupanja ispravljač se ponovo uključuje u rad.

- ✓ *Zaštita od prenapona iz mreže*

U ispravljač su ugrađeni varistori kojim se štiti uređaj od prenapona iz mreže. U slučaju da dođe do prenapona varistori će višak energije prenapona odvesti u zemlju ili će izgorjeti ukoliko je energija prenapona veća od njegove propusne moći.

- ✓ *Zaštita od izlazne prekostruje*

Na upravljačkoj pločici je integrirana dinamička i statička zaštita ispravljača od izlazne prekostruje strujnim limitom koji se može podesiti s prednje ploče ispravljača. Kontrolira se i najtoplije mjesto na ispravljaču (hladnjak s poluvodičima) pomoću termosonde. Signal s termosonde se dovodi na upravljačke sklopove i taj signal utječe na strujni limit ispravljača.

✓ *Zaštita od izlaznog prenapona*

Prijeđe li izlazni napon podešenu vrijednost prenapona doći će do blokade ispravljača. Da bi se ispravljač ponovo uključio u rad potrebno ga je resetirati.

• **Lokalna signalizacija**

Na prednjoj ploči ispravljača nalaze se sljedeće signalizacije:

✓ MREŽA: zelena LED dioda

Na ispravljaču se prati iznos mrežnog (ulaznog) napona. Uz ispravan mrežni napon svijetli zelena LED dioda „Mreža“ ispunjen je jedan od uvjeta da ispravljač može raditi. Ukoliko je napon mreže izvan dozvoljenih granica ispravljač je blokiran i LED dioda „Mreža“ ne svijetli.

✓ RAD (POWER ON): zelena LED dioda

Signalizacija je aktivna kada je prisutan napon napajanja i kada je ispravljač uključen.

✓ KVAR: crvena LED dioda.

• **Komunikacija s upravljačkom jedinicom**

Informacije koje se šalju s ispravljača na upravljačku jedinicu su sljedeće:

✓ RAD - ispravljač radi i na njegovim izlaznim stezaljkama se nalazi istosmjerni napon

✓ MREŽA - mjerenje mrežnog napona se nalazi u dopuštenim granicama, upravljački sklopovi imaju signal omogućen start / rad ispravljača.

✓ PRENAPON (prenapon izlaznog napona) – interno mjerenje izlaznog napona je iznad podešene vrijednosti za proradu prenaponske zaštite. Ispravljač je blokiran, potrebna je akcija operatera da nakon nestanka uzroka prorade restartira ispravljač kako bi ponovno mogao raditi.

Informacije koju ispravljač dobiva od upravljačke jedinice su:

- Signal za temperaturu kompenzaciju napona baterije. Ovaj signal se obradi i dovodi u regulator izlaznog napona i njime se sa strane sustava podešava vrijednost izlaznog napona.
- STOP signal kojim se vrši blokada rada ispravljača. Upravljački sklopovi po dobitku ovog signala blokiraju rad ispravljača sve dok centralna upravljačka jedinica ne deaktivira ovaj signal.

4.4. Dimenzioniranje ispravljača

Veličina struje za dimenzioniranje ispravljača (4-1) određena je zbrojem trajne struje potrošnje I_{tr} i struje nadopunjavanja akumulatorske baterije. Obično se struja nadopunjavanja akumulatorske baterije određuje kao postotni iznos desetsatnog kapaciteta izraženog u amperima. Za klasične olovne baterije taj postotak je (0,20-0,30) %, dok je kod hermetičkih zatvorenih baterija (VRLA) 10 %. Treba naglasiti da kod hermetički zatvorenih baterija nije potrebno ograničavati struju punjenja ukoliko je ispražnjenost baterije manja od 40 % nazivnog kapaciteta. Za veću ispražnjenost ograničenje struje punjenja neophodno je i u tom slučaju struja ne smije biti veća od (0,25-0,3) C_{10} , ovisno o proizvođaču.

$$I_i = I_{tr} + K \cdot C_{10} \text{ [A]} \quad (4-1)$$

gdje je:

I_i – nazivna struja ispravljača [A]

K – postotni iznos struje nadopunjavanja

C_{10} – iznos desetsatnog kapaciteta akumulatorske baterije izražen u amperima.

5. PRORAČUN STRUJE KRATKOG SPOJA

Prilikom proračuna struje kratkog spoja treba razlikovati i proračunati maksimalnu i minimalnu struju kratkog spoja. Na osnovi tih proračuna odabire se sklopna oprema, te se dimenzioniraju vodiči unutar podrazvoda i razvoda. Ulazni podaci za proračun kratkog spoja uočljivi su u tablici (Tablica 2.).

Tablica 2. Ulazni podaci za proračun kratkog spoja

Broj članaka	N
Minimalni napon članka [V]	$U_{\check{c}min}$
Napon punjenja članka [V]	$U_{\check{c}pu}$
Minimalni napon akumulatorske baterije [V]	U_{bmin}
Napon trajnog punjenja akumulatorske baterije [V]	U_{bpu}
Napon punog članka [V]	$U_{\check{c}}$
Maksimalni napon akumulatorske baterije [V]	U_{bmax}
Minimalni otpor članka [Ω]	$R_{\check{c}min}$
Maksimalni otpor članka [Ω]	$R_{\check{c}max}$
Minimalni otpor akumulatorske baterije [Ω]	R_{bmin}
Maksimalni otpor akumulatorske baterije [Ω]	R_{bmax}
Nazivna struja ispravljača [A]	I_i
Duljina voda [m]	L
Specifični otpor vodova [$\Omega mm^2/m$]	P

Minimalna struja kratkog spoja određuje se prema izrazu(5-1):

$$I_{kmin} = U_{bmin} / R_{bmax} + R_p \text{ [A]} \quad (5-1)$$

Maksimalna struja kratkog spoja određuje se prema izrazu (5-2):

$$I_{kmax} = (U_{bmax} / R_{bmin} + R_v) + I_i \text{ [A]} \quad (5-2)$$

Minimalna struja na sabirnicama akumulatorske baterije određuje se prema izrazu (5-3):

$$I_{kmin} = U_{bmin} / R_{bmax} + R_{bv} \text{ [A]} \quad (5-3)$$

Maksimalna struja na sabirnicama akumulatorske baterije određuje se prema izrazu (5-4):

$$I_{kmax} = U_{bmax} / R_{bmin} + R_{bv} [A] \quad (5-4)$$

Gdje je:

I_{kmin} – minimalna struja kratkog spoja [A]

I_{kmax} – maksimalna struja kratkog spoja [A]

R_v – zbroj otpora vodiča od sabirnice akumulatorske baterije do mjesta kratkog spoja [Ω]

R_{bv} – otpor vodiča od akumulatorske baterije do glavne sabirnice [Ω]

6. OPIS I PRORAČUNA SUSTAVA ISTOSMJERNOG NAPONA 48 V

U elektroenergetskom postrojenju 110/35/10 kV izveden je istosmjerni razvod 48 V. Sustav 48 V se koristi za potrebe besprekidnog napajanja telekomunikacijskih uređaja. Ispravljački dio izveden je s modulima visokofrekvencijskih ispravljača u varijanti n+1, koji rade u redundantnom spoju. Princip besprekidnog napajanja zasniva se na istodobnom napajanju paralelno spojenih trošila i nadopunjavanju i održavanju akumulatorske baterije. Ispravljači rade u ravnomjernoj raspodjeli tereta. U slučaju kvara neispravni ispravljač se isključuje, a rezervni nastavlja napajati bateriju i trošila. U slučaju ispada mrežnog napona 230 V, 50 Hz, napajanje trošila bez prekida preuzima akumulatorska baterija. Pri proračunu kapaciteta akumulatorske baterije uzima se autonomni rad istosmjernog sustava u trajanju od 5 sati.

U tablici 6.1 nalaze se osnovni tehnički zahtjevi za proračun sustava istosmjernog napona 48 V.

Tablica 6.1 Osnovni tehnički zahtjevi

Opis	Vrijednost
Ulazni napon [V]	3x400/230 V +10 % - 15 %
Frekvencija [Hz]	50 Hz ± 2 %
Nazivni istosmjerni izlazni napon [V]	48
Temperatura okoline [°C]	0 do 40
Podešenje struje baterije I_b na nivou sustava	0,3 – 1,1 I_n
Stupanj mehaničke zaštite	IP20
Način hlađenja	Prisilno
Smještaj	Unutranji
Zaštita od napona dodira	TN i IT (TN za ulazni dio, IT za izlazni dio)

6.1. Trošila istosmjernog napona 48 V

Potrošnja istosmjernog razvoda za potrebe dimenzioniranja baterije nalaze se u tablici 6.2

Tablica 6.2 Trajna trošila

Naziv potrošača	Broj potrošača	Trajanje	Učestalost	Pojedinačna snaga (W)	Ukupna snaga (W)	Ukupna potrošnja (Wh)
Telekomunikacijski uređaji	2	5 h	100 %	300	600	3000
Ukupno					600	3000

Maksimalna snaga za koju se treba dimenzionirati ispravljač i baterija iznosi $P_{\max} = 600 \text{ W}$

6.2. Izbor i dimenzioniranje akumulatorske baterije

6.2.1 Određivanje struje pražnjenja

Kao kriterij za odabir konstantne struje pražnjenja uzima se bilanca ukupne energije jer unosi manju pogrešku nego računanje pomoću ukupne maksimalne snage koja u račun ne uzima dovoljno točnu vjerojatnost istovremene prorade povremenih trošila.

Prema izračunatoj ukupnoj energiji za 5 sati rada, slijedi:

$$Q_{P8} = E_{P8}/U_n = 3000/48 = 62,5 \text{ Ah}$$

Struja pražnjenja prema realnoj potrošnji, 5-satnom razdoblju iznosi:

$$I_{mkons} = Q_{P8}/t = 62,5/5 = 12,5 \text{ A}$$

Udarna struja pražnjenja iznosi 12,5 A jer nema kratkotrajnih trošila.

Kod dimenzioniranja baterije treba uzeti u obzir faktor povećanja kapaciteta za kraj životnog vijeka baterije koji iznosi 80 % kapaciteta i temperaturu od 5 °C (95 % kapaciteta), tada se izvršava korekcija kapaciteta baterije i ona iznosi:

$$Q_B = 62,5 / 0,8 \cdot 0,95 = 82,23 \text{ Ah}$$

Za zadovoljenje struje pražnjenja i kapaciteta odabire se baterija čija struja pražnjenja u 5-satnom razdoblju rada iznosi : $I_b = 34,3 \text{ A}$

Tada izračunamo kapacitet za navedenu bateriju koji iznosi $Q_{B8} = I_B \cdot t = 163 \text{ Ah}$

6.2.2. Kriterij napona

Na kraju procesa pražnjenja baterije, baterija mora imati dovoljno visoki napon za ispravan rad trošila i u slučaju udarnog opterećenja na kraju procesa pražnjenja i na kraju životnog vijeka baterije. Tijekom punjenja baterije napon ne smije prijeći dopušteno odstupanje napona za trošila istosmjernog napona -15 % do +10 %, kako ne bi došlo do posljedica za trošila.

Na osnovu poznavanja napona punjenja po članku (U_c) i maksimalnog napona potrošača (U_{max}) za izabranu bateriju. Tada se određuje potreban broj članaka akumulatorske baterije.

$$U_{\max} = U_n \cdot 1,1 = 48 \cdot 1,1 = 52,8 \text{ V}$$

Napon punjenja za odabranu bateriju iznosi $U_{\check{c}} = 2,27 \text{ V}/\check{c}$ ako se baterija održava bez regulatora napona članka. Tada broj članaka za odabranu bateriju iznosi:

$$n = U_{\max}/U_{\check{c}} = 52,8/2,27 = 23,26 = 23 \text{ članka}$$

Minimalni napon izabrane baterije tada iznosi:

$$U_{\min} = U_n \cdot 0,85 = 48 \cdot 0,85 = 40,8 \text{ V}$$

Ako znamo da pad napona za najnepovoljniji strujni krug iznosi $\Delta U = 1,5 \text{ V}$. Tada najniži napon članka iznosi:

$$U_{\check{c}\min} = (U_{\min} + \Delta U) / n = 1,84 \text{ V}/\check{c}$$

Pretpostavljeni minimalni napon baterije po članku iznosi 1,85 V, te se zaključuje da izabrana baterija zadovoljava.

Tablica 6.3 Karakteristike odabrane baterije:

Opis	Oznaka	Vrijednost
Vrijeme rada [h]	t	5
Broj članaka	n	23
Maksimalni napon baterije [V]	U_{\max}	52,8
Minimalni napon baterije [V]	U_{\min}	40,8
Napon punjenja [V/č]	U_{np}	2,27
Minimalni napon članka [V/č]	$U_{\check{c}\min}$	1,85
Struja pražnjenja odabrane baterije [A]	I_{trbat}	34,3
Otpor članka [$\text{m}\Omega$]	$R_{\text{ub}/\check{c}}$	0,95

6.3. Dimenzioniranje ispravljača istosmjernog sustava 48 V

Ispravljač se dimenzionira prema struji 10-satnog punjenja akumulatorske baterije i prema maksimalnoj struji trošila I_{mp} prema izrazu (6-1):

$$I_i = I_{mp} + I_{pu} \quad (6-1)$$

Maksimalna struja trošila I_{mp} se računa prema maksimalnom opterećenju trošila, te iznosi:

$$I_{mp} = P_m / U = 600/48 = 12,5 \text{ A}$$

Struja punjenja I_{pu} iznosi 10% od Q_{B5} kapaciteta baterije sa uključenim privremenim trošilima:

$$I_{pu} = (163 \cdot 10) / 100 = 16,3 \text{ A}$$

Struja ispravljača iznosi:

$$I_i = I_{pu} + I_{mp} = 16,3 + 12,5 = 28,8 \text{ A}$$

Iz izračunatih podataka može se vidjeti da sustav može nesmetano raditi uz 1 ispravljač, nazivne struje 50 A. Odabiru se 2 ispravljača nazivne struje 50 A, čime se dobiva n+1 redundancija, odabirom jednog ispravljača više od potrebnog dobiva se veća pouzdanost sustava.

6.4. Proračun kratkog spoja na sabirnicama istosmjernog razvoda 48 V

Struja ispravljača iznosi:

$$I_{is} = k_i \cdot I_i = 1,1 \cdot 50 = 55 \text{ A}$$

k_i - koeficijent ograničavanja struje ispravljača

$$R_{ub} = R_{ub/\check{c}} \cdot n = 0,022 \text{ } \Omega$$

n – broj članka baterije

Tablica 6.4 Ulazni podaci za proračun

Opis	Oznaka	Vrijednost
Dužina vodiča [m]	l	10
Specifični otpor bakra [$\Omega\text{mm}^2/\text{m}$]	ρ	0,0178
Najmanji izlazni napon baterije [V]	U_{bmin}	40,8
Najveći izlazni napon baterije [V]	U_{bmax}	52,8
Unutarnji otpor baterije [Ω]	R_{ub}	0,022
Presjek vodiča [mm^2]	A_1	35

Sa dobivenim ulaznim podacima za proračun, računamo sljedeće podatke:

Otpor dionice vodiča od baterije do sabirnice :

$$R_1 = \rho \cdot ((2 \cdot l) / A_1) = 0,01 \Omega$$

Struje kratkog spoja:

$$I_{K1\text{min}} = U_{\text{bmin}} / (1,1 \cdot R_{\text{ub}} + R_1) = 40,8 / (1,1 \cdot 0,022 + 0,01) = 1192,9 \text{ A}$$

$$I_{K1\text{max}} = (U_{\text{bmax}} / 1,1 \cdot R_{\text{ub}} + R_1) + I_{\text{is}} = (52,8 / 1,1 \cdot 0,022 + 0,01) + 55 = 1598,9 \text{ A}$$

6.5. Dimenzioniranje sabirnice po kriteriju termičke struje kratkog spoja

Za maksimalnu struju kratkog spoja na sabirnicama istosmjernog razvoda uzima se struja $I_{K1max}=1598,8$ A

Prilikom kratkog spoja naglo se povećava temperatura i može se računati da se za vrijeme trajanja kratkog spoja toplina ne odvodi u okolinu, pa je zagrijavanje proporcionalno toplini koja nastaje u vodiču.

Tablica 6.5 Ulazni podaci za proračun

Opis	Oznaka	Vrijednost
Najveća struja kratkog spoja [A]	I_k	1598,8
Trajanje struje kratkog spoja [s]	T_{kr}	1
Dopuštena gustoća struje za kabel [A/mm ²]	G_{dpvc}	115
Dopuštena gustoća struje za gole sabirnice [A/mm ²]	G_{dsab}	159

Sa dobivenim ulaznim podacima za proračun, računamo sljedeće podatke:

Presjek vodiča prema gustoći struje u kratkom spoju za gole sabirnice iznosi:

$$A_1 = I_K / G_{dsab} = 1598,8 / 159 = 10,1 \text{ mm}^2$$

Presjek vodiča prema gustoći struje u kratkom spoju za kabel iznosi:

$$A_1 = I_K / G_{dpvc} = 1598,8 / 115 = 13,9 \text{ mm}^2$$

7. ZAKLJUČAK

Sustav za pomoćno napajanje istosmjernim naponom ima vrlo važnu ulogu u svakom elektroenergetskom postrojenju. Omogućava pouzdano djelovanje primarne i sekundarne opreme u normalnom pogonu i posebnu pri nastanku havarijskog stanja ili nestanku izmjeničnog napona. Princip besprekidnog napajanja zasniva se na istovremenom napajanju paralelno spojenih trošila i nadopunjavanju i održavanju akumulatorske baterije. Kako bi sustav za pomoćno napajanje istosmjernim naponom bio od koristi moramo proučiti sve potrošače te pažljivo i pravilno napraviti proračun za dimenzioniranje akumulatorskih baterija i ispravljača. Proračun i dimenzioniranje akumulatorske baterije je od velike važnosti jer ako izaberemo pogrešnu ili slabu akumulatorsku bateriju sustav neće moći obaviti svoj zadatak. Također treba pravilno dimenzionirati ispravljač kako bi i ispravljač mogao odraditi svoj zadatak u sustavu.

LITERATURA

- [1] Z. Bastašić, ing. el., Tehnički opis i upute za rukovanje i održavanje sustava za besprekidno napajanje istosmjernim naponom 220 V, TIP KONIS-B 220 V, 40A, 250Ah, Zagreb, 2015.
- [2] Dr.sc.S. Skok, dipl.ing., Preporuke za analizu i dimenzioniranje sustava istosmjernog razvoda u elektroenergetskim postrojenjima, Zagreb, 2004.
- [3] M. Hlupić, dipl.ing.el., I. Galetić, dipl.ing.el., Aku baterija- temelj besprekidnog sustava napajanja, Zagreb
- [4] NOMO GROUP CO LIMITED, URL: <http://hr.solar-led-lights.com/info/how-to-connect-batteries-in-series-and-paralle-31264399.html>(13.7.2020.)

SAŽETAK

U završnom radu obrađena je teorijska tematika sustava za pomoćno napajanje istosmjernim naponom i napravljen proračun. Opisana je važnost pomoćnog sustava te najbitniji dijelovi sustava kao što su akumulatorska baterija i ispravljač. Opisana je uloga akumulatorske baterije i nabrojane vrste baterija koje se mogu koristiti u sustavu i prikazan je postupak dimenzioniranja akumulatorske baterije. U radu je također opisana uloga ispravljača i način dimenzioniranja ispravljača. U radu je opisan postupak proračuna za dimenzioniranje akumulatorske baterije i ispravljača za dane podatke trošila u telekomunikacijskom istosmjernom sustavu od 48 V za transformatorsku stranicu 110/35/10 kV.

Ključne riječi: akumulatorska baterija, ispravljač, istosmjerni napon, istosmjerni sustav, pomoćno napajanje sustava,

ABSTRACT

In my final paper, the auxiliary DC power supply system was processed, on the basis of which a calculation was made. Furthermore, the importance of the auxiliary system and the essential parts of the system such as the rechargeable battery and the rectifier were emphasized. The paper also describes the role of a rechargeable battery and lists the types of batteries that can be used in the system, and presents the procedure for determining the size of a rechargeable battery. The role of the rectifier and the method for rectifier elements dimensioning were also described. The paper describes the calculation procedure for the dimensioning of a rechargeable battery and rectifier for given data loads in a 48 VDC telecommunication system for a 110/35/10 kV electrical substation.

Keywords: auxiliary power supply system, direct current system, direct current voltage, rechargeable battery, rectifier

ŽIVOTOPIS

Stjepan Farkaš rođen je u Osijeku 3. kolovoza 1997. godine. Živi i odrasta u Josipovcu te pohađa Osnovnu školu "Josipovac" u Josipovcu. Nakon završetka osnovne škole 2012. godine odlučuje upisati Elektrotehničku i prometnu školu Osijek, smjer tehničar za mehatroniku, te ju završava 2016. godine. 2016. godine upisuje preddiplomski stručni studij elektrotehnike, smjer elektroenergetika na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku. Stručnu praksu odradio je u tvrtki Hrvatski operator prijenosnog sustava d.o.o. u prijenosnom području Osijek u sklopu fakulteta.