

4. Напонски јами и прекини

Напонските јами и прекините се два аспекти на квалитетот на електричната енергија кои се тесно поврзани меѓу себе.

Напонска јама е краткотрајно (типично 0,5 до 30 циклуси) намалување на ефективната вредност на напонот која е предизвикана од грешки (куси врски) во енергетскиот систем и од стартирање на моќни потрошувачи какви што се големите мотори (кај големите мотори јамата моѓе да трае и до 4 секунди).

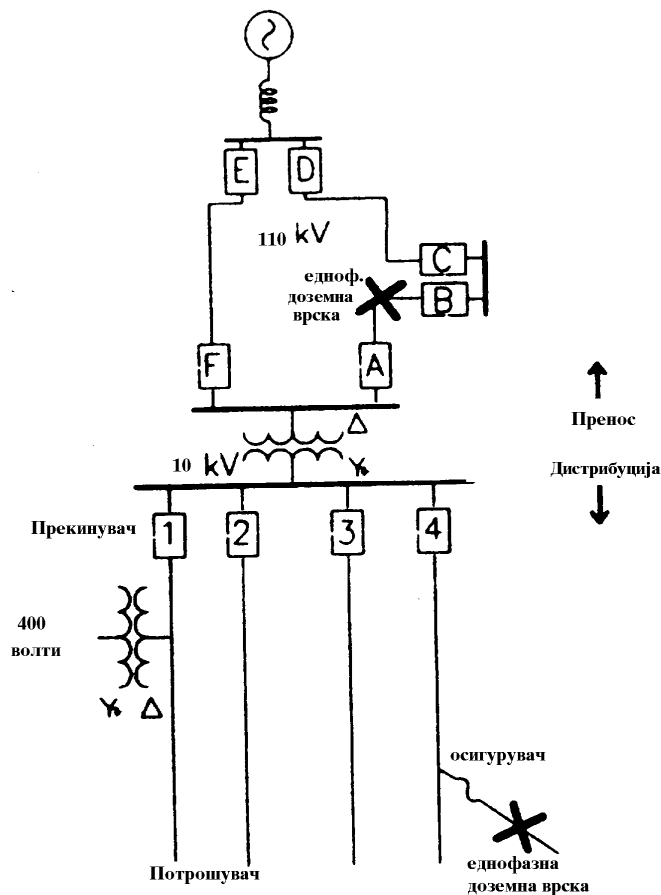
Моменталните прекини (типично со траење од 2 до 5 секунди) претставуваат целосно отсуство на напонот и се општа последица од акциите превземени од страна на дистрибуцијата за да се отстранат преодните (транзиентни) грешки во системот (одново под грешки разбираме куси врски).

Трајните прекини се прекини кои траат подолго од една минута и општо се причинети од траен тип на грешки (куси врски кои не може да се отстранат со некоја кусотрајна акција).

Во последно време дистрибуциите се соочуваат со зголемен број поплаки за лош квалитет на ел. енергија токму заради присуството на напонски јами и прекини. Има повеќе причини за ова, но најглавна е што се повеќе има корисници на ел. енергија кои поседуваат осетливи потрошувачи и тоа во сите сектори на потрошувачката (домување, комерцијални служби, индустриски погони). Главно е проширувањето на комјутерите и други видови електронски контролни апарати кои при јама или прекин се склони да ја загубат својата меморија односно да се ресетираат. Индустриските процеси кои се многу сложени и се раководат од комјутери исто така престануваат и им треба многу време повторно да се рестартираат, што е поврзано со големи загуби. Така не било во минатото, кога овие две појави едвај да се забележувале во процесот на производството.

4.1. Причини за напонските јами и прекините

Напонските јами и прекини општо земено се причинети од грешките (кусите врски) во енергетскиот систем. Да ја посматраме шемата од сл. 4.1 каде потрошувачот се напојува од гранката заштитувана преку прекинувачот 1. Ако настапи грешка токму на овој извод, потрошувачот ќе осети напонска јама за време на грешката проследена со прекин кога прекинувачот ќе се активира да ја прекине грешката. Ако грешката нема трајна природа, операцијата “повторно вклучување” на прекинувачот ќе биде успешна и прекилот ќе биде привремен. На прекинувачот обично му треба време од 5-6 циклуси за да прекине, за кое време трае напонската јама. Прекинувачот останува отворен за време од минимално 20 циклуси па се до 2 до 5 секунди, зависно како е наместена неговата автоматика од страна на дистрибуцијата и нејзината политика за автоматско повторно вклучување. Осетливите потрошувачи скоро сигурно ќе се исклучат автоматски за време на овој прекин.



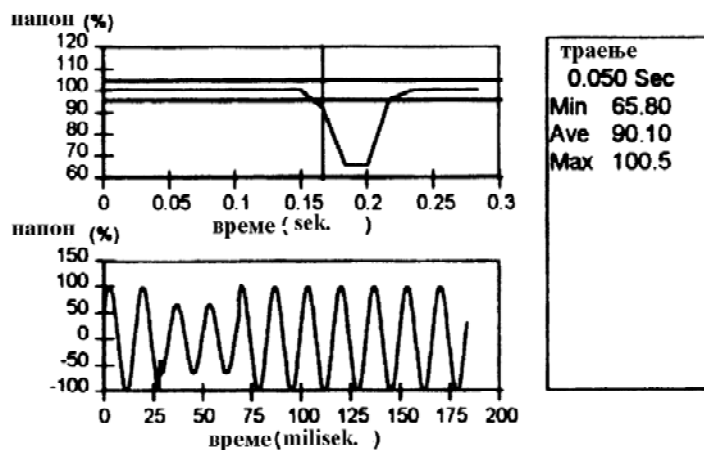
Сл. 4.1. Пример на дистрибутивен напоен систем со грешка фаза-земја која предизвикува напонска јама на потрошувачот.

Но најчесто грешка настанува некаде во некој друг извод од трафостаницата или пак грешката настанува во преносниот систем (види ги другите места на грешки на сликата 4.1) Во секој од тие случаи, клиентот ќе почувствува напонска јама за целото време додека грешката трае во системот. Откако соодветниот прекинувач ќе исклучи и ја отстрани грешката, на потрошувачот ќе се поврати нормалниот напоен напон.

На сликите 4.2 и 4.3 прикажан е интересен настан на грешка снимен со помош на модерна мерна опрема за снимање на промени на напонот во две локации на енергетскиот систем. Горниот дијаграм на секоја од сликите ја претставува ефективната вредност во зависност од времето, а долниот ги претставува првите 175 милисекунди на моменталната вредност во зависност од времето. Сликата 4.2 ја прикажува состојбата кај клиентот на делот од гранката која нема грешка. Сликата 4.3 го прикажува моменталниот прекин (всушност два одвоени прекини) подолу од грешката. Прекинувачот кој овде бил употребен бил во состојба да прекине многу

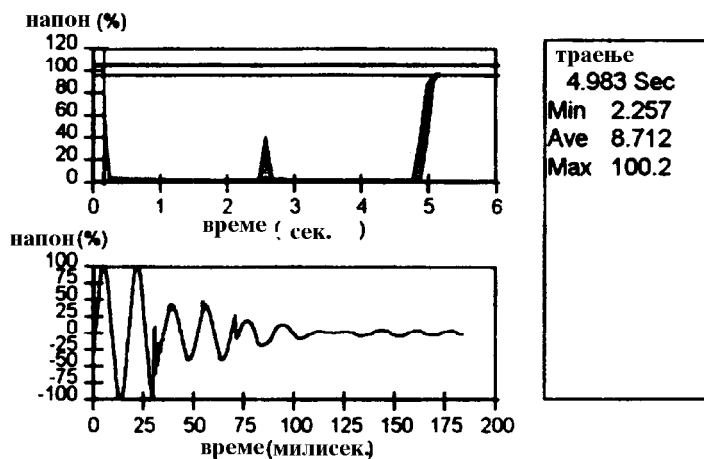
брзо, имено за време од 2,5 циклуси. Ваквите автоматски прекинувачи со автоматско повторно вклучување може да се нагодат да имаат различен циклус. Во овој случај тој е поставен на вообичаен начин да има две брзи операции и две одложени операции. На сликата 4.2 прикажана е состојбата само за време на првата брза операција. Настанува идентична јама и за време на втората операција. Иако тоа е многу кусотрајна јама која одвај се забележува како затреперување на осветлението, сепак многу индустриски процеси би се исклучиле бидејќи јамата достигнала длабочина од 65% од нормалниот напоен напон.

Промена на ефект. вр.



Сл. 4.2. Напонска јама за време на куса врска на паралелна напојна гранка

Промена на еф. вред.

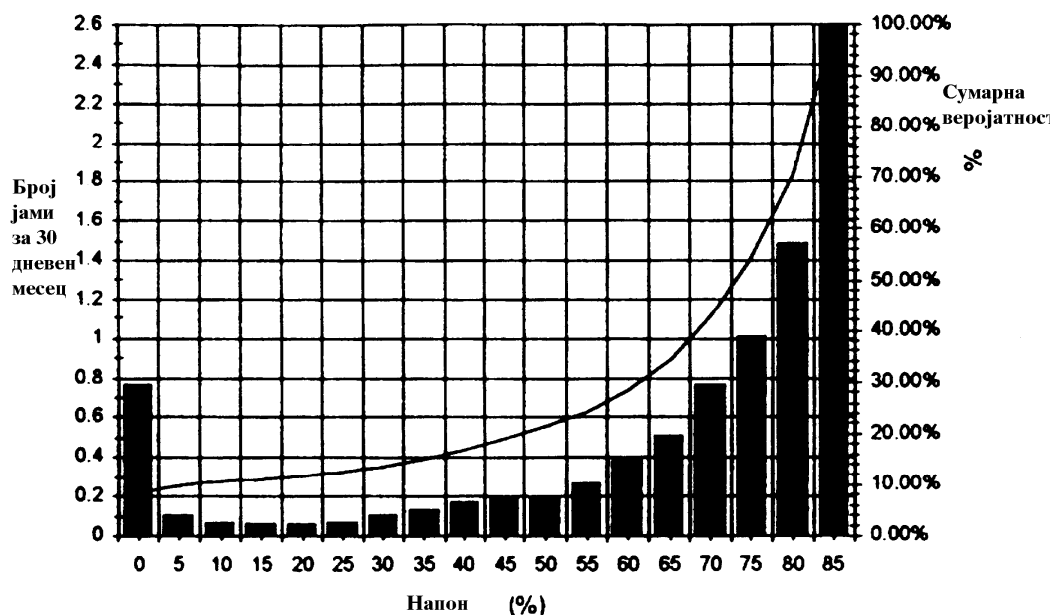


Сл. 4.3. Краткотрајна куса врска со две брзи операции на исклучување на дистрибутивниот прекинувач.

На сликата 4.3 јасно се гледа дека постои напонска јама пред да делува прекинувачот и двете последователни делувања на повторно вклучување. Времето на повторното вклучување (времето додека прекинувачот стои отворен) е нешто повеќе од 2 секунди, кое време е вообичаено за вакви прекинувачи. Веројатно се работело за грешка предизвикана од гранки од дрво навлезени меѓу фазите и затоа грешката не се

отстранила со првата операција и била потребна втора. Системот се воспоставил во нормална работа после втората операција.

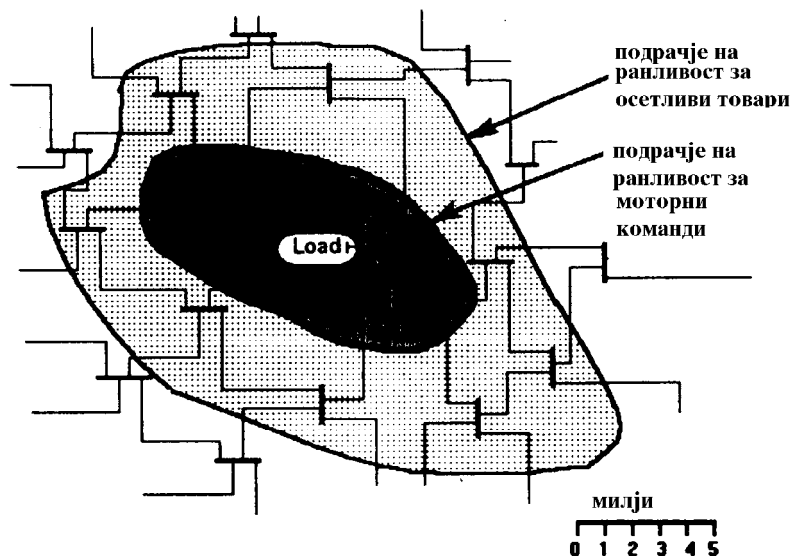
На сликата 4.4 се гледаат податоци од напонски јами типични за дистрибуциите во САД. Столбестиот дијаграм претставува просечен број настани за 30 дневен месец во кој напонските јами биле со обележениот износ (мерењето траело 9 месеци). Полната линија на дијаграмот ја претставува кумулативната веројатност дека даден настан е со напон помал од покажаниот. Вистинските прекини се претставени со столбот кај нулти напон. Според овие податоци, приближно 10 проценти од сите настани кои даваат напон помал од 90 проценти се прекини. Остатокот се напонски јами со различна длабочина предизвикани од грешки настанати некаде на друго место во системот. Средниот напон на јамата е 75 проценти.



Сл. 4.4. Типична стапка на настанување на напонски јами во САД за 9 месечен период.

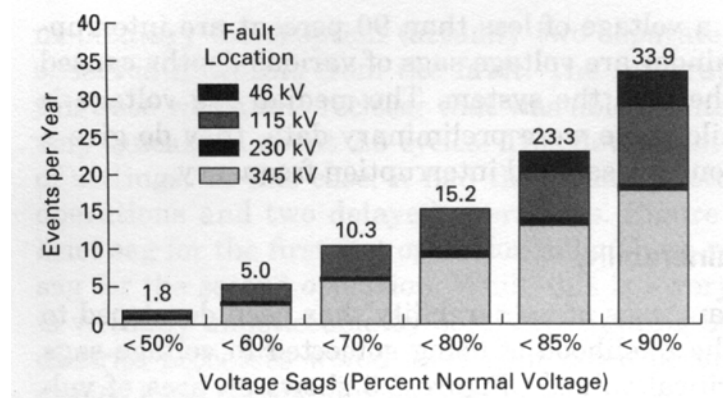
4.2. Подрачје на “ранливост”

Поимот “подрачје на ранливост” се појавил за да се помогне при оценката за веројатноста да се јави напонска јама подлабока од критичната вредност. Подрачјето на ранливост би го дефинирале како геометриско место на точки во мрежата во кои нсдтануваат грешки (куси врски) кои даваат јами со дадена длабочина. На сликата 4.5 се гледа еден дијаграм на ранливост за еден индустриски потрошувач напојуван од преносна собирница. Очекуваните својства на напонските јами се определени со симулации со цел да се одреди напонот на потрошувачот како функција од местото на грешката во системот. За секое ниво на јама има друго подрачје на ранливост. Сликата покажува дека ова подрачје зависи од осетливоста на потрошувачите. Контактите кои испаѓаат при 50% напон би имале релативно мало подрачје на ранливост, додека погоните со регулирана брзина (ASD) кои испаѓаат при 90% напон, би биле осетливи во многу широко подрачје во преносниот систем.



Сл. 4.5. Илустрација за поимот „подрачје на ранливост“, во преносен систем. Во средината на подрачјето се наоѓа потрошувачот чија “ранливост” се оценува. Заворената крива линија е местоположбата на кусата врска во мрежата која предизвикува јама со длабочина која е фатална за потрошувачот или некој негов дел.

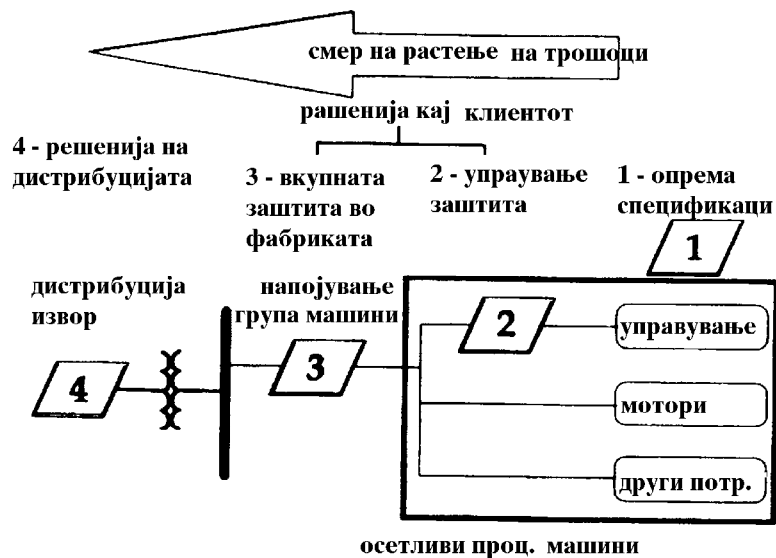
Ако се располага со историски податоци за бројот на грешки годишно по 100 км од водовите, истиот податок може да се искористи за да се одреди бројот на јами годишно кои би се почувствувале со големина под одредената. Така може да се добие дијаграм како на сликата 4.6 во кој се дадени напонските јами според нивната големина (напонско ниво на водот со грешка) и причината. Ваква информација може да му послужи на крајниот корисник за да ја определи потребата од опрема за подобрување на квалитетот на електричната енергија кај осетливите потрошувачи во своите погони.



Сл. 4.6. Проценети износи на напонски јами кај клиентот во функција од напонското ниво и длабочината на јамата

4.3. Основни принципи на заштита

Може да се преземат различни чекори од страна на дистрибуцијата, крајниот корисник и производителот на опремата за да се намали бројот и длабочината на напонските јами и да се редуцира осетливоста на опремата на напонски јами. На сликата 4.7 прикажани се можните решенија и нивното релативно финансиско чинење.



Сл. 4.7. Пристап кон решение на “преживување” на јамата

Како што се гледа на сликата, решавањето на проблемот е толку поевтино, колку се оди на пониско ниво, односно поблиску до самиот потрошувач. Колку се оди со решенија на повисоко ниво на моќноста која се подобрува, толку решението е поскапо. За крајниот корисник обично е најевтино да му специфицира на неговиот доставувач да изработи машина која е способна да „преживее” јама со дадено траење. Многу добавувачи можат да ја обезбедат таа способност доколку тоа однапред им се нарача. На наредното, повисоко ниво, може да се применат UPS (Uninterruptable Power Supplies, или непрекинати напојувачи со напон) системи или некои други уреди за подобрување (кондиционирање) на доведената електрична енергија и тоа до управувачкиот дел од машината. Тоа е можно ако самата машина може да ја преживее јамата, но управувањето би предизвикало исклучување (под управување ја разбираме контролната електроника, таа обично троши релативно мала моќност, па полесно е за неа да се набави UPS).

Веќе на третото ниво, треба да се обезбеди некој вид резервно напојување со моќност, такво кое би било во состојба да го напојува потрошувачот за некој кус временски период. Нивото 4 ги претставува промените кои треба да ги направи дистрибуцијата во својот систем за да се намали бројот на јами и прекини.

4. 4. Решенија кај крајниот корисник

За да преживее ваква незгода, потрошувачот би требало да има некој систем кој би се активирал во време од околу една половина циклус и би обезбедил приближно нормално напојување со моќност за време од неколку секунди додека не се воспостави нормалниот напоен напон. За ова е потребно или постоење на извор со акумулирана енергија или некој алтернативен извор на енергија. Овие уреди мора да бидат во состојба или да се вклучат во многу кусо време, или постојано да се вклучени (on line).

Се разбира, заради економски причини, заштитата ќе се ограничи само на најкритичните потрошувачи на фабриката. Најчесто, критични се некои електронски контроли или компјутери и вообичаените познати UPS системи ќе бидат употребени за решавање на овој проблем. Но најновите напори одат кон тоа целата фабрика да може да се напојува за време на прекилот. Ова довело до развитокот на високенергетски резервоари, какви што се **суперпроводливите акумулатори на енергија** (Superconducting Storage Device, SSD), а многу брзи превклучувачи може да го префрлат напојувањето кон алтернативното за време од неколку милисекунди. Уредите SSD може да „пребродат“, прекини од најмалку 2 секунди. Уредите кои работат на еднонасочна струја какви што се телефонските системи бараат многу моќни UPS системи, така што тие треба да останат вклучени се додека не се активира резервниот генератор, на пример дизел - електреичен агрегат (stand by generation).

Во овие уреди за заштита од јами и прекини, би ги наброиле **ферорезонантниите трансформатори, UPS системите и магнетните синхронизатори**. Постојат два главни типа на UPS и тоа: On- line и standby (во превод: „постојано вклучени, и „во резерва,“). Овие уреди може да се користат за подолготрајни прекини и до 15 минути. Има и т. н. хибридни UPS, кои се користат за подолготрајни прекини. **Моќор-генераторскиите групи и UPS со замајни маси** исто така се погодни за подолготрајни прекини. SSD пак, погодни се за куси прекини, до 2 секунди или помалку.

4.4.1. Ферорезонантни трансформатори

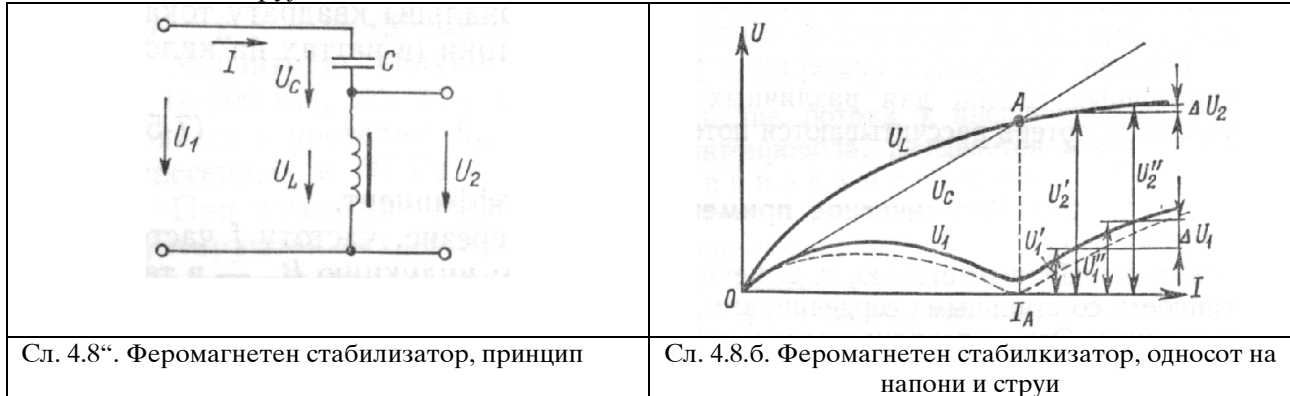
Ферорезонантните трансформатори (FRT) се познати и како трансформатори со константен напон на излезот. Тие може да се борат со многу услови на напонски јами. Тие се особено zgodни за константни и малкумоќни потрошувачи. Потрошувачи кои се со променлив товар и кои повлекуваат голема струја на вклучување предизвикуваат проблеми на ферорезонантните трансформатори, бидејќи нивното излезно коло е нагодено.

За да го сфатиме принципот на овие апарати, да погледаме едноставен случај како следува:

Наједноставен феромагнетен стабилизатор за неизменичен напон претставен е на сл. 4.8“.

Неговата задача е на излезните стегалки да даде мало варирање на напонот U_2 и при релативно големи промени на влезниот напон U_1 . Стабилизаторот се состои од сервиска врска на кондензатор и феромагнетна придушница (индуктивитет). Напонот на кондензаторот U_c

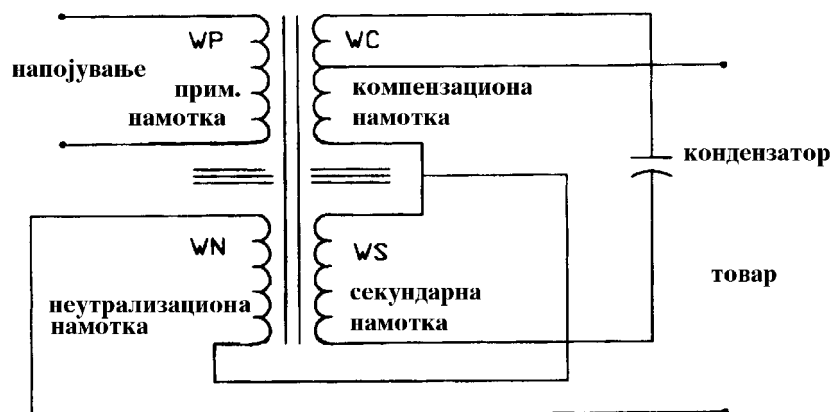
пропорционален е на струјата I во колото, а напонот на индуктивитетот U_L - на магнетниот флуks во јадрото. На сликата 4.8б претставена е зависноста на напоните U_L и U_c во зависност од струјата I .



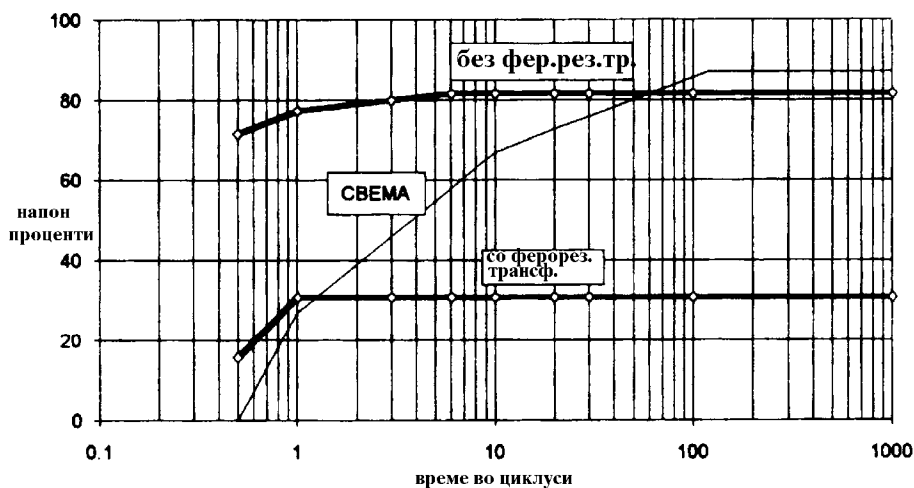
Додека зависноста на U_c е линеарна, зависноста на U_L е нелинеарна и изгледа како основната крива на магнетизирање на феромагнетното јадро. Бидејќи напоните U_L и U_c се спротивни по фаза, и напонот на влезот е нивната геометриска сума (односно алгебарска разлика) $|U_1| = |U_L - U_c|$, ако се занемарат активниот отпорности во колото. На сликата 4.8б се претставени сите напони, а со црткана линија е напонот U_1 ако нема активните отпори. Во точката A постои резонанција. Во подрачјето $I < I_A$ режимот е индуктивен и тоа подрачје не се користи. Како работно подрачје се користи подрачјето $I > I_A$ (капацитивен режим). Од сликата гледаме дека и при големи промени на влезниот напон $\Delta U_1 = U_1'' - U_1'$, се добива мала промена на излезниот напон $\Delta U_2 = U_2'' - U_2'$. Ваквите стабилизатори се изведуваат со мала моќност бидејќи загубите им се релативно големи *бидејќи и без приклучен потрошувач, мора да тече голема струја во колото, така што се наоѓаме во работна точка дрсно од A). На сликата 4.8 е дадена посложена шема, чија функција овде нема да ја објаснуваме.

FRT се трансформатори со однос на трансформација 1:1 но кои работат во заситен режим (високо поставен точка на кривата на магнетизирање) и на тој начин даваат излезен напон кој не е повлијаен од варијациите на влезниот напон. Типично коло на FRT е дадено на сликата 4.8 (еднофазна верзија). На сликата 4.9 прикажана е карактеристиката на совладување на напонските јами. На дијаграмот е нанесена и кривата СВЕМА. Според овој дијаграм, гледаме дека еден процесен контролер може да „преживее“, и при напонска јама длабока до 30 проценти од номиналниот напон, ако FRT е со моќност од 120 VA, за разлика од состојба без FRT, каде границата е 82%.¹ За одбележување е дека после одредено ниво на јамата, карактеристиката понатаму оди хоризонтално. Тоа е затоа што во примерот се работи за процесен контролер кој зема мала моќност од само 15 VA.

¹ Примерот е земен од америчка литература, затоа на ординатата номиналниот напон е 120 V.



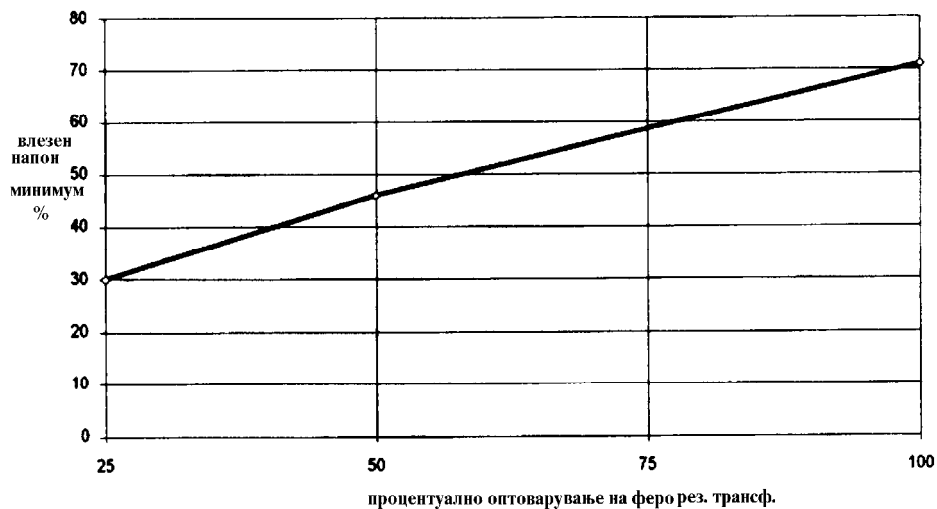
Сл. 4.8 Ферорезонантен трансформатор



Сл. 4.9 Поправање на напонската јама со помош на еден ферорезонантен трансформатор

Ферорезонантните трансформатори треба да се димензионираат 4 пати посилено од товарот кој ќе го напојуваат. На сликата 4.10 прикажана е дозволената напонска јама како процент од номиналниот напон во однос на товарот на FRT, според податоците на еден производител.

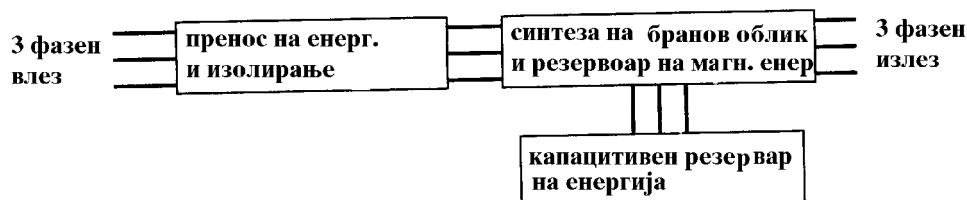
При товар од 25%, допуштената напонска јама е 30% од номиналниот напон, што значи дека FRT ќе обезбеди повеќе од 90% од нормалниот напон ако влезниот напон е над 30 проценти. Ова е битно, бидејќи напојниот напон ретко се спушта под 30% од номиналниот во случај на напонска јама. Ако оптоварувањето се наголеми, способноста за "преживување" се намалува и ако FTR е претоварен (на пример 150% товар) напонот ќе падне до нула.



Сл. 4.10 Зависност на напонската јама од оптоварувањето кај еден ферорезонантен трансформатор

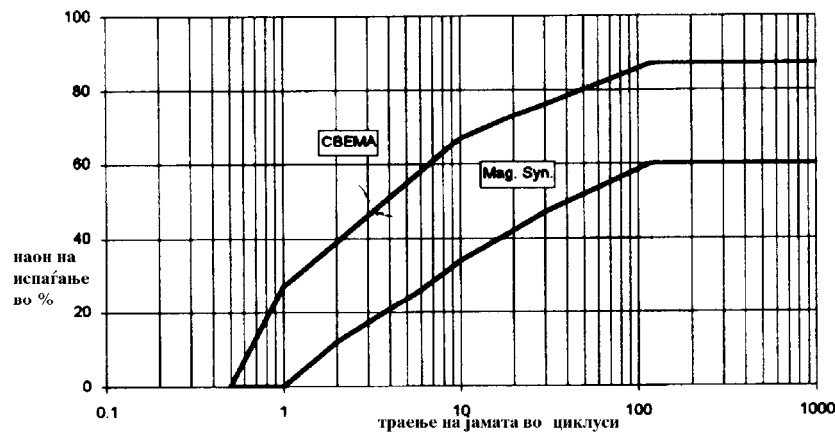
4.4.2. Магнетни синтетисајзери

Магнетните синтетисајзери (MS) општо земено се користат за поголеми товари. Товарите мора да бидат неколку киловолтампери за да бидат тие апарати ефективни. Обично се користат за поголеми компјутери и други електронски уреди кои се осетливи на калитетот на напојниот напон.



Сл. 4.11. Блок дијаграм на еден магнетен синтетисајзер

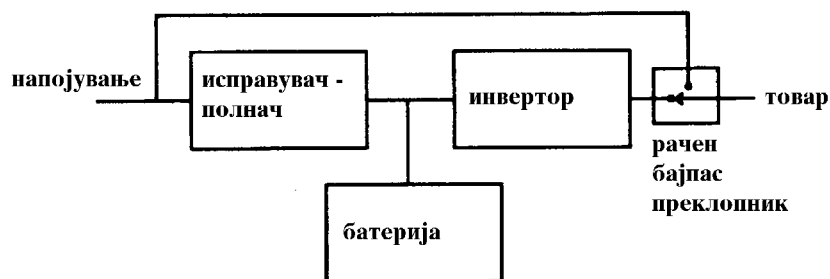
MS е електромагнетен уред кој ја трансформира влезната електрична моќ и оддава на својот излез чист трифазен синусоидален напон без разлика на напонот на влезот. Блок дијаграм на MS е даден на сликата 4.11. Преобразбата на енергијата и изолацијата од напојниот вод се обавува преку нелинерани придушници. На тој начин се сузбива влезниот шум. Излезниот наизменичен напон се гради со комбинирање на поединечни напонски импулси предизвикани од заситени трансформатори. Енергијата се складира во заситени трансформатори и кондензатори во форма на струја и напон. Ваквата енергетска резерва овозможува чист излезен напон без хармоници. На излезот трифазниот напон се оддава преку еден трансформатор во врска со скршена ѕвезда. На сликата 4.12 прикажана е способоста за „преживување“, на напонска јама споредена со кривата СВЕМА според еден производител на MS.



Сл. 4.12. Карактеристика на можноста за “преживување” на еден магнетен синтетисајзер

4.4.3. UPS под напон (тип “on line”)

На сликата 4.13 прикажан е еден UPS приклучен “под напон” (“on line”). Во оваа шема товарот секогаш се напојува од мрежата преку UPS. Влезната наизменична моќност се претвора во еднонасочна, која ги полни акумулаторите. Оваа еднонасочна моќност пак се претвора во наизменична и така го напојува потрошувачот. Ако исчезне влезната моќност, инверторот се напојува од батерија и продолжува да го напојува потрошувачот. Не само што ваков UPS безбедува „премостување“, на напонски прекини, туку обезбедува и висок степен на изолација на критичните товари од секаков вид смеќавања кои идат од мрежата. Но сепак, овој начин има мана што уредот е доста скап и предизвикува енергетски загуби.



Сл. 4.13 “под напон” UPS



Сл. 4.14 UPS во резерва (“stand by”)

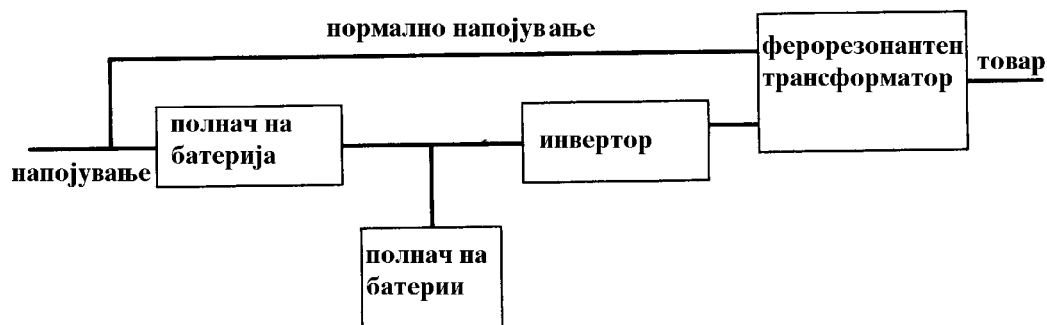
4.4.4. UPS во резерва (“stand by”)

UPS во резерва (слика 4.14) всушност е „исклучен„ UPS, бидејќи товарот нормално се напојува од мрежата се додека не се случи некое пореметување во мрежата и тогаш UPS автоматски се вклучува да го напојува потрошувачот. Овде е битно времето на превклучување од мрежно напојување кон напојување од UPS. Кривата СВЕМА покажува дека времето од 8 милисекунди е најниската граница за можноста за „премостување“ за одговорните потрошувачи. Според тоа, време за превклучување од 4 милисекунди би обезбедило продолжителност на работата за критичните потрошувачи. UPS во резерва обично не обезбедува заштита од транзиенти и не овозможува регулирање на напонот како што та го прави UPS од типот „on line„.

При спецификации за потребниот UPS битни се моќноста во kVA, динамичката и статичка регулација на напонот, хармоничното изобличување на излезната струја и напон, заштита од импулси и од шум. Спецификацијата треба да покаже и под кои испитни услови овие спецификации се во сила.

4.4.5. Хибридни УПС

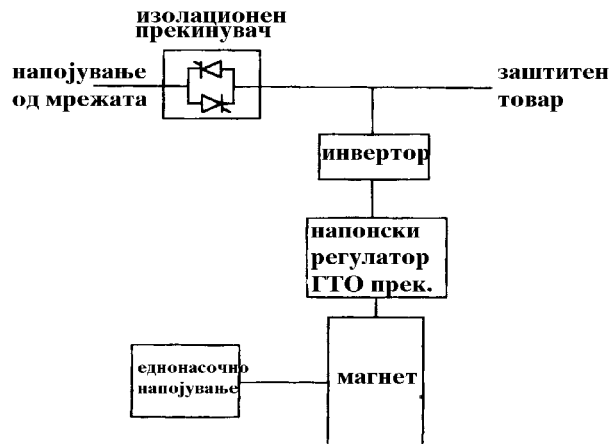
Овие се по својата конструкција слични на UPS во резерва (сл. 4.15) но на излезот имаат напонски регулатор и можност за моментално „премостување“ кога се префрлаат од начин „нормално“ кон UPS напојување.



Сл. 4.15. Хибриден UPS

4.4.6. Мотор - генераторски групи

Мотор генераторските групи (MG) ги има во многу различни величини и конфигурации. Еден типичен вид се оние кои содржат асинхрон мотор напојуван од мрежата кој задвижува синхрон генератор која дава константен напон и фреквенција на својот излез независно од брзината со која се врти. Тој дава константен напон благодарение на регулацијата на возбудата на магнетното поле на роторот од синхрониот генератор. Може и да се менува бројот на полови. Константниот напон се одржува се додека роторот се врти при брзини од 2625 до 3000 вртежи во минута. На осовината може да има и додатен замаец со цел вртењето да продолжи колку е можно подолго и по исклучувањето на напојниот напон, но може и самиот ротор да има доволна инерција како би се обезбедила излезна моќност во наредните 15 секунди под полн товар.



сл. 4.16. Еднополна шема на суперспроводлив акумулаторски уред

4.4.7. Суперспроводливи акумулатори на магнетна енергија (SMES, Superconducting magnetic energy storage device)

Уредот од типот SMES користи еден суперспроводлив магнет (сл. 4.16) како акумулатор на магнетна енергија исто како што UPS користи батерии. SMES се изведува со енергија од 1 до 5 MJ и тогаш се вика микро - SMES, за да се разликува од слични уреди со поголема сила. Предноста на микро- SMES е што зафаќа мало место за магнетотот во споредба со батериите. Има и помалку поврзувања и доверливоста му е поголема а одржувањето помало. Досега се реферира многу успешна примена на овие уреди.

4.4.8. Спецификации на опремата за крајниот корисник

Друг начин за борба со напонските јами кај крајниот корисник е преку внимателно специфицирање на нарачаната опрема. Тоа значи да се избегнува користење на проблематична опрема, или во најмала рака, да се идентифицираат барањата кон опремата во поглед на подобрувањето на квалитетот на ел. енергија. Еве неколку идеи за прашањата на кои треба да се внимава при нарачката на опрема за да се ублажи проблемот со напонски јами.

1. Производителите на опрема треба да имаат за своите уреди криви на способноста за преживување на напонски јами (слични на онаа покажана погоре) и да ги приложат на своите клиенти со цел да се направи почетна оценка на опремата. Самите клиенти треба да си бараат вакви податоци.
2. Компанијата која набавува нова опрема треба да утврди процедура за класифицирање на одговорноста на опремата. Ако опремата е критична, треба да се осигура дали соодветна способност за „преживување“, е вклучена кога се набавува таа опрема. Ако пак опремата не е критична и важна, и не предизвикува големи прекини во производството или не ја нарушува безбедноста на луѓето, веројатно заштитата од напонски јами не се исплатува.

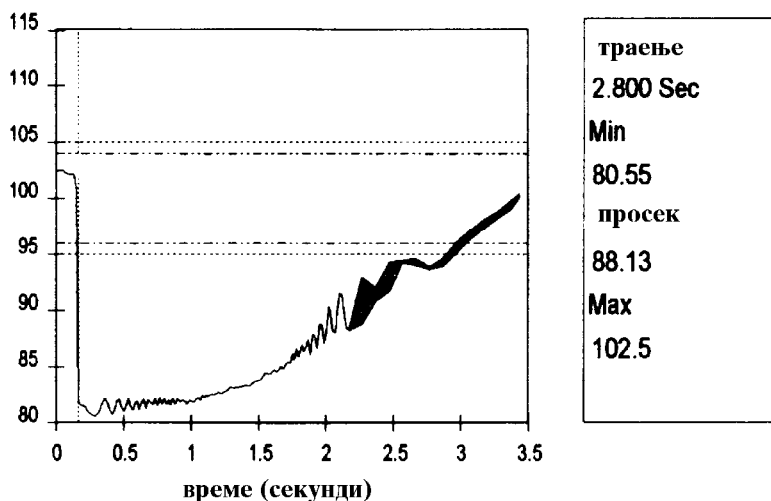
3. Бидејќи веројатноста за појава на напонска јама до 70% или помалку во однос на номиналниот напон е мала во однос на јама до 90 % или помала, има смисла горната граница за способноста за преживување да се специфицира некаде меѓу 70 и 75 проценти. Пондеално би било околу 59%.

4.5. Напонски јами заради стартирање на големи мотори

Моторите имаат една неповолно својство што при пуштањето во работа повлекуваат неколку пати посилна струја од номиналната (и до 7 пати). Таква струја течејќи низ импедансата на системот ќе предизвика напонска јама која се забележува преку затемнување на светилките, испаѓање на контакторите од погон и прекин на осетливата опрема. Состојбата е уште повеќе влошена со фактот што факторот на поместувањето $\cos\phi$ е низок, обично 15 до 30 проценти (резултира во слаб механички момент)

Времето кое му е потребно на моторот да се разврти до полна брзина зависи и од длабочината на напонската јама која се предизвикува, па така многу длабока јама може да предизвика неуспешно стартирање на моторот (Заштитата предвремено ќе го исклучи). Напонските јами заради овие причини траат повеќе секунди, како што тоа се гледа од сликата 4.17.

напон на фазата
А - Б, еф. вред.



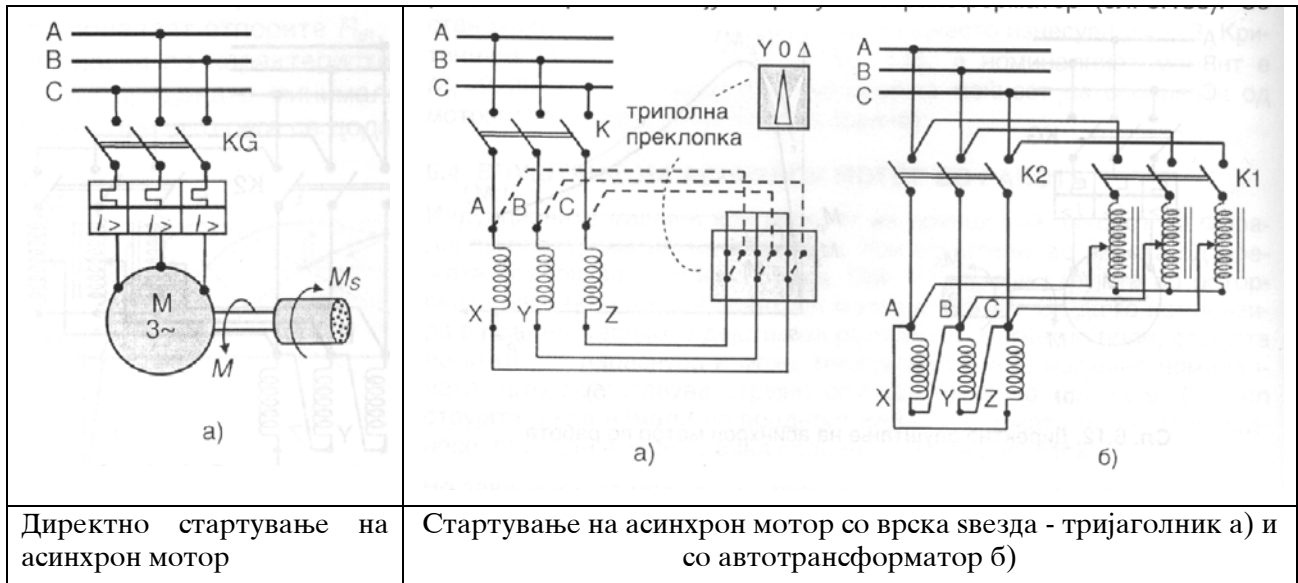
Сл. 4.17. Типична напонска јама заради стартирање на мотор.

4.5.1. Методи за стартирање на големи мотори

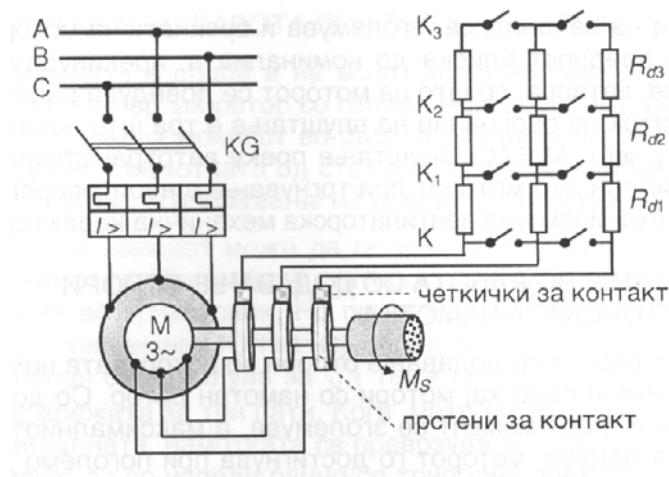
Ако моторот се **стартира директно** наеднаш при номинален напон ќе се обезбеди најевтино и најбрзо стартирање, но можните последици се премногу длабока напонска јама или механичко преоптоварување на моторот.

Стартување со автотрансформатор. Постојат отцепи за добивање на напони од 80, 65 или 50% од напојниот напон за време на стартувањето. Линиската струја и стартниот

момент варираат со квадратот на напојниот напон, така што 50% напон би резултирал со 25% стартна струја и момент. Се одбира оној најнизок отцеп кој обезбедува потребен стартен момент.



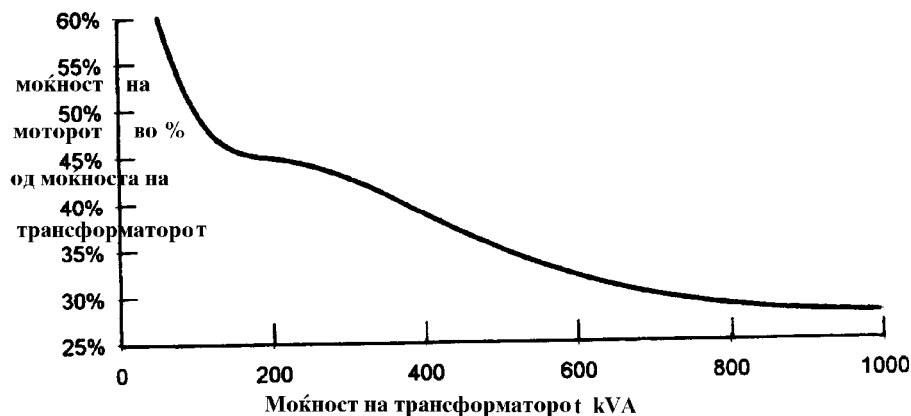
Стартери со сериски вклучени индуктивитети или отпорници. (не е приложена слика) Овие елементи во почетокот се вклучени во серија со моторот при стартирањето. После извесно време тие се исклучуваат - премостуваат. Отпорниците за стартирање може да се премостуваат по сегменти, а реакторите наеднаш. Линиските струи и стартните моменти варираат право пропорционално со напонот приложен на моторот, така што за даден напон на стартирањето, овие стартери повлекуваат посилен струја од водот отколку со автотрансформаторски стартери, но даваат посилен стартен момент. Реакторите имаат типично отцепи на 50, 45 и 37,5%.



Стартување со роторски впуштач (активен отпор во роторската намотка)

Стартирање со ротоски впуштач. Во роторското коло се вклучува активен отпор додека трае процесот на пуштање, кој полека сегментирано или континуирано се намалува додека моторот се развртвса за на крајот сосема да се пратко спои. Роторскиот отпорник кај посилните мотори е изведен како воден отпорник.

Тријаголник - звезда стартери го сврзуваат статорот во звезда при стартирањето, а после извесно закаснување, ја преврзуваат намотката во тријаголник. Во врската звезда напојниот напон кој се доведува на секоја фазна намотка е 57% од линискиот напон (фаза-фаза). Стартната струја и момент се намалени до 33% од нивните номинални вредности.



Сл.4.18. Типичен однос на моќностите на трансформаторот и моторот кои предизвикуваат напонска јама од 90 проценти при директно стартирање

“Меко” стартирање. Овој начин се остварува со напојување на моторот преку енергетски преобразувач базиран на енергетската електроника (тиристори) со кое се врши регулирање на доведениот напон. Често пати тоа е составен дел на енергетскиот претворувач преку кој се напојува асинхронниот мотор.

4.5.2. Одредување на длабочината на јамата при директно стартирање под полн напон

Како што се гледа од сликата 4.17 директното стартирање на асинхрон мотор предизвикува длабока јама со последователно повраќање на напонот. При стартирање под полн напон се јавува напонска јама во единични вредности според следната равенка:

$$U_{\min} = \frac{U(pu)S_{KV}}{S_{ZR} + S_{KV}}$$

каде е: $U(pu)$ актуелниот напон на напојување на моторот во единични вредности;

S_{ZR} моќноста на моторот при закочен ротор;

S_{KV} моќноста на куса врска во местото на приклучување на моторот.

Сликата 4.18 дава една примена на горната равенка ако напонската јама се ограничи на 90% од номиналниот напон, користејќи притоа типични износи на импедансата на мрежата и на моторот.

Ако резултатот испадне над минимумот кој е дозволен за устален напон за опремата која е загрозувана, тогаш стартирањето под полн напон е дозволено. Ако пак не е, потребно е да се направи споредба на длабочината на јамата зависно од времетраењето, со анвелопата на напонска толеранција за загрозуваната опрема. Бараните пресметки се доста сложени, и најдобро е да се спроведат со компјутерски програм за стартирање на мотор или општ компјутерски програм за преодна анализа. За симулацијата потребни се следните податоци:

Параметрите на стандардното еквивалентно коло за еден индукционен (односно асинхрон) мотор а тоа се:

- R_1 и X_1 , отпорноста и индуктивноста за директниот систем, R_2 и X_2 , -отпорот и индуктивитетот за инверзниот систем, и реактансата на магнетизирање X_m .
- Бројот на полови и номиналната брзина (или лизгањето);
- DG^2 (константата на инерција) за моторот и товарниот механизам;
- Зависноста на моментот од брзината за товарниот механизам. (на пример, кај вентилаторите моментот M е пропорционален со n^3).

4.6. Проблематика на исклучување на кусите врски во дистрибуцијата

Дистрибуцијата може многу да направи со активностите со кои ги спречува грешките (кусите врски). Со ваквите активности таа не само што ја зголемува квалитетот на услугата на своите клиенти, туку ги спречува и скапите дефекти на својата опрема. Во овој смисол дистрибуцијата има две принципиелни можности за акција и тоа:

1. Да ги спречи кусите врски (превентивни мерки);
2. Да ја промени својата практика во однос на начинот на исклучувањето на кусите врски.

Превентивните мерки за спречување на кусите врски опфаќаат поткастрување на околните дрвја околу водовите, додавање на одводници за пренапони по водовите, миење на изолаторите, заштитни мерки од пристап на животни кон водовите. Нереално е да се очекува дека изолацијата на преносните водови на дистрибуцијата ќе ги издржи сите удари на молњата. Сепак, секој вод кој покажува претеран број на исклучувања заради молњи, треба да се подвргне на детално студирање. Можеби треба да се студира можноста за заклонување (поставување на т.н. земјоводни јажиња) за да се спречат директните удари во фазните проводници. Истражувањето на заземјувањата на столбовите помага да се утврди степенот на загрозуваност од обратни прескоци од заштитниот кон фазниот проводник. (тој отпор пожелно е да е што помал, што може да се постигне со дополнителни мерки).

Подобрувањето во праксата на исклучувањето на кусите врски може да опфати поставување на прекинувачи со автоматика за повторно вклучување, отстранување на

брзото исклучување, додавање на јамки, преиначување на напојувањето. Ваквите акции може да делуваат на бројот и/или на траењето на моменталните прекини и напонски јами, но треба да се запомни дека кусите врски во напојниот систем никогаш не може сосема да се елиминираат.

4.6.1. Принципи на прекуструјната координација

Битно е да се знае постапката со која дистрибуцијата ги отстранува кусите врски. Постојат одредени физички ограничувања при исклучувањето на кусите врски и повторно воспоставување на напонот. Ова поставува одредени минимални барања на потрошувачите за кои се очекува да преживеат вакви настани без прекин во нивното работење. Некои зафати за подобрување на квалитетот на ел. енергија полесно е да се спроведат на страната на дистрибуцијата одошто на страната на потрошувачот. Затоа, ќе ја посматраме праксата на отстранувањето на кусите врски и од аспектот на потрошувачот (и конструкторот на опрема) и од аспектот на еден дистрибутивен инженер.

Треба да знаеме дека има два основни вида на куси врски:

1. Транзиентна (привремена) куса врска. Ова се кусите врски кои настануваат при прескоци (низ воздухот или по површината на изолаторите) на надземните водови и при кои не настанува трајно оштетување на изолацијата на системот. Напојувањето може одново да се воспостави штом лакот на кусата врска се изгасне. Ова може да се постигне преку исклучување со помош на прекинувачите по автоматска постапка за време од неколку секунди. Некои од транзиентните куси врски се самогаснечки.
2. Трајни куси врски (грешки). При овие куси врски настанува трајно физичко оштетување некој елемент на изолацијата на системот кој бара интервенција на персоналот кој го одржува водот и поправка. Крајниот корисник сега трпи прекин на снабдувањето кој може да трае од неколку минути па до неколку часови.

4.6.2. Релејна заштита

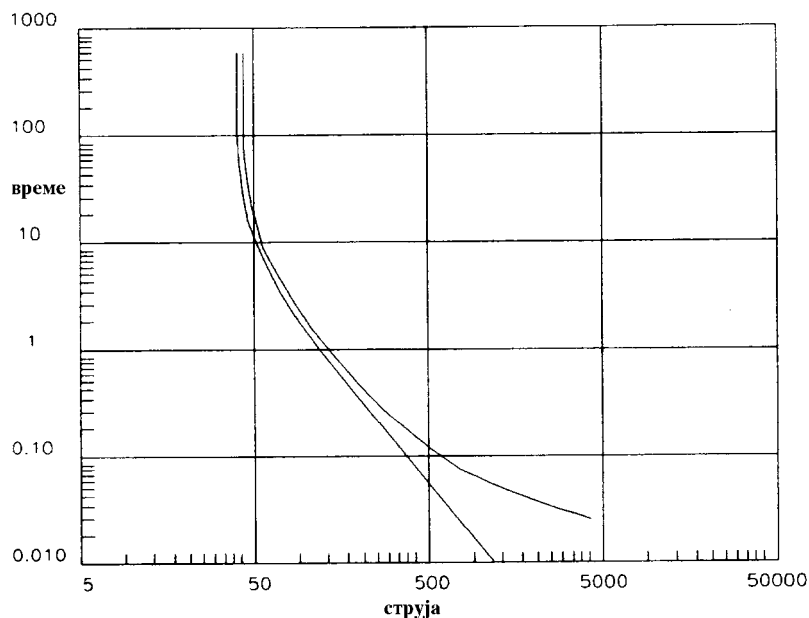
Релејната заштита е автоматски систем кој ги детектира и исклучува водовите каде се јавила куса врска. Главна цел на релејната заштита е покрај заштита на луѓето, ограничување на штетата која може да настане на дистрибутивниот систем. Според тоа, откривањето на грешките и исклучувањето на струјата на грешка треба да се спроведе со максимална брзина без да настапи погрешна операција за нормалните транзиентни настани. Има две главни грижи за настанување на штета:

1. Електричниот лак може да оштети проводници и изолатори
2. Енергетските трансформатори може да се повредат, бидејќи заради големите струи и електродинамички сили, намотките може да се изместат и искриват, а ова е многу голема штета и грешка.

4.6.3. Осигурувачи

Кусата врска во системот секогаш е проследена со зголемени струи низ водовите. Овој факт може да послужи за нејзината детекција. Основен заштитен елемент за заштита од прекуструи (прекумерни струи, надструи) во енергетскиот систем е осигурувачот. Осигурувачите се елементи кои се релативно евтини и на кои не им треба одржување. Затоа тие масовно се користат во дистрибутивниот напоен систем за заштита на трансформатори и напојните гранки (латерални гранки). Нивната основна цел е да задејствуваат при трајни грешки и да го изолираат (одвојат, секционализираат) делот на кој е присутна грешката од здравиот дел на напојниот вод. Тие се поставуваат координирано, т. е. на таков начин, што во случај на нивно активирање да се онеспособи што е можно помал дел од системот.

Осигурувачите дејствуваат и ја детектираат прекуструјата на тој начин што нивниот топлив елемент ќе се растопи. Во самиот осигурувач ќе настапи еден процес на развивање на лак кој последователно ќе згасне и струјата ќе се прекине. Бидејќи за да настапи топење на металната топлива влошка треба да се акумулира извесно количество топлина за да се достигне точката на топење, за секој износ на струја потребно е да помине извесно време. Тоа време е помало доколку струјата е поголема, така што карактеристиката струја - време на еден осигурувач има карактеристичен хиперболично опаѓачки облик претставен на сликата 4.20. Со цел да се ускладат (координираат) со карактеристиката струја време на осигурувачите, сите други заштитни елементи во дистрибутивниот систем (на пр. прекинувачи или други погоре поставени осигурувачи) мора да имаат слична по облик карактеристика струја - време, и тие не треба да се пресекуваат



Сл. 4.20 Изглед на карактеристиката струја - време на осигурувач

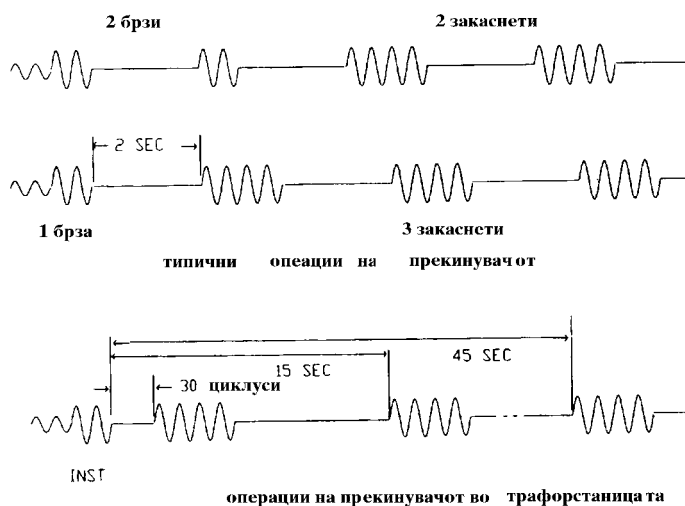
4.6.4. Повторно вклучување

Бидејќи најголемиот дел од кусите врски на надземните водови се привремени, напојувањето би можело успешно да се поврати (после првото исклучување) само по неколку циклуси после прекинувањето на прекуструјата. Затоа, многу од автоматските прекинувачи се така конструирани, што ако е потребно може да вклучат повторно три или четири пати во брза последователност. Повеќе кратното вклучување овозможува да се остварат разни шеми на секционализирање и ако некоја грешка е поупорна, да и се пружи дополнителна прилика да се отстрани. Постојат специјални прекинувачи наменети за дистрибутивниот систем наречени повторни вклучувачи (на енгл. reclosers) кои операцијата повторно вклучување ја обавуваат особено добро. Најголем дел од кусите врски се отстранува уште со првата операција.

Повторното вклучување е многу застапено во северно америчките дистрибутивни системи. Дистрибуциите во региони каде има релативно слаба атмосферска активност прават само едно повторно вклучување, бидејќи претпоставуваат дека поголемиот дел од нивните грешки се трајни. Во регионите со поинтензивна атмосферска активност се практикува повторно вклучување до 4 пати. На сликата 4.23 се дадени две најчесто применувани редоследи кај прекинувачи со 4 циклуси:

1. Една брза операција, три закаснети;
2. Две брзи операции, две закаснети.

Обично е беспредметно да се користи повторно вклучување кај мрежи кои се претежно подземни (кабелски), освен ако добар дел од мрежата сепак се состои од надземни водови изложени на растенија или молњи.



Сл. 4.23. Најчест редоследи на операциите на еден прекинувач при автоматско повторно вклучување според праксата во САД. Горните два дијаграма важат за прекинувач поставен подолу на некој дистрибутивен извод, а долниот - за прекинувач на почетокот на дистрибутивниот извод.

4.6.5. Штедење на осигурувачите

Обично инженерите во дистрибуцијата не сакаат осигурувачите често да им прегоруваат, бидејќи мора да се испрати човек да ги замени. Автоматското повторно вклучување всушност е и замислено да ги штеди осигурувачите. Основната идеја е да се овозможи прекинувачот да исклучи толку брзо при првата операција, што ќе направи прекин пред да настапи топење на топливата влошка во осигурувачот кој е поставен подолу. Кога прекинувачот повторно вклучи, во најголем број случаи напојувањето ќе се воспостави повторно (се претпоставува дека кусата врска се отстранила) и нема да има потреба од човечка интервенција на лице место. Единствено смеќавање на клиентот е краткотрајно замрачување на светлото. Ова го нарекуваат брза операција на прекинувачот или инстантно прекинување.

Ако кусата врска е сеуште присутна кога прекинувачот вклучи повторно, има две опции:

1. Префрлање на автоматиката на одложено или бавно прекинување. Ова обично е единствената можност кај дистрибутивниот прекинувач кој се наоѓа во трафостаницата VN/SN. Тој работи само еднаш на инстантно прекинување. Оваа филозофија смета дека грешката потоа е трајна и префрлањето на забавена операција ќе му даде време на осигурувачот кој е подолу да реагира и го изолира делот со грешка.
2. Обид на втора брза операција. Оваа филозофија се применува кога искуството покажало дека голем број на транзиентните грешки им треба две шанси за да се отстранат, а истовремено осигурувачите да бидат спасени. Праксата покажала дека кај некои конструкции на надземни водови и напонски нива има голема веројатност лаковите кои се причинети од удар на молња пак да се запалат и им треба втора шанса за отстранување. Исто така слична појава е и ако грешката настанала заради гранки на дрвја, т.е. дека и ним добро би им дошла и втора операција.

4.6.6 Доверливост на снабдувањето со ел. енергија

Поимот на доверливост на снабдувањето со електрична енергија во контекст на дистрибуцијата обично се однесува на времето во кое корисниците се целосно без напојување за подолготраен временски период (значи траен прекин). Дефинициите за поимот траен прекин се различни кај разни дистрибуции и се движат од 1 до 5 минути. Многу дистрибуции и оваа појава ја викаат „испад“, (outage). Сегашните стандарди за квалитет на ел. енергија се склони секој прекин на напојувањето подолг од 1 минуа да го нарекуваат траен прекин (види го второто поглавие). Во секој случај, доверливоста на снабдувањето се дефинира со трајните грешки во системот кои мора да се поправат пред одново да се воспостави сервисот.

Од друга страна пак, многу индустриски корисници на ел. енергија имаат поинакво гледиште за доверливоста на снабдувањето, бидејќи дури и транзиентни грешки може да предизвикаат испаѓање на нивното производство и им треба неколку часови за да го воспостават одново. Затоа тие се залагаат да се прошират традиционалните показатели за доверливоста така што во нив би се вклучиле и моменталните прекини.

Традиционалните **показатели за доверливоста** на снабдувањето со ел. енергија за дистрибутивните системи се дефинирани на следниот начин:

SAIFI: Sysem Average Interruption Frequency Index (Просечен индекс на зачестеноста на прекини)

$SAIFI = (\text{број на корисници кои претрпеле прекин}) * (\text{број на прекини}) / \text{вкупен број на корисници.}$) (Кај нас за овој поим вообичаен термин е “просечен број прекини по корисник”);

SAIDI: System Average Interruption Duration Indeks (Просечен индекс на траење на прекилот)

$SAIDI = \sum (\text{број на погодени корисници}) * (\text{траење на прекилот}) / (\text{вкупен број на корисници})$ (има димензија на време, часови) (Кај нас за овој поим вообичаен термин е “очекувано просечно време на траење на прекилот”);

CAIDI: Customer Average Interruption Duration Index

$CAIDI = (\sum \text{Траење на прекините на корисниците}) / (\text{вкупен број на прекини на корисниците})$ (има димензија на време, часови)) (Кај нас за овој поим вообичаен термин е “вистинско просечно времетраење на еден прекин”);

ASAI: Average System Availability Index. Просечна расположивост на напојниот систем.

$ASAI = (\text{расположиви часови на сервис на корисниците}) / (\text{часови барани за сервис од страна на корисниците})$ (Кај нас за овој поим вообичаен термин е “просечна расположивост на напојниот систем”)

Барани часови сервис од корисниците е 8760 часови годишно.

Типична цел за овие индекси е дадена во табелата 4.1.

Табела 4.1 Показатели (индекси) на доверливост и нивни вообичаен износ.

индекс	целна вредност
SAIFI	1,0
SAIDI	1,0-1,5 часа
CAIDI	1,0-1,5 часа
ASAI	0,99983

Овие се целни вредности и за секој посебен случај би се добиле други вредности.

Во рурални (селски) подрачја грешките се позачестени, но помал број корисници се засегнати. Таму е потребно подолго време за да се исправат грешките. Според тоа, таму каде мрежата е слабо изградена, не може да се очекува голема довеерливост на снабдувањето.

4.6.7. Превентивни мерки во дистрибуцијата за намалување на бројот на куси врски

Овде ќе ги резимираме најчестите мерки кои дистрибуцијата може да ги примени за да го намали бројот на куси врски и со тоа го зголеми квалитетот на ел. енергија и подобро ги задоволи потрошувачите.

Одржување на надземните водови. Ова ги опфаќа следните активности:

Кастрење на дрвјата покрај водот. Ова е доста ефикасен метод за намалување на бројот на куси врски.

Миеење на изолаторите. Додека претходната метода е најзачестена во ненаселени и пошумени региони, оваа е најчеста во населени и индустриски региони каде има прашина смог и сл. Кусите врски при загадени изолатори настануваат при магла, роса или слаб дожд дури и при работен напон.

Заштитни земјоводни јажиња. Овој метод редовно се употребува на повисоко напонско ниво, а тоа е преносното (110 kV и повисоко) Во дистрибуциите со среден напон (35 kV и помалку) не се практикува често бидејќи не дава битно подобрување. Но сепак, ако атмосферската активност во некој регион е голема, се применува, заедно со специјална конструкција на столбовите.

Подобрување (намалување) на отпорот на заземјувањето на столбовите. Овој метод оди заедно со претходниот, заштитно земјоводно јаже. Така се намалува веројатноста за обратен прескок (под “обратен прескок” се разбира појавата при удар на молњата во заземјени делови напр, столбот, да настане прескок кон фазниот проводник). Ако нема вакво јаже, единствено може да биде корисно ако се употребат и заштитни одводници за преносниот надземен вод.

Зголемено растојание на фазните проводници. Овој метод помага да се зголеми отпорноста кон прескоци или да се намали штетата од гранките на дрвјата. Сличен метод кој помага да не настане допирање на фазните проводници меѓу себе при дејство на ветерот, е да се фиксираат фазните проводници со дистантни изолациони прачки.

Изолирани кабели како воздушни водови. Се користи во региони каде не може да се кастрат дрвјата, а сепак водот да се изведе како воздушен. Водот е во вид на кабел со заштитна изолациона облога над фазите, но релативно послаба одошто кај кабелите наменети за полагање во земја. Се користи многу во САД.

Кабелска наместо воздушна мрежа. По правило е подоверлива. И кабелската мрежа ако сакаме да биде доверлива треба да се штити со одводници од комутациони пренапони. Сепак кабелот со тек на време старее, а грешките во кабелите се од траен карактер. Затоа, многу важно кај кабелските мрежи е брзото откривање на местото на дефект што е посебна проблематика и бара соодветни методи и опреми.

Примена на одводници на пренапони. За да се намали бројот на куси врски на воздушните дистрибутивни водови треба или да се подигне изолационото ниво на водот (засужилена изолација), да се спречи молњата да удри во водот (примена на заштитни

јажиња), или да се спречи напонот после ударот да не достигне висина поголема од изолационото ниво. Третава опција се користи при примената на одводници на пренапони². За таа цел, се поставуваат одводници на пренапони на секој трет или втор столб. долж водот, како и кај дистрибутивните трансформатори. Некои дистрибуции ги поставуваат на секоја фаза а некои само на онаа фаза која е најизложена на удар на молњата. За водови кај кои се бара специјален висок степен на квалитет (доверливост на снабдување) може да се применат одводници на секој столб. Бидејќи цената на одводниците се намалува, се реферира дека ова е доста евтин метод на превенција.

Прашања за самопроверка

1. Дефинирај ги поимите напонска јама и прекин.
2. Која е причината за појава на напонските јами и прекините?
3. Што е тоа подрачје на “ранливост”?
4. Каков е принципиелниот пристап на решавање на проблемите со јамите и прекините? Кои субјекти може да преземат мерки и какви се економско - техничките можности?
5. Наброј неколку мерки и средства за заштита од напонски јами и прекини кои може да се применат кај крајниот корисник на ел. енергија.
6. Што е тоа УПС и како тој дејствува?
7. Опиши го дејствувањето на уредот СМЕС!
8. Какви податоци треба корисникот да бара од испорачателот на енергетска опрема односно какви барања треба тој да му постави на испорачателот на истата ако набавува нова опрема?
9. Зошто е потребна специјална постапка при пуштање во погон на моќните електромоторни погони?
10. Наброј неколку методи за стартување на големи мотори!
11. Во кој принципиелен правец се насочуваат напорите на електродистрибутивното претпријатие (испорачател на електричната енергија) со цел да се намали бројот на јамите и прекините и со тоа зголеми квалитетот на електричната енергија?
12. Какви видови куси врски постојат?
13. Која е улогата на осигурувачите? Какви предности и какви недостатоци имаат тие како заштитни елементи?
14. Што е тоа автоматско повторно вклучување и зошто се практикува?
15. Што е тоа доверливост во снабдување со електрична енергија?
16. Кои се поважни индекси на доверливост за снабдувањето со ел. енергија?
17. Кои превентивни мерки може да ги спроведе електродистрибутивното претпријатие со цел да се намали бројот на јами и прекини?

² Одводниците се поставуваат меѓу фазниот проводник и заземјувањето. Одводник на пренапони е специјален апарат кој се поставува паралелно на штитената изолација и тој при појава на пренапон се активира – проведува и го ограничува пренапонот до своето т.н. “заштитно” ниво.