

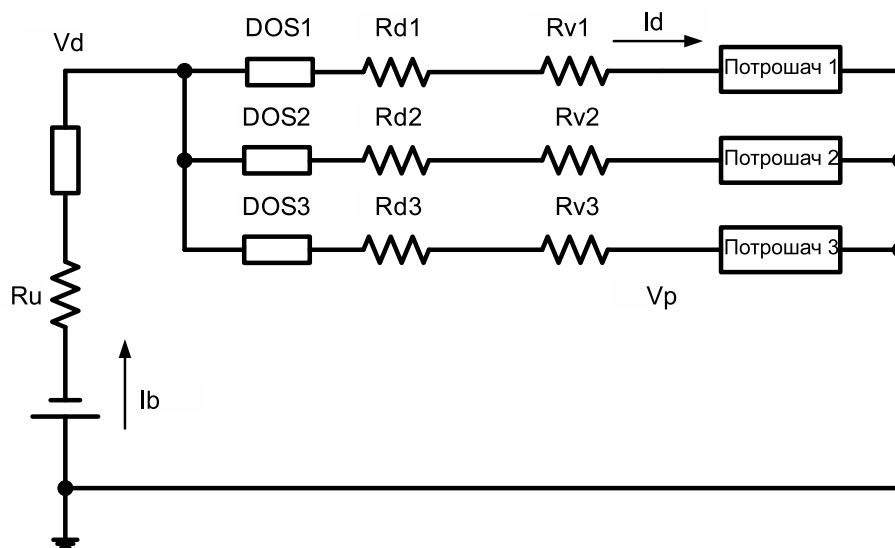
Основни начини за спречавање утицаја кратког споја на једном потрошачу на остале потрошаче система



Мај 2019

1 Увод

На сл.1 је приказан класичан систем дистрибуције са три "гране" преко којег се више потрошача везују на исто непрекидно напајање. На сваку грану може бити везано више потрошача под условом да сваки има уграђен свој (посебан) осигурач.



Сл. 1 Дистрибуција једносмерне струје у систему са непрекидним напајањем

За класичну дистрибуцију $R_d = 0$

За високоомску дистрибуцију R_d се пројектује

Као што је на сл.1 приказано у условима појаве кратког споја на потрошачу R_1 струја кроз ту грану је ограничена само отпором дистрибутивног вода и унутрашњим отпором батерије.

Унутрашњи отпор батерије није константан већ у значајној мери зависи од стања напуњености батерије, капацитета исте, температуре окружења и других параметара. Од највећег је утицаја стање напуњености батерије. Унутрашњи отпор најмањи кад је батерија пуна. Може се узети да је код нове, потпуно напуњене батерије струја до 100 пута већа од декларисаног капацитета у Ah. Нпр, ако се користи батерија од 100 Ah за израчунавање унутрашњег отпора може се узети да је струја кратког споја око 10.000A. Значи да је за батерију од 48V унутрашњи отпор износи $4.8\text{m}\Omega$. За рачунање унутрашњег отпора паралелно повезаних батерија примењује се Омов закон. Унутрашњи отпор нелинеарно расте када струја пражњења порасте преко вредности струје пражњења у десеточасовном режиму. У зависности од врсте батерије и стања напуњености унутрашњи отпор може да порасте и неколико десетина пута. Зато се за пројектовање обично узима десетострука вредност од најниже вредности тј. за наш пример $10 \times 4.8\text{m}\Omega = 48\text{m}\Omega$. У пројектовању важну улогу играју искуство пројектанта и добар увид у врсту и стање батерија.

Од битног значаја је и врста батерије, односно напон до кога батерија може да се испразни а да не дође до оштећења ћелија. За оловне батерије се обично узима да је пражњење дозвољено да напона од 1,7V по ћелији. Уколико напон падне испод минималне вредности активира се заштита од претераног пражњења која батерију одвоји од система. За батерије са 24 ћелије минимални напон износи $24 * 1.7 = 40.8\text{V}$.

Важан параметар је и минимални напон при коме напајана опрема још увек правилно ради. Код квалитетне опреме је уобичајено да је минимални радни напон једнак 70% од номиналног напона. Значи за систем са 24 ћелије, где је номинални напон 48V, минимални напон би требало да буде $48 * 0.7 = 33.6\text{V}$.

Наравно да је од битног значаја и отпор дистрибутивног вода који износи $R_d = \rho * l / S$. За пројектовање дистрибутивних водова обично

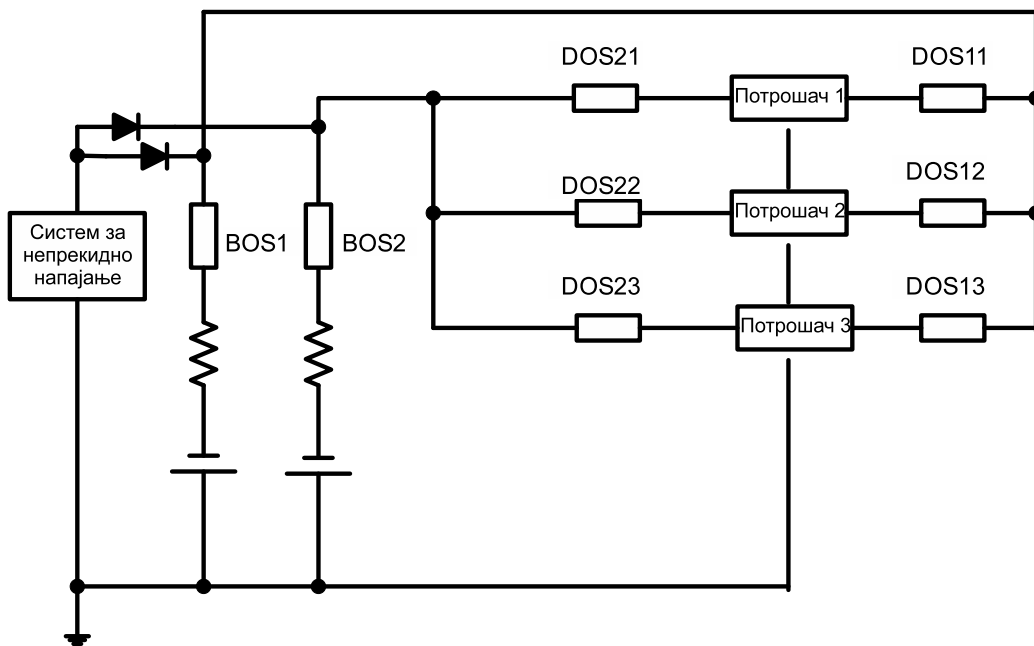
се узима да је густина струје $1\text{A}/\text{mm}^2$ с тим да ако су водови веће дужине од неколико десетина метара пројектант мора урадити проверу на загревање вода. Може се ићи и до густина струје од $10\text{A}/\text{mm}^2$.

Осигурачи у колима једносмерне струје по правилу реагују спорије од одговарајућих осугурача у колима наизменичне струје пре свега због стварања Волтиног лука у тренутку реаговања. Применом техника "развлачења" лука се постижу добри ефекти али је и поред тога реаговање осигурача споро и није добро ослонити се на разне врсте кондензатора ради "пеглања" напона у прелазним режимима иако се могу постићи нека побољшања.

У складу са претходним се примењују углавном два начина за заштиту остатка уређаја у систему у случају појаве кратког споја у једној од грана дистрибуције.

2 Удвојена дистрибуција

Највиша поузданост се постиже удвајањем дистрибуција (сл.2). Да би било могуће користити удвојену дистрибуцију неопходно је да сваки потрошач или група потрошача у систему има удвојено унутрашње напајање. За свако од удвојених локалних напајања се дистрибутивна струја води преко посебне дистрибуције са посебне батерије. Батерије су међусобно одвојене диодним прекидачем тако да пад напона на једној батерији не изазива пад напона на другој. Међутим и поред високе поузданости, због високе цене, принцип удвајања примењује се само када је потребна поузданост система таква да и висока цена има оправдања.



Сл.2. Удвојена дистрибуција једносмерне струје у систему са непрекидним напајањем

3 Високоомска дистрибуција

Најчешће коришћени систем са повећаном поузданости који се у жаргону назива и високоомска дистрибуција реализује се тако што се у дистрибутивним гранама струја ограничи на унапред задату вредност, тако да и у случају кратког споја на било ком потрошачу напон дистрибуције на осталим гранама остаје у дозвољеним границама.

У даљем тексту даћемо пример пројектовања високоомске дистрибуције.

На сликама и у тексту су коришћене су следеће ознаке:

R_u - унутрашњи отпор батерије

R_v - сопствена отпорност вода

R_d - додата отпорност гране

OS- осигурач

V_b - напон батерије

V_d - напон дистрибуције

V_p - напона на потрошачу

I_b- струја батерије
I_d- струја дистрибуције

3.1 Пример 1: Кратак спој на грани класичне дистрибуције

1. Максимална струја гране 10А
2. Дужина дистрибутивног вода 10m
3. Додатна отпорност у грани дистрибуције $R_d = 0$

Ако усвојимо да је дозвољена густина струје у воду $1\text{A}/\text{mm}^2$ следи да је неопходан пресек проводника 10mm^2 .

Следи да је отпорност предметног вода:

$$R_{v1} = \rho * l / S = 1.68 * 10^{-8}\Omega\text{m} * 10\text{m} / 10^{-5}\text{m}^2 = 16.8\text{m}\Omega$$

Струја кроз вод у случају кратког споја на крају вода (узимајући у обзир да је струја кратког споја кроз вод далеко већа од номиналних струја кроз остале водове) износи:

$$I_{ks1} = V_b / (R_u + R_{v1}) = 48 / (48 + 16.8) * 10^{-3} = 740.74\text{A}$$

У том случају је напон дистрибуције:

$$V_d = V_b - R_u * I_{ks1} = 48 - 48 * 10^{-3} * 740.47 = 12\text{V}$$

што је далеко мање од минималног улазног напона неопходног за рад напајане опреме (33.6V). Јасно је да у случају појаве кратког споја систем пада.

3.2 Пример 2: Кратак спој на истој грани (1) у варијанти високоомске дистрибуције

Разматрани параметри у примеру 1 и 2 се разликују само у томе да је убачена додатна отпорност (R_d) у разматраној грани дистрибуције.

Напон дистрибуције:

$V_d = V_b - R_u * I_{ks_1}$ следи:

Струја кратког споја сада је:

$$I_{ks_{1max}} = (V_b - V_{dmin}) / R_u = (48 - 40.8) / 48 * 10^{-3} = 150A$$

Потребна додатна отпорност фидрибуције:

$I_{ks_1} = V_b / (R_u + R_{v_1} + R_{d_1})$ следи:

$$R_{d_1} = V_b / I_{ks_1} - R_u - R_{v_1}$$

$$R_{d_1} = 48 / 150 - 48 * 10^{-3} - 16.8 * 10^{-3} = 201.2 \text{ m}\Omega$$

Усвајамо: $R_{d_1} = 0.2\Omega$

Уколико се у предметну дистрибутивну грану дода израчуната отпорност појава кратког споја на крају дистрибутивног вода неће изазвати испад осталих грана система за непрекидно напајање јер напон дистрибуције чак и у тим условима остаје у границама. Након дејства осигурача напон се враћа на номиналне вредности.

3.3 Провера вредности напона на потрошачима у осталим гранама система

Грана 2

Претпоставимо да је у грани 2 максимална дозвољена вредност струје 5А и да је дужина дистрибутивног вода 15m.

За усвојену густину струје од $1A/mm^2$ следи да отпорност вода 2 треба да буде:

$$R_{d_2} = 1.68 \Omega m * 10^{-8} * 15m / 5 * 10^{-6}m^2 = 50.4m\Omega$$

Ради једноставности узмимо да је додатни отпор дистрибуције једнак у свим гранама:

$$R_{d_1} = R_{d_2} = R_{d_3} = 0.2\Omega$$

Значи да је укупан отпор гране 0.25Ω

Пад напона при максималној струји гране:

$$U = 0.25 * 5 = 1.25V$$

Односно, напон на месту прикључења потрошача при максималној струји гране током кратког споја на грани 1 износи:

$$U_p = 40.8 - 1.25 = 39.55V$$

што је значајно више од дозвољеног минималног радног напона потрошача.

Еквивалентним поступком можемо проверити и ситуацију у трећој грани.

4 Закључак

Описан је принцип рада високоомске дистрибуције, дати су основни параметри за пројектовање као и примери поступка пројектовања.

Високомска дистрибуција омогућава да се по малој цени у потпуности елиминишу утицаји кратког споја у једној грани на остале гране дистрибуције.

Основни недостатак је да високоомска дистрибуција уноси у систем додатне губитке који последично доводе до смањења аутономије система за непрекидно напајање. Ови губици се крећу у оквирима неколико процената и у пракси не утичу битно на аутономију. Ово се лако показује рачунањем односа дисипиране енергије у додатним отпорностима дистрибуције у односу на укупну енергију акумулирану у батерији.

У правилно пројектованим системима са квалитетним акумулаторима смањење аутономије треба да буде до 1%.

Недостатак претставља и снага односно топлота која се дисипира у додатним отпорностима дистрибуције. Ова топлота мора бити "изнета" из система на неки од начина за хлађење отпорника и других елемената система што у неким случајевима може да утиче на повећање габарита дистрибуције.

У овом тексту није разматран утицај индуктивне компоненте дистрибутивних водова на прелазне појаве које настају у тренутку кратког споја јер су у високомској дистрибуцији исте наткритично пригушене и не

долази до напонских удара на прикључцима потрошача. У класичној дистрибуцији динамика прелазних појава може бити таква да доведе до испада потрошача и у гранама које нису у кратком споју па у најгорем случају и до пробоја у улазном степену неког од DC/DC конвертора.