

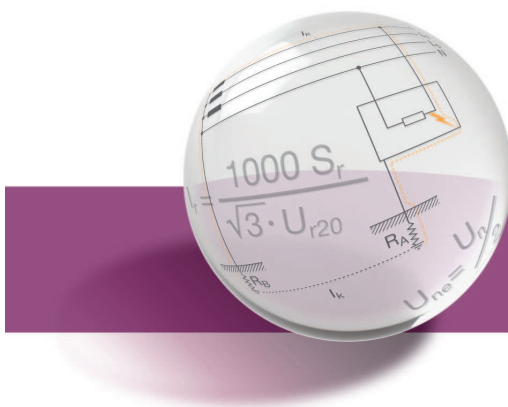
Ръководство по електрически инсталации



Ръководство по електрически инсталации

Част 1

Електрически апарати



Публикувано от АББ България ЕООД
Пето издание, АББ SACE 2007 г.

Всички права запазени

Съдържание част 1

Въведение	4
1 Стандарти	
1.1 Общи аспекти.....	5
1.2 IEC стандарти за електрически инсталации.....	17
2 Защита на захранващи линии	
2.1 Въведение.....	24
2.2 Полагане и оразмеряване на кабели.....	27
2.2.1 Допустимо токово натоварване и методи на полагане.....	27
Инсталации без полагане в земя	
Инсталации с полагане в земя	
2.2.2 Паг на напрежение.....	57
2.2.3 Загуби от ефекта на Джаул.....	67
2.3 Защита от претоварване.....	68
2.4 Защита от късо съединение.....	70
2.5 Неутрални и защитни проводници.....	82
2.6 Магистрални шинопроводи.....	89
3 Защита на електрическото оборудване	
3.1 Защита и пускане на осветителни инсталации.....	95
3.2 Защита и пускане на генератори.....	104
3.3 Защита и пускане на двигатели.....	109
3.4 Защита и пускане на трансформатори.....	129
4 Корекция на коефициента на мощността	
4.1 Общи аспекти.....	144
4.2 Методи за корекция на фактора на мощността.....	150
4.3 Прекъсвачи за защита и превключване на кондензаторни батерии.....	156
5 Защита на хората	
5.1 Общи положения: въздействие на електрическия ток върху човека.....	159
5.2 Типове разпределителни мрежи.....	162
5.3 Защита от директен и от индиректен контакт.....	165
5.4 TT разпределителни мрежи.....	168
5.5 TN разпределителни мрежи.....	171
5.6 IT разпределителни мрежи.....	174
5.7 Дефектнотокови защиты.....	176
5.8 Максимално защитена дължина при защита на хора.....	179

6 Изчисляване тока на късо съединение

6.1	Общи положения.....	183
6.2	Класификация на повредите.....	183
6.3	Определяне на тока на късо съединение: „Метод на мощността на късо съединение”.....	185
6.3.1	Изчисляване на мощността на късо съединение за различните елементи на инсталацията.....	185
6.3.2	Изчисляване на мощността на късо съединение в точката на повреда.....	188
6.3.3	Изчисляване на тока на късо съединение.....	189
6.3.4	Примери.....	191
6.4	Определяне на тока на късо съединение I_k по дължина на кабела, като функция на този преди кабела.....	195
6.5	Алгебра на последователностите.....	197
6.5.1	Общи положения.....	197
6.5.2	Системи с права, обратна и нулева последователност.....	198
6.5.3	Изчисляване на ток на късо съединение чрез алгебра на последователностите.....	199
6.5.4	Прави, обратни и нулеви последователности на импеданси на късо съединение на електрическо оборудване.....	202
6.5.5	Формули за изчисляване на токовете на повреда като функция на електрическите параметри на инсталацията.....	205
6.6	Изчисляване на върховата стойност на тока на късо съединение.....	208
6.7	Участие на непрекъсваемите токозахранващи устройства (UPS) в тока на късо съединение.....	209
Приложение А: Изчисляване на тока на товара.....		214
Приложение В: Хармоници.....		216
Приложение С: Изчисляване на коефициента k за кабели ($k^2 S^2$).....		224

Съдържание част 2

1 Устройства за защита и управление

1.1 Етикети с номинални характеристики на прекъсвачите.....	227
1.2 Основни определения.....	229
1.3 Типове защиты	233
1.3.1 Защити от претоварване и късо съединение.....	233
1.3.2 Електронни защиты	235
1.3.3 Дефектнотоккови защиты.....	239

2 Общи характеристики

2.1 Софтуер „Криви 1.0“.....	243
2.2 Токоограничителни характеристики.....	244
2.3 Характеристики на специфичната енергията на преминаване.....	247
2.4 Температурно занижаване на работните характеристики.....	248
2.5 Електрически характеристики на товарите прекъсвачи.....	255

3 Координиране на защитата

3.1 Координиране на защитата.....	257
3.2 Селективност.....	257
3.2.1 Селективност по ток.....	258
3.2.2 Селективност по време.....	259
3.2.3 Зонова селективност.....	261
3.2.4 Селективност по енергия.....	264
3.3 Каскадиране.....	264
3.4 Координиране между прекъсвачи и товарни прекъсвачи.....	265

4 Специални приложения

4.1 Постояннотокови мрежи.....	266
4.2 Критерии за избор на прекъсвачи.....	267
4.3 Типове постояннотокови мрежи.....	267
4.4 Превключватели за автоматичен пренос.....	275

5 Разпределителни уредби

5.1 Електрически разпределителни уредби.....	277
5.2 Форми на вътрешно разделение.....	281

Приложение: Основни физически величини и електротехнически формули.....	283
---	-----

Въведение

Сфери и цели на приложение

Целта на това ръководство е да предостави на проектанта и потребителя на електрически инсталации бързи справки и при нужда да е лесно за ползване работно помагало. Предназначението му не е да бъде теоретичен документ или технически каталог, а да предлага помощ за правилно определяне на оборудването в многобройни практически ситуации при изграждането на инсталации.

Оразмеряването на една електрическа инсталация изисква познаване на различни фактори, отнасящи се например до електрозахранващата мрежа на инсталацията, електрическите проводници и други компоненти; тези необходими познания карат електро-проектанта да търси консултации в многобройни документи и технически каталози. „Ръководство по електрически инсталации“ предоставя в един единствен документ таблици за бързо дефиниране на основните параметри на компонентите на една електрическа инсталация, както и избирането на защитни устройства за широка гама инсталации. Включени са и някои примери за улесняване на ползването на дадените в Ръководството таблици.

Потребители на „Ръководство по електрически инсталации“

„Ръководство по електрически инсталации“ е подходящо средство за всички, които се интересуват от електрическите инсталации: полезно е за инсталатори и техници по поддръжка на електрическата мрежа със своите кратки, но важни електротехнически данни, а също така и за инженерите с възможността за бърза справка в публикуваните таблици и сбитата теория.

Валидност на “Ръководство по електрически инсталации”

В някои таблици са показани приблизителни стойности поради обобщаването на процеса на селекция, като например тези, отнасящи се за конструктивните характеристики на електрическите машини. Във всички случаи, където е възможно, са дадени корекционни коефициенти за действителните условия, които може да се различават от приетите. Таблиците винаги са съставяни консервативно, в полза на безопасността; за по-точни изчисления при оразмеряване на електрически инсталации се препоръчва да се използва софтуера DOS.

1 Стандарти

1.1 Общи аспекти

Във всяка техническа област и в частност в електрическата, достатъчно условие (макар и не необходимо) за изграждането на електрически инсталации съгласно най-новите постижения и критерии за удовлетворяване изискванията на клиентите е съобразяването с всички касаещи тази област закони и технически стандарти.

Затова, прецизното познаване на стандартите е фундаменталната база за правилния подход към проблемите при електрическите инсталации, които трябва да се проектират, за да се гарантира това **“приемливо ниво на безопасност”**, което никога не е абсолютно.

Юридически стандарти

Това са всички стандарти, които определят правилата на поведение на юридическите лица, които са под суверенитета на държавата.

Технически стандарти

Тези стандарти са всички предписания, на базата, на които трябва да се проектират, произвеждат и изпитват машини, апарати, материали и инсталации, така че да се осигури ефективност и функционална безопасност.

Техническите стандарти, публикувани от националните и международните органи, са описани детайлно и могат да имат правна сила, когато това е съпрободено със законодателна мярка.

	Области на приложение		
	Електротехника и електроника	Телекомуникация	Механика, ергономика и безопасност
Международен орган	IEC	ITU	ISO
Европейски орган	CENELEC	ETSI	CEN

Тук се имат предвид само органите, занимаващи се с електрически и електронни технологии.

IEC (International Electrotechnical Commission) Международна електротехническа комисия

Международната електротехническа комисия (IEC) е основана официално през 1906 г. с цел осигуряване на международно сътрудническо по отношение на стандартизирането и сертифицирането в електрическите и електронните технологии. Тази асоциация е създадена от Международните комитети на повече от 40 страни от целия свят.

IEC публикува международни стандарти, технически ръководства и доклади, които са базата или във всички случаи еталон от най-голяма важност за дейностите, свързани с националните и европейската стандартизация.

IEC стандартите се издават на два езика: английски и френски. През 1991г. IEC ратифицира споразумения за сътрудничество с CENELEC (Европейският орган по стандартизация) за общо планиране на нови дейности по стандартизацията и за паралелно гласуване на проекто-стандартите.

1 Стандарти

CENELEC Европейски комитет за електротехническа стандартизация (European Committee for Electrotechnical Standardization)

Европейският комитет за електротехническа стандартизация (CENELEC) е създаден през 1973 г. В момента той обхваща 30 страни (Австрия, Белгия, България, Кипър, Чешка Република, Дания, Естония, Финландия, Франция, Германия, Гърция, Унгария, Исландия, Ирландия, Италия, Латвия, Литва, Люксембург, Малта, Холандия, Норвегия, Португалия, Полша, Румъния, Словакия, Словения, Испания, Швеция, Швейцария, Великобритания) и осъществява сътрудничество с 8 асоциирани члена (Албания, Босна и Херцеговина, Тунис, Хърватска, Бившата Югославска Република Македония, Сърбия и Черна гора, Турция, Украйна), които първо съгласуваха националните си документи с тези на CENELEC и след това ги замениха с Хармонизираните документи (HD).

Съществува разлика между EN стандартите и Хармонизираните документи (HD): докато първите трябва да бъдат приети на всички нива без добавки или промени в различните страни, то във вторите могат да се нанасят поправки така, че да отговарят на националните изисквания.

EN стандартите се издават на три езика: английски, френски и немски.

От 1991 г. CENELEC работи съвместно с IEC за ускоряване на процеса на подготовка на международните стандарти.

CENELEC борава със специфични теми, за които спешно се налага стандартизация.

Когато проучването на конкретна тема вече е било започнато от IEC, Европейският стандартизационен орган (CENELEC) може да реши дали да приеме, или ако е необходимо да промени документите, вече одобрени от Международния стандартизационен орган (IEC).

Директиви на Европейската общност за електрическо оборудване

Наред със своята институционална роля, Европейската общност има задачата да обнародва директиви, които трябва да бъдат приети от различните страни членки и след това да се приложат в националните законодателства.

След като са приети веднъж, тези директиви влизат в правна сила и стават еталон за производители, монтажници и търговци, които трябва да изпълняват задълженията, определени със закон.

Директивите се основават на следните принципи:

- Хармонизацията е ограничена до основните изисквания;
- Само продукти, които изпълняват основните изисквания, определени в директивите, могат да бъдат предлагани на пазара и въвеждани в експлоатация;
- Хармонизиращите стандарти, чиито номера са публикувани в Официалното издание на Европейската общност и които са наложени в националните стандарти, се считат в съответствие с основните изисквания;
- Приложимостта на хармонизираните стандарти или на други технически спецификации е препоръчителна и производителите са свободни да избират различни технически решения, които осигуряват съответствие с основните изисквания;
- Производителите могат да избират между различните процедури за оценяване на съответствието, предвидени в приложимата директива;
- Предназначението на всяка директива е да накара производителите да предприемат всички необходими стъпки и мерки, така че продуктът да не застрашава безопасността и здравето на хората, животните и имуществото.

1 Стандарти

Директива 2006/95/СЕ "Ниско напрежение"

Директивата за ниско напрежение се отнася за всички електрически устройства, проектирани за работа при номинално напрежение от 50 до 1000 V за променлив ток и от 75 до 1500 V за постоянен ток.

В частност, тя е приложима за всички апарати за производство, преобразуване, пренос, разпределение и ползване на електрическа енергия като: машини, трансформатори, устройства, измервателни прибори, защитни устройства и проводникови материали.

- Следните категории са извън предмета на тази Директива:
 - Електрическо оборудване за ползване във взривоопасна среда;
 - Електрическо оборудване за радиологични и медицински цели;
 - Електрически части за товарни и пътнически асансьори;
 - Електромери;
 - Щепсели и контакти за ползване в бита;
 - Радио-електрическа интерференция;
 - Специализирано електрическо оборудване за използване в самолети, кораби или в железници, което изпълнява изискванията за безопасност, формулирани от международните организации, в които участват страните членки.

Директива EMC 89/336/ЕЕС* ("Електромагнитна съвместимост")

Директивата за електромагнитна съвместимост се отнася за всички електрически и електронни апарати, както и за системи и инсталации, съдържащи електрически и/или електронни компоненти. В частност, апаратите обхванати от тази Директива се разделят в следните категории в зависимост от своите характеристики:

- Битови радио и телевизионни приемници;
- Промислено производствено оборудване;
- Мобилни радио устройства;
- Мобилни радио и комерсиално радио-телефонни устройства;
- Медицински и научно-изследователски апарати;
- Оборудване за информационни технологии (ИТЕ);
- Битови електрически уреди и битово електронно оборудване;
- Авиационни и мореплавателни радио апарати;
- Образователно електронно оборудване;
- Телекомуникационни мрежи и апарати;
- Радио и телевизионни излъчватели;
- Осветление и флуоресцентни лампи.

Новата Директива 2004/108/СЕ влезе в сила на 20-ти януари 2005г. Предвиден е обаче преходен период (до юли 2009г.) по време, на който все още е позволено да се предлага на пазара или да се въвежда в експлоатация оборудване или системи в съответствие с преходната директива 89/336/СЕ. Условието на новата Директива могат да се прилагат от 20-ти юли 2007 г.

Апаратите трябва да бъдат конструирани така, че:

а) електромагнитните смущения, които генерира да не превишават ниво позволяващо на радио и телекомуникационното оборудване и други устройства да работят по предназначение;

б) апаратите да имат адекватно ниво на вътрешен имунитет към електромагнитни смущения за да могат да работят по предназначение.

Един апарат се обявява в съответствие с изискванията на точки а) и б), когато той отговаря на хармонизираните стандарти, отнасящи се за неговото продуктово семейство или в случай, че няма такъв на общите стандарти.

1 Стандарти

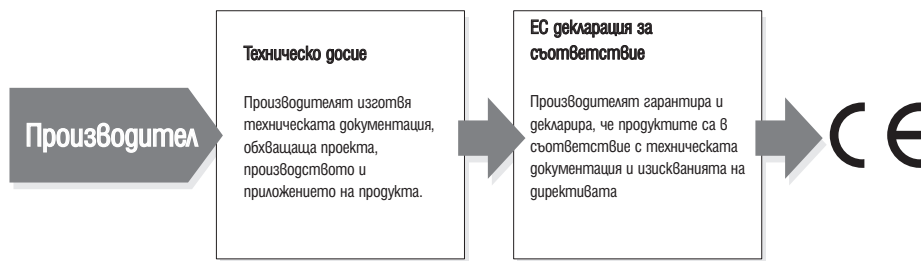
Знак за съответствие съгласно директива СЕ

Знакът за съответствие съгласно директива СЕ показва, че са изпълнени всички задължения, наложени на производителя по отношение на неговите продукти, заети в директивите на Европейската общност и отнасящи се до получаването на този знак (СЕ).



Когато един продукт има знак СЕ, това представлява декларация на производителя или неговите упълномощени представители, че въпросният продукт съответства на всички приложими изисквания, включително процедурите по оценяване на съответствие. Това насърчава страните членки в изнасянето на пазара и въвеждането в експлоатация на продукти носещи знака СЕ, освен ако тази мярка не е обоснована с доказано несъответствие на продукта.

Блок-схема на процедурите на оценяване на съответствието, определени в Директива 2006/95/СЕ за електрическо оборудване, проектирано за ползване в определен обхват на напрежение:



Одобрение за морски приложения

Условията на околната среда, които характеризират приложенията на прекъсвачите в корабни инсталации, могат да бъдат различни от тези на околната среда при стандартните промишлени приложения; в действителност за морските приложения може да са необходими инсталации за специфични условия, като:

- за околна среда с висока температура и влажност, включително влажна гореща атмосфера или солена мъгла;
- за корабна среда (машина зала), където апаратите работят при наличие на вибрации с висока амплитуда и продължителност.

За да се осигури правилното функциониране в такива среди, корабните регистри изискват апаратите да са изпитани съгласно специфичните типови изпитания, най-важни от които са тези за вибрации, динамично отклонение, влажност и изпитания на сухо нагряване.

1 Стандарти

Прекъсвачите на ABB SACE (Tmax-Emax) са одобрени от следните корабни регистри:

• RINA	Registro Italiano Navale	Италиански корабен регистър
• DNV	Det Norske Veritas	Норвежки корабен регистър
• BV	Bureau Veritas	Френски корабен регистър
• GL	Germanischer Lloyd	Немски корабен регистър
• LRs	Lloyd's Register of Shipping	Британски корабен регистър
• ABS	American Bureau of Shipping	Американски корабен регистър

Препоръчително е да се правят консултации с ABB SACE по отношение на типа и работните характеристики на сертифицираните прекъсвачи или да се потърси информация в уебстраницата <http://bol.it.abb.com>.

Знаци за съответствие на различни национални и международни стандарти

Знаците за съответствие на различни национални и международни стандарти са изложени в следващата таблица, само за информация:

Страна	Знак	Наименование на знака	Приложение / Организация
ЕВРОПА		-	Знака за съответствие на хармонизираните европейски стандарти, изброени в споразумението ENEC.
АВСТРАЛИЯ		Знак AS	Електрически и неелектрически продукти. (Австралийска асоциация за стандартизация) Гарантира съответствие със SAA (Австралийска асоциация за стандартизация)
АВСТРАЛИЯ		Знак S.A.A.	Австралийска асоциация за стандартизация (S.A.A.) Институт за електроинженерство на Нов Южен Уелс, Сидни, Австралия
АВСТРИЯ		Знак за изпитания в Австрия	Инсталационно оборудване и материали

1 Стандарти

Страна	Знак	Наименование на знака	Приложение / Организация
АВСТРИЯ		OVE идентификация	Кабели
БЕЛГИЯ		CEBEC знак	Инсталационни материали и електрически уреди
БЕЛГИЯ		CEBEC знак	Тръби, канали, проводници и гъвкави шнурове
БЕЛГИЯ		Сертификат за съответствие	Инсталационни материали и електрически уреди (в случай, че няма еквивалентни национални стандарти или критерии)
КАНАДА		CSA знак	Електрически и неелектрически продукти Този знак гарантира съответствие с CSA (Канадска асоциация за стандартизация)
КИТАЙ		CCC знак	Този знак се изисква за голяма гама промишлени продукти преди експортирането или продаването им на пазара в Народна Република Китай.
ЧЕШКА РЕПУБЛИКА		EZU знак	Електротехнически изпитателен институт
СЛОВАШКА РЕПУБЛИКА		EVPU	Електротехнически изследователски и проектантски институт

1 Стандарти

Страна	Знак	Наименование на знака	Приложение / Организация
ХЪРВАТСКА		KONKAR	Институт по електроинженерство
ДАНИЯ		DEMCO Знак за одобрение	Материали ниско напрежение. Този знак гарантира съответствието на продукта на изискванията (за безопасност) на «Регулации силни токове»
ФИНЛАНДИЯ		Знак за безопасност на Elektriska Inspektoratet	Материали ниско напрежение. Този знак гарантира съответствието на продукта на изискванията (за безопасност) на «Регулации силни токове»
ФРАНЦИЯ		ESC знак	Битови електроуреди
ФРАНЦИЯ		NF знак	Проводници, кабели, тръби и канали – Инсталационни материали
ФРАНЦИЯ		NF знак за идентификация	Кабели
ФРАНЦИЯ		NF знак	Преносими инструменти с двигател
ФРАНЦИЯ		NF знак	Битови електроуреди

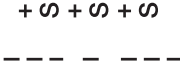
1 Стандарти

Страна	Знак	Наименование на знака	Приложение / Организация
ГЕРМАНИЯ		VDE знак	За електроуреди и техническо оборудване, инсталационни приспособления като щепсели, контакти, предпазители, проводници и кабели, както и други компоненти (кондензатори, заземителни системи, фасунги и електронни устройства)
ГЕРМАНИЯ		VDE знак	Кабели и шнуровете
ГЕРМАНИЯ		VDE знак за кабелut	За кабели, изолирани шнуровете, инсталационни тръби канали
ГЕРМАНИЯ		VDE-GS знак за техническо оборудване	Знак за безопасност на техническо оборудване, поставя се след изпитване и сертифициране на продукта от VDE изпитвателна лаборатория в Оффенбах; знакът за съответствие е знакът VDE, който се дава за използване отделно и в комбинация със знака GS
УНГАРИЯ		MEEI	Унгарски институт за изпитване и сертифициране на електрическо оборудване
ЯПОНИЯ		JIS знак	Знак, който гарантира съответствие с японски промишлени стандарти
ИРЛАНДИЯ		JIS знак	Електрическо оборудване
ИРЛАНДИЯ		IRS знак	Електрическо оборудване

1 Стандарти

Страна	Знак	Наименование на знака	Приложение / Организация
ИТАЛИЯ		IMQ знак	Знак за електрически материали за непрофесионални потребители; удостоверява съответствие с европейските стандарти.
НОРВЕГИЯ		Норвежки знак за одобрение	Задължително одобрение за безопасност на материали и оборудване ниско напрежение
ХОЛАНДИЯ		KEMA-KEUR	Общо за всички устройства
ПОЛША		KWE	Електрически продукти
РУСИЯ		Сертификат за съответствие	Електрически и неелектрически продукти. Гарантира съответствие с националния стандарт (Госстандарт на Русия)
СИНГАПУР		SISIR	Електрически и неелектрически продукти
СЛОВЕНИЯ	 SIQ - Slovenia	SIQ	Словенски институт за качество и метрология
ИСПАНИЯ		AEE	Електрически продукти. Знакът е под контрола на Испанската електротехническа асоциация

1 Стандарти

Страна	Знак	Наименование на знака	Приложение / Организация
ИСПАНИЯ		VDE знак	За електроуреди и техническо оборудване, инсталационни приспособления като щепсели, контакти, предпазители, проводници и кабели, както и други компоненти (кондензатори, заземителни системи, фасунги и електронни устройства)
ШВЕЦИЯ		VDE знак	Кабели и шнурове
ШВЕЙЦАРИЯ	 * PZ 1	VDE знак за кабелut	За кабели, изолирани шнурове, инсталационни тръби канали
ШВЕЙЦАРИЯ		VDE-GS знак за техническо оборудване	Знак за безопасност на техническо оборудване, поставя се след изпитване и сертифициране на продукта от VDE изпитвателна лаборатория в Офенбах; знакът за съответствие е знакът VDE, който се дава за използване отделно и в комбинация със знака GS
ШВЕЙЦАРИЯ		MEEI	Унгарски институт за изпитване и сертифициране на електрическо оборудване
ВЕЛИКОБРИТАНИЯ		JIS знак	Знак, който гарантира съответствие с японски промишлени стандарти
ВЕЛИКОБРИТАНИЯ	 BASEC	JIS знак	Електрическо оборудване
ВЕЛИКОБРИТАНИЯ		IRS знак	Електрическо оборудване

1 Стандарти

Страна	Знак	Наименование на знака	Приложение / Организация
ВЕЛИКОБРИТАНИЯ		BAEB знак за безопасност	Съответствие с "Британски стандарти" за битови електроуреди
ВЕЛИКОБРИТАНИЯ		BSI знак за безопасност	Съответствие с "Британски стандарти" за битови електроуреди
ВЕЛИКОБРИТАНИЯ		BEAB Kitemark	Съответствие с "Британски стандарти" по отношение на безопасност и работни характеристики
САЩ		UNDERWRITERS LABORATORIES знак	Електрически и неелектрически продукти
САЩ		UNDERWRITERS LABORATORIES знак	Електрически и неелектрически продукти
САЩ		UL знак	Електрически и неелектрически продукти
CEN		CEN знак	Знак, издаван от Европейския комитет за стандартизация (CEN): той гарантира съответствие на европейските стандарти
CENELEC		Знак	Кабели

1 Стандарти

Страна	Знак	Наименование на знака	Приложение / Организация
CENELEC		Знак за хармонизация	Знак за сертифициране, удостоверяващ че кабелът съответства на стандартите CENELEC – знак за идентификация
IEC		Ex EUROPEA знак	Знак, удостоверяващ съответствие на европейските стандарти на продукти за употреба във взривоопасна среда
CEEel		CEEel pkdu	Знак, който се прилага за някои битови електроуреди (бръснарчи, електрически часовници и т.н.)

IEC декларация за съответствие

IEC декларацията за съответствие представлява изявление на производителя, който декларира на своя собствена отговорност, че цялото оборудване, всички процедури или услуги се отнасят и съответстват на конкретни стандарти (директиви) или други нормативни документи.

IEC декларацията за съответствие трябва да съдържа следната информация:

- име и адрес на производителя или неговия европейски представител;
- описание на продукта;
- изброяване на хармонизираните стандарти и директиви, които се имат предвид;
- изброяване на техническите спецификации за съответствие;
- двете последни цифри от годината на получаване на знака CE;
- идентификация на лицата, подписали декларацията.

Един екземпляр на IEC декларацията за съответствие трябва да се пази от производителя или неговия представител заедно с техническата документация.

1 Стандарти

1.2 IEC стандарти за електрически инсталации

СТАНДАРТ	ГОДИНА	ЗАГЛАВИЕ
IEC 60027-1	1992	Буквени символи, използвани в електротехниката - Част 1: Общи положения
IEC 60034-1	2004	Въртящи се електрически машини - Част 1: Номинални и работни характеристики
IEC 60671-DB Snapshot	2007	Графични символи за схеми
IEC 61082-1	2006	Подготовка на документи използвани в електротехниката. Част 1: Общи изисквания
IEC 60038	2002	Стандартни напрежения на IEC
IEC 60664-1	2002	Координация на изолацията за съоръжения в системи за ниско напрежение - Част 1: Правила, изисквания и изпитвания
IEC 60909-0	2001	Токове на късо съединение в трифазни електрически системи за променливо напрежение - Част 0: Изчисляване на токовете
IEC 60865-1	1993	Токове на късо съединение. Изчисляване на въздействията - Част 1: Термини, определения и методи за изчисляване
IEC 60076-1	2000	Силови трансформатори - Част 1: Общи положения
IEC 60076-2	1993	Силови трансформатори - Част 2: Прегряване
IEC 60076-3	2000	Силови трансформатори - Част 3: Нива на изолацията, изпитвания на електрическата якост на изолацията и външни изолационни разстояния във въздух
IEC 60076-5	2006	Силови трансформатори - Част 5: Устойчивост на къси съединения
IEI/TR 60616	1978	Маркировки за клеми и изводи на силови трансформатори
IEC 60076-11	2004	Силови трансформатори - Част 11: Сухи трансформатори
IEC 60445	2006	Основни принципи и принципи за безопасност при взаимодействие човек-машина, маркировка и идентификация - Идентификация на изводи на съоръжения и на краища на проводници
IEC 60073	2002	Основни принципи и принципи за безопасност при взаимодействие човек-машина, маркиране и идентификация - Принципи за кодиране на индикатори и органи за задействане
IEC 60446	1999	Основни принципи и принципи за безопасност на взаимодействие човек - машина, маркировка и идентификация - Идентификация на проводници чрез цветове и цифри
IEC 60447	2004	Основни принципи и принципи за безопасност на взаимодействие човек-машина, маркировка и идентификация - Принципи на действие
IEC 60947-1	2004	Комутационни апарати за ниско напрежение - Част 1: Общи правила
IEC 60947-2	2006	Комутационни апарати за ниско напрежение - Част 2: Автоматични прекъсвачи

1 Стандарти

СТАНДАРТ	ГОДИНА	ЗАГЛАВИЕ
IEC 60947-3	2005	Комутационни апарати за ниско напрежение - Част 3: Товарови прекъсвачи, разединители, товаров прекъсвач-разединители и апарати комбинирани с предпазители
IEC 60947-4-1	2002	Комутационни апарати за ниско напрежение - Част 4: Контактори и пускатели за двигатели - Електромеханични контактори и пускатели за двигатели
IEC 60947-4-2	2007	Комутационни апарати за ниско напрежение - Част 4-2: Контактори и пускатели за двигатели - Променливотокови полупроводникови контролери и пускатели за двигатели
IEC 60947-4-3	2007	Комутационни апарати за ниско напрежение - Част 4-3: Контактори и пускатели за двигатели - Променливотокови полупроводникови контролери и контактори за товари, различни от двигатели
IEC 60947-5-1	2003	Комутационни апарати за ниско напрежение - Част 5-1: Апарати и комутационни елементи във веригите за управление - Електромеханични апарати във веригите за управление
IEC 60947-5-2	2004	Комутационни апарати за ниско напрежение - Част 5-2: Апарати и комутационни елементи във веригите за управление - Прекъсвачи, задействащи се при приближаване
IEC 60947-5-3	2005	Комутационни апарати за ниско напрежение - Част 5-3: Апарати и комутационни елементи във веригите за управление - Изисквания за апарати, задействащи се при приближаване с определено поведение при условия на повреда
IEC 60947-5-4	2002	Комутационни апарати за ниско напрежение - Част 5: Апарати и комутационни елементи във веригите за управление - Раздел 4: Методи за оценяване на характеристиките на ниско енергийни контакти. Специални изпитвания
IEC 60947-5-5	2005	Комутационни апарати за ниско напрежение - Част 5-5: Апарати и комутационни елементи във веригите за управление – Електрическо устройство за аварийно спиране с механична заключваща функция
IEC 60947-5-6	1999	Комутационни апарати за ниско напрежение - Част 5-6: Апарати и комутационни елементи във веригите за управление - Постояннотоков интерфейс за чувствителни елементи, задействащи се при приближаване и превключващи усилватели (NAMUR)
IEC 60947-6-1	2005	Комутационни апарати за ниско напрежение - Част 6-1: Многофункционално оборудване – Преносно комутационно оборудване
IEC 60947-6-2	2002	Комутационни апарати за ниско напрежение - Част 6-1: Многофункционално оборудване – Комутационни устройства (или оборудване) за управление и защита (CPS)
IEC 60947-7-1	2002	Комутационни апарати за ниско напрежение - Част 7: Спомагателно оборудване – Раздел 1: Клеми за медни проводници

1 Стандарти

СТАНДАРТ	ГОДИНА	ЗАГЛАВИЕ
IEC 60947-7-2	2002	Комутационни апарати за ниско напрежение - Част 7: Спомагателни принадлежности – Раздел 2: Клемни за медни защитни проводници
IEC 60439-1	2004	Комплектни комутационни устройства за ниско напрежение - Част 1: Типово изпитани и частично типово изпитани комплектни комутационни устройства
IEC 60439-2	2005	Комплектни комутационни устройства за ниско напрежение - Част 2: Специфични изисквания за магистрални шинопроводи
IEC 60439-3	2001	Комплектни комутационни устройства за ниско напрежение - Част 3: Специфични изисквания за комплектни комутационни устройства за ниско напрежение, предназначени за монтаж в места, където при тяхното използване имат достъп неквалифицирани лица - Разпределителни табла
IEC 60439-4	2004	Комплектни комутационни устройства за ниско напрежение - Част 4: Специфични изисквания за комплектни комутационни устройства за строителни площадки
IEC 60439-5	2006	Комплектни комутационни устройства за ниско напрежение - Част 5: Специфични изисквания за комплектни комутационни устройства предназначени за разпределяне на енергия в електрическите мрежи за обществени места
IEC 61095	2000	Електромеханични контактори за битови и подобни приложения
IEC/TR 60890	1987	Метод на оценка на температурното повишение чрез екстраполация на частично типово изпитани уредби (РТТА) на комплектни комутационни устройства ниско напрежение
IEC/TR 61117	1992	Метод на оценка на устойчивост на късо съединение на частично типово изпитани уредби (РТТА)
IEC 60092-303	1980	Електрически инсталации на кораби. Част 303: Оборудване – Силови трансформатори и трансформатори за осветление
IEC 60092-301	1980	Електрически инсталации на кораби. Част 301: Оборудване – Генератори и двигатели
IEC 60092-101	2002	Електрически инсталации на кораби - Част 101: Определения и общи изисквания
IEC 60092-401	1980	Електрически инсталации на кораби - Част 401: Монтаж и изпитване на електрически инсталации
IEC 60092-201	1994	Електрически инсталации на кораби - Част 201: Проектиране на системи – Общи положения
IEC 60092-202	1994	Електрически инсталации на кораби - Част 202: Проектиране на системи – Защита

1 Стандарти

СТАНДАРТ	ГОДИНА	ЗАГЛАВИЕ
IEC 60092-302	1997	Електрически инсталации на кораби - Част 302: Комплектни комутационни устройства ниско напрежение
IEC 60092-350	2001	Електрически инсталации на кораби - Част 350: Силови кабели за кораби – Общи изисквания за конструкцията и изпитанията
IEC 60092-352	2005	Електрически инсталации на кораби - Част 352: Избиране и полагане на електрически кабели
IEC 60364-5-52	2001	Електрически инсталации на сгради – Част 5-52: Избиране и монтаж на електрическо оборудване – проводникови системи
IEC 60227		Кабели с изолация от поливинилхлорид за номинални напрежения до 450/750 V включително
	1998	Част 1: Общи изисквания
	2003	Част 2: Методи на изпитване
	1997	Част 3: Кабели без обвивка за неподвижен монтаж
	1997	Част 4: Кабели с обвивка за неподвижен монтаж
	2003	Част 5: Гъвкави кабели (шнурове)
	2001	Част 6: Асансьорни кабели и кабели за гъвкави връзки
	2003	Част 7: Гъвкави кабели екранирани и неекранирани с два или повече проводника
IEC 60228	2004	Токпроводими жила на изолирани кабели
IEC 60245		Кабели с каучукова изолация за обявено напрежение до 450/750 V включително.
	2003	Част 1: Общи изисквания
	1998	Част 2: Методи на изпитване
	1994	Част 3: Топлинно устойчиви кабели със силиконова изолация
	2004	Част 4: Шнурове и гъвкави кабели
	1994	Част 5: Асансьорни кабели
	1994	Част 6: Кабели за електродръгово заваряване
	1994	Част 7: Топлинно устойчиви кабели с изолация от EVA (етилен-винил-ацетат)
	2004	Част 8: Шнурове за приложения, изискващи голяма гъвкавост
IEC 60309-2	2005	Щепселни съединения за промишлени цели - Част 2: Изисквания за размерите за взаимозаменяемост на щифта и контактната тръба
IEC 61008-1	2006	Дефектнотокови защити без интегриран автоматичен прекъсвач срещу свръхток, за битова и подобна употреба (АПЗОТ) - Част 1: Общи правила
IEC 61008-2-1	1990	Дефектнотокови защити без интегриран автоматичен прекъсвач срещу свръхток за битова и подобна употреба (АПЗОТ). Част 2-1: Приложимост на общите правила за АПЗОТ, функционално независими от напрежението на електрическата мрежа

1 Стандарти

СТАНДАРТ	ГОДИНА	ЗАГЛАВИЕ
IEC 61008-2-2	1990	Дефектнотокови защиты без интегриран автоматичен прекъсвач срещу свръхток за битова и подобна употреба (АПЗОТ). Част 2-2: Приложимост на общите правила за АПЗОТ, функционално зависими от напрежението на електрическата мрежа
IEC 61009-1	2006	Дефектнотокови защиты с интегриран автоматичен прекъсвач срещу свръхток за битова и подобна употреба (АПЗОТ) - Част 1: Общи правила
IEC 61009-2-1	1991	Дефектнотокови защиты с интегриран автоматичен прекъсвач срещу свръхток за битова и подобна употреба (АПЗОТ). Част 2-1: Приложимост на общите правила за АПЗОТ, функционално независими от напрежението на електрическата мрежа
IEC 61009-2-2	1991	Дефектнотокови защиты без интегриран автоматичен прекъсвач срещу свръхток за битова и подобна употреба (АПЗОТ) - Част 2-2: Приложимост на общите правила за АПЗОТ, функционално зависими от напрежението на електрическата мрежа
IEC 60670-1	2002	Кутии и конзоли за електрически принадлежности за битови и подобни неподвижни електрически инсталации - Част 1: Общи изисквания
IEC 60669-2-1	2002	Превключватели за битови и подобни неподвижни електрически инсталации - Част 2-1: Специфични изисквания - Електронни ключове
IEC 60669-2-2	2006	Превключватели за битови и подобни неподвижни електрически инсталации - Част 2: Специфични изисквания – Раздел 2: Ключове с дистанционно управление
IEC 60669-2-3	2006	Превключватели за битови и подобни неподвижни електрически инсталации - Част 2-3: Специфични изисквания –Ключове с времезакъснение
IEC 60079-10	2002	Електрическа апаратура за експлозивни газове среди - Част 10: Класификация на опасни зони
IEC 60079-14	2002	Електрическа апаратура за експлозивни газове среди - Част 14: Електрически уредби в опасни зони (различни от мини)
IEC 60079-17	2002	Електрическа апаратура за експлозивни газове среди. Част 17 - Преглед и поддържане на електрически уредби в опасни зони (различни от мини)
IEC 60269-1	2006	Стояеми предпазители за ниско напрежение - Част 1: Общи изисквания
IEC 60269-2	2006	Стояеми предпазители за ниско напрежение. Част 2: Допълнителни изисквания за стояемите предпазители, предназначени да се използват от квалифицирани лица (предпазители предимно за промишлено приложение) примери за стандартизирани системи за стояеми предпазители А до

1 Стандарти

СТАНДАРТ	ГОДИНА	ЗАГЛАВИЕ
IEC 60269-3	2006	Стопиеми предпазители за ниско напрежение - Част 3-1: Допълнителни изисквания за стопиемите предпазители, предназначени да се използват от неквалифицирани лица (предпазители предимно за бита и подобни приложения) – Раздели до V: примери за стандартизирани системи за стопиеми предпазители A до F
IEC 60127-1/10		Миниатюрни стопиеми предпазители.
	2006	Част 1: Термини и определения за миниатюрни стопиеми предпазители и общи изисквания за миниатюрни предпазители със стопиема вложка
	2003	Част 2: Капсуловани патрони
	1998	Част 3: Свърхминиатюрни патрони
	2005	Част 4: Универсални модулни патрони (UMF)
	1988	Част 5: Указания за оценяване на качеството миниатюрни стопиеми предпазители
	1994	Част 6: Държатели на предпазител за миниатюрни капсуловани патрони
	2001	Част 10: Ръководство за потребители на миниатюрни стопиеми предпазители
IEC 60364-1	2005	Електрически инсталации ниско напрежение - Част 1: Основни принципи, оценка на общите характеристики, определения
IEC 60364-4-41	2005	Електрически инсталации на сгради – Част 4-41: Защити по безопасност – Защита срещу електрически удар
IEC 60364-4-42	2001	Електрически инсталации на сгради – Част 4-42: Защити по безопасност – Защита срещу топлинни въздействия
IEC 60364-4-43	2001	Електрически инсталации на сгради – Част 4-43: Защити по безопасност – Защита срещу свръхтокове
IEC 60364-4-44	2006	Електрически инсталации на сгради – Част 4-44: Защити по безопасност – Защита срещу смущения в напрежението и електромагнитни смущения
IEC 60364-5-51	2005	Електрически инсталации на сгради – Част 5-51: Избор и монтаж на електрическо оборудване. Общи правила
IEC 60364-5-52	2001	Електрически инсталации на сгради – Част 5-52: Избор и монтаж на електрическо оборудване. Проводникови системи
IEC 60364-5-53	2002	Електрически инсталации на сгради – Част 5-53: Избор и монтаж на електрическо оборудване. Изолация, комутация и управление
IEC 60364-5-54	2002	Електрически инсталации на сгради – Част 5-54: Избор и монтаж на електрическо оборудване. Заземителни устройства и защитни проводници

1 Стандарти

СТАНДАРТ	ГОДИНА	ЗАГЛАВИЕ
IEC 60364-5-55	2002	Електрически инсталации на сгради – Част 5-55: Избор и монтаж на електрическо оборудване. Друго оборудване
IEC 60364-6	2006	Електрически инсталации на сгради – Част 6: Проверка
IEC 60364-7	1984/2006	Електрически инсталации на сгради – Част 7:Изисквания за специални инсталации и места
IEC 60529	2001	Степени на защита, осигурени от таблата (IP ког)
IEC 61032	1997	Защита на лица и съоръжения посредством табла. Пробници за проверка
IEC/TR 61000-1-1	1992	Електромагнитна съвместимост (ЕМС). Част 1: Общи положения - Раздел 1: Прилагане и тълкуване на основните определения и термини
IEC/TR 61000-1-3	2002	Електромагнитна съвместимост (ЕМС). Част 1-3: Общи положения – Въздействия на електромагнитните импулси при големи надморски височини върху гражданско оборудване и системи

2 Защита на захранващи линии

2.1 Въведение

Следващите определения за електрически инсталации са взети от стандарта IEC 60050.

Характеристики на инсталациите

Електрическа инсталация (на сграда) Съвкупност от свързано електрическо оборудване, изпълняващо специфично предназначение и притежаващо координирани характеристики.

Източник на захранване на електрическата инсталация Точката, от която се доставя електрическа енергия в инсталацията.

Неутрален проводник (символ N) Проводник свързан с неутралната точка на системата, който може да извършва пренос на електрическа енергия.

Защитен проводник (PE) Проводник необходим за защитни мерки от електрически удар, на която и да е от следните електрически свързвани части:

- достъпни проводящи части;
- външни проводящи части;
- главна заземителна клема;
- заземителен електропровод;
- заземена точка на източника или изкуствена неутрала.

PEN проводник Заземен проводник, комбиниращ функциите на защитен и неутрален проводник

Околна температура Температура на въздуха или друга среда, в която се използва оборудването.

Напрежения

Номинално напрежение (на инсталация) Напрежението, за което е проектирана инсталацията или част от инсталацията.

Забележка: Действителното напрежение може да се различава от номиналното напрежение със стойности в рамките на допустимия толеранс.

Токове

Проектен ток (на верига) Токът, предвиден да се провежда от веригата при нормални работни условия.

Допустимо токово натоварване (Номинален ток на проводник) Максималният ток, който може да бъде провеждан продължително от проводник при определени условия без температурата му в установеното състояние да превиши конкретна стойност.

Наднорминален ток (Свърхток) Всеки ток, превишаващ номиналната стойност. За проводниците номиналната стойност е допустимото токово натоварване.

Ток на претоварване (на верига) Наднорминален ток, възникващ във веригата без наличие на електрическа повреда.

Ток на късо съединение Наднорминален ток, причинен от повреда с пренебрежим импеданс между проводници под напрежение, имащи разлика в потенциала при нормални работни условия.

2 Защита на захранващи линии

Конвенционален работен ток (на защитно устройство) Определена стойност на тока, която води до сработване на защитното устройство в рамките на определен период от време, наричано конвенционално време.

Установяване на свръхток Функция установяваща, че стойността на тока във веригата превишава предварително зададена стойност за определен продължителен период от време.

Ток на утечка Електрически ток по нежелан път на провеждане, различен от пътя на тока на късо съединение.

Ток на повреда Ток, протичащ в дадена точка на мрежата в резултат от повреда в друга точка на тази мрежа.

Кабелна система

Кабелна система Система от кабел, кабелни или събирателни шини и частите за свързването им и, ако е необходимо, за изолирането им.

Електрически вериги

Електрическа верига (на инсталация) Съвкупността от електрическото оборудване на една инсталация, захранвано от един и същ източник и предпазвано от свръхтокове от едни и същи защитни устройства.

Разпределителна мрежа (на сграда) Верига, захранваща разпределително табло.

Крайна верига (на сграда) Верига, свързана директно към работещите с електричество устройства или към контактите.

Друго оборудване

Електрическо оборудване Всяко устройство използвано за генериране, преобразуване, пренос, разпределение или приложение на електрическа енергия, като машини, трансформатори, апарати, измервателни прибори, защитни устройства, оборудване за кабелни системи, електроуреди.

Оборудване, използващо електрически ток Оборудване, предназначено да преобразува електрическа енергия в друг вид енергия, например светлинна, топлинна или двигателна сила.

Комплектни разпределителни устройства Оборудване, предназначено да бъде свързано към електрическа верига с цел изпълняване на една или повече от следните функции: защита, управление, изолация, комутация.

Преносимо оборудване Оборудване, което се премества докато е в експлоатация, или което лесно може да бъде преместено от едно място на друго докато е свързано към захранването.

Ръчно оборудване Преносимо оборудване, предназначено да се държи в ръка по време на нормалната му работа, в което двигателят, ако има такъв, представлява неразделна част от оборудването.

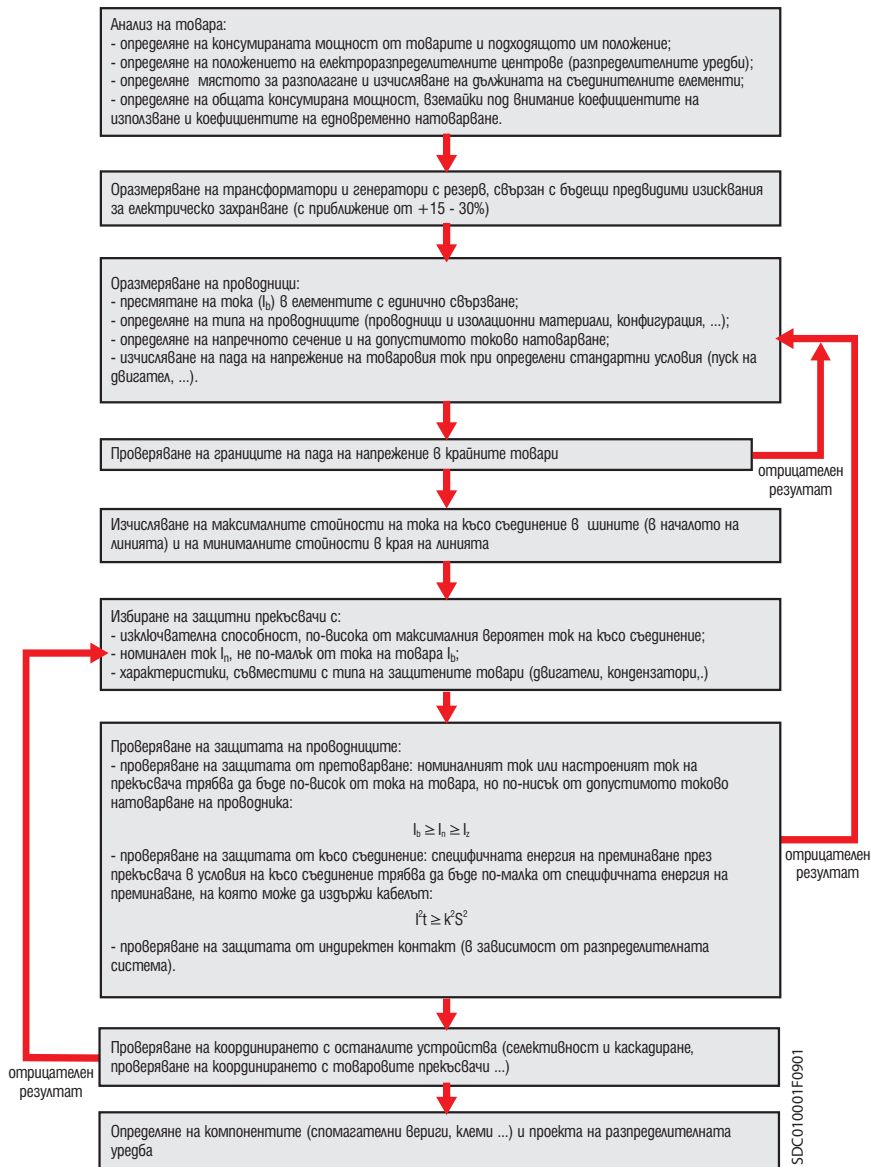
Стационарно оборудване Фиксирано оборудване или оборудване, което няма дръжка за пренасяне или е с такава маса, че не може лесно да бъде преместено.

Фиксирано оборудване Оборудване, закрепено към опора или свързано по друг начин към определено място.

2 Защита на захранващи линии

Оразмеряване на инсталации

На блок схемата по-долу е показана процедура, която може да се следва за правилно оразмеряване на една инсталация.



2 Защита на захранващи линии

2.2 Полагане и оразмеряване на кабели

За правилното оразмеряване на кабелите е необходимо:

- да се избере типа кабели и метода на полагане в зависимост от средата;
- да се избере сечение в зависимост от тока на товара;
- да се провери пада на напрежение

2.2.1 Допустимо токово натоварване и методи на полагане

Избиране на кабелите

Международният стандарт, определящ полагането и изчисляването на допустимото токово натоварване на кабели в жилищни и промишлени сгради, е IEC 60364-5-52 “Електрически инсталации на сгради – Част 5-52 Избор и монтаж на кабелни системи за електрическо оборудване”.

При избиране типа на кабела се използват следните параметри:

- проводящ материал (мед или алуминий): изборът зависи от изискванията за цена, размер и тегло, устойчивост на корозивни среди (химически реагенти или оксидиращи елементи). Най-общо казано, допустимото токово натоварване на медните проводници е около 30% по-голямо от допустимото токово натоварване на алуминиевите проводници със същото сечение. Алуминиевите проводници със същото сечение имат електрическо съпротивление около 60% по-голямо и тегло половин или една трета по-малко от тези на медните проводници.
 - изолационен материал (без такъв, PVC, XLPE-EPR): изолационният материал влияе върху максималната температура при нормални условия и при условия на късо съединение и следователно на размера на сечението на кабела (виж Глава 2.4 “Защита от късо съединение”).
 - типът на проводника (неизолиран проводник, едножилен кабел без защитна обвивка, едножилен кабел със защитна обвивка, многожилен кабел) се избира според механичната устойчивост, степенята на изолация, и сложността на инсталацията (завои, връзки по трасето, бариери ...), характерни за метода на полагане.
- В таблица 1 са показани типовете проводници, разрешени за различните методи на полагане.

Таблица 1: Избиране на проводникови системи

Метод на полагане								
Проводници и кабели	Без крепежни елементи	Директно закрепен	Кабелни склади (включително склади в пода склади)	Кабелен канал в строителна кухня	Кабелни лавици - хоризонтални и вертикални кабели скоби	На изолатори	Носещо въже	
Неизолирани проводници	-	-	-	-	-	+	-	
Изолирани проводници	-	-	+	+	+	-	+	-
Кабели със защитна обвивка (включително бронирани и кабели с минерална изолация)	Многожилни	+	+	+	+	+	0	+
	Едножилни	0	+	+	+	+	0	+

0 Неприложимо или обикновено неизползвано в практиката
+ Разрешено
- Неразрешено

2 Защита на захранващи линии

За промишлени инсталации рядко се използват многожилни кабели със сечение, по-голямо от 95 мм2.

Методи на полагане

За да се определи допустимото токово натоварване на проводника и по този начин да се намери подходящото сечение за тока на товара трябва измежду методите на полагане, описани в споменатите стандарти, да се определи този метод, който най-пълно съответства на действителното изпълнение на полагането.

От таблици 2 и 3 може да се определи идентификационния номер на инсталацията, метода на полагане (A1, A2, B1, B2, C, D, E, F, G) и таблиците за определяне на теоретично допустимото токово натоварване на проводника и всички корекционни коефициенти, необходими за конкретната околна среда и изпълнението на полагането.

Таблица 2: Метод на полагане

Метод на полагане								
Изпълнение на полагането	Без крепежни елементи	С крепежни елементи	Тръба	Кабелни скрути (Включително сепарирани канали, скрити в пода канали)	Кабелен канал в строителна кухня	Кабелни лавици – вертикални и хоризонтални Кабелни скоби	На изолатори	Носещо въже
Строителни кухни	40, 46 15, 16	0	15, 16	-	0	30, 31, 32, 33, 34	-	-
Кабелен канал	56	56	54, 55	0	44	30, 31, 32, 33, 34	-	-
Положени в земя	72, 73	0	70, 71	-	70, 71	0	-	-
Вградени в конструкцията	57, 58	3	1, 2 59, 60	50, 51, 52, 53	44, 45	0	-	-
Повърхностен монтаж	-	20, 21	4, 5	6, 7, 8, 9, 12, 13, 14	6, 7, 8, 9	30, 31, 32, 33, 34	36	-
Въздушни	-	-	0	10, 11	-	30, 31, 32, 33, 34	36	35

Числото във всяка клетка показва номера на метода на полагане в Таблица 3

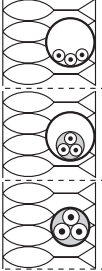
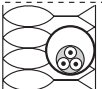
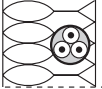
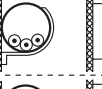
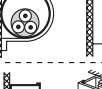
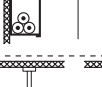
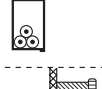
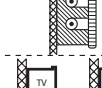
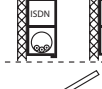
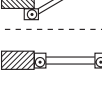
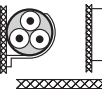
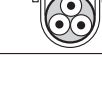
"0" Неприложимо или обикновено не се използва в практиката

"-" Неразрешено

2 Защита на захранващи линии

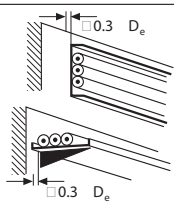
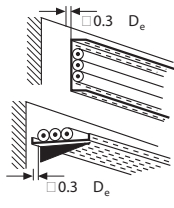
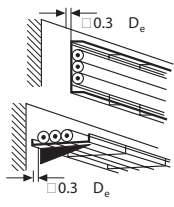
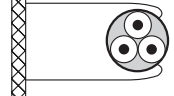
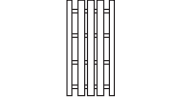
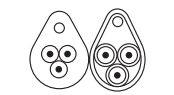
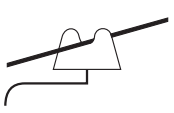
Таблица 3: Примери за методите на полагане

1SDC010001F0201

Метод на полагане	Номер	Описание	Референтен метод на полагане, използван за намиране на допустимото токово натоварване
 Room	1	Изолирани проводници или едножилни кабели в тръба в термично изолирана стена	A1
 Room	2	Многожилни кабели в тръба в термично изолирана стена	A2
 Room	3	Многожилни кабели директно в термично изолирана стена	A1
	4	Изолирани проводници или едножилни кабели в тръба върху дървена или зидана стена и на разстояние от нея по-малко от 0,3 пъти диаметъра на тръбата	B1
	5	Многожилен кабел в тръба върху дървена или зидана стена и на разстояние от нея по-малко от 0,3 пъти диаметъра на тръбата	B2
	6 7	Изолирани проводници или едножилни кабели в кабелен канал върху дървена стена – положени хоризонтално (6) – положени вертикално (7)	B1
	8 9	Изолирани проводници или едножилни кабели в окачен кабелен канал (8) Многожилен кабел в окачен кабелен канал (9)	B1 (8) или B2 (9)
	12	Изолирани проводници или едножилен кабел, положени в корнизи	A1
	13 14	Изолирани проводници или едножилни кабели в сепариран канал (13) Многожилен кабел в сепариран канал (14)	B1 (13) или B2 (14)
	15	Изолирани проводници или многожилен кабел в архитрав	A1
	16	Изолирани проводници в тръба или едножилен/многожилен кабел в рамка за прозорец	A1
	20 21	Едножилни или многожилни кабели: - закрепени на, или на разстояние от дървена стена (20) по-малко от 0,3 пъти диаметъра на кабела - закрепени директно под дървен таван (21)	C

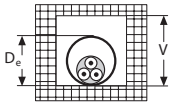
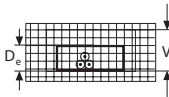
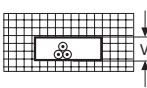
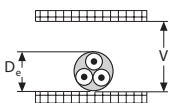
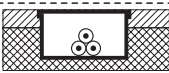
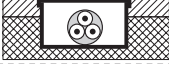
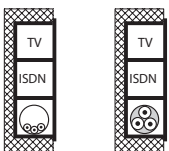
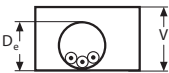
2 Защита на захранващи линии

1SDC010002F0201

Метод на полагане	Номер	Описание	Референтен метод на полагане, използван за намиране на допустимото токово натоварване
	30	Върху неперфорирана лавица	C
	31	Върху перфорирана лавица	E или F
	32	На скоби или носеща мрежа	E или F
	33	На разстояние от стената повече от 0,3 пъти диаметъра на кабела	E, F или G
	34	На вертикална скара	E или F
	35	Еждножилен или многожилен кабел окачен на или съдържащ носещо въже	E или F
	36	Неизолирани или изолирани проводници върху изолатори	G

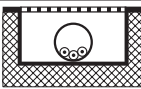
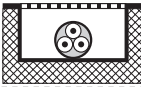
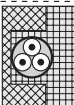
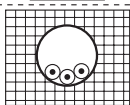
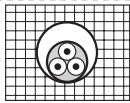
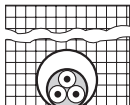
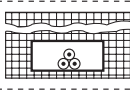
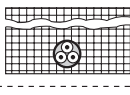
2 Защита на захранващи линии

1SDC010002F0201

Метод на полагане	Номер	Описание	Референтен метод на полагане, използван за намиране на допустимото токово натоварване
	40	Едножилен или многожилен кабел в строителна кухня	$1.5 D_e \leq V < 20 D_e$ B2 $V \geq 20 D_e$ B1
	24	Изолирани проводници в кабелен канал в строителна кухня	$1.5 D_e \leq V < 20 D_e$ B2 $V \geq 20 D_e$ B1
	44	Изолирани проводници в кабелен канал в зидана стена със специфично термично съпротивление не по-голямо от 2 Kt/W	$1.5 D_e \leq V < 5 D_e$ B2 $5 D_e \leq V < 50 D_e$ B1
	46	Едножилен или многожилен кабел: - в окачен таван - в повдигнат пог1)	$1.5 D_e \leq V < 5 D_e$ B2 $5 D_e \leq V < 50 D_e$ B1
	50	Изолирани проводници или едножилен кабел в скрит кабелен канал в пода	B1
	51	Многожилен кабел в скрит кабелен канал в пода	B2
	52 53	Изолирани проводници или едножилни кабели във въграден кабелен канал (52) Многожилен кабел във въграден кабелен канал (53)	B1 (52) или B2 (53)
	54	Изолирани проводници или едножилни кабели в кабелен канал без вентилация, положен хоризонтално или вертикално2)	$1.5 D_e \leq V < 20 D_e$ B2 $V \geq 20 D_e$ B1

2 Защита на захранващи линии

1SDC010003F0201

Метод на полагане	Номер	Описание	Референтен метод на полагане, използван за намиране на допустимото токово натоварване
	55	Изолирани проводници в тръба в отворен кабелен канал или кабелен канал с вентилация в пода	B1
	56	Едножилен или многожилен кабел със защитна обвивка в отворен кабелен канал или кабелен канал с вентилация, положен хоризонтално или вертикално	B1
	57	Едножилен или многожилен кабел положен директно в зидана стена с термична устойчивост не по-голяма от 2 Kt/W Без допълнителна механична защита	C
	58	Едножилен или многожилен кабел положен директно в зидана стена с термична устойчивост не по-голяма от 2 Kt/W С допълнителна механична защита	C
	59	Изолирани проводници или едножилни кабели в тръба в зидана стена	B1
	60	Многожилни кабели в тръба в зидана стена	B2
	70	Многожилен кабел в тръба или кабелен канал в земята	D
	71	Едножилен кабел в тръба или кабелен канал в земята	D
	72	Едножилни или многожилни кабели със защитна обвивка директно в земя - без допълнителна механична защита	D
	73	Едножилни или многожилни кабели със защитна обвивка директно в земята - с допълнителна механична защита	D

1) De е външният диаметър на многожилен кабел:

- 2,2 x диаметъра на кабела, когато три едножилни кабела са свързани в триъгълник, или
- 3 x диаметъра на кабела, когато три едножилни кабела са положени в равнинно разположение.

2) De е външният диаметър на тръба или вертикалната дълбочина на кабелен канал

V е по-малкият размер или диаметър на канал в зидана стена или кухня, вертикалната дълбочина на правоъгълен канал, кухня в под или таван.

Дълбочината на канала е по-важна от ширината му.

2 Защита на захранващи линии

Инсталации неположени в земята: избиране на сечение в зависимост от допустимото токово натоварване и типа на полагането

Допустимото токово натоварване на кабел, който не е положен в земята, се получава по формулата:

$$I_z = I_0 k_1 k_2 = I_0 k_{tot}$$

където:

- I_0 е допустимото токово натоварване на единичен проводник при 30°С температура на околната среда;
- k_1 е корекционния коефициент за температура на околната среда, различна от 30°С;
- k_2 е корекционния коефициент за кабели, полагани в редове или снопове на няколко опори.

Корекционен коефициент k_1

Допустимото токово натоварване на кабелите, които не са положени в земята, се отнася за околна температура 30°С. Ако околната температура на мястото на полагане е различна от тази температура, трябва да се използва корекционния коефициент k_1 от Таблица 4 в зависимост от изолационния материал.

Таблица 4: Корекционен коефициент за температура на околния въздух, различна от 30°С

Околна температура °С	Поливинилхлорид (ПВЦ)	XLPE и EPR	Изолация	
			Минерална ^(a)	
			С покритие от поливинилхлорид или неизолиран и достъпен за допир 70 °С	Неизолиран и недостъпен за допир 105 °С
10	1.22	1.15	1.26	1.14
15	1.17	1.12	1.20	1.11
20	1.12	1.08	1.14	1.07
25	1.06	1.04	1.07	1.04
35	0.94	0.96	0.93	0.96
40	0.87	0.91	0.85	0.92
45	0.79	0.87	0.87	0.88
50	0.71	0.82	0.67	0.84
55	0.61	0.76	0.57	0.80
60	0.50	0.71	0.45	0.75
65	–	0.65	–	0.70
70	–	0.58	–	0.65
75	–	0.50	–	0.60
80	–	0.41	–	0.54
85	–	–	–	0.47
90	–	–	–	0.40
95	–	–	–	0.32

^(a) За по-високи стойности на околната температура се консултирайте с производителя

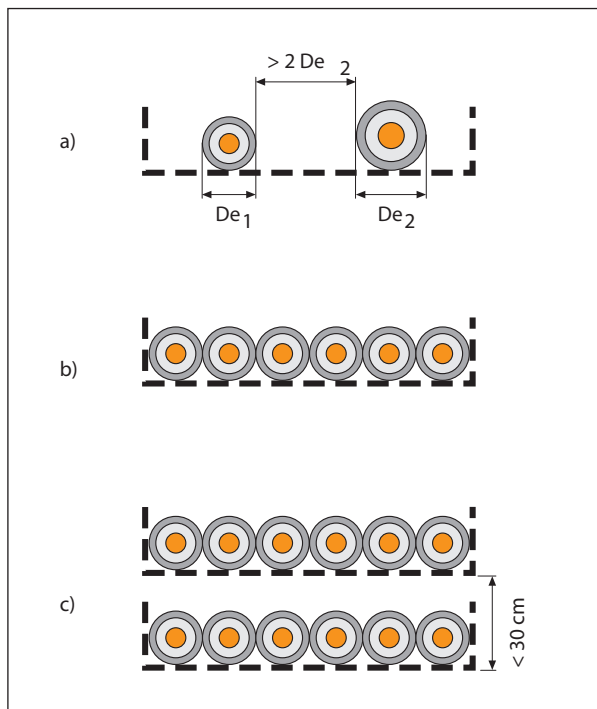
2 Защита на захранващи линии

Корекционен коефициент k_2

Допустимото токово натоварване се влияе от наличието на други кабели инсталирани в близост. Разсейването на топлината от единичен кабел е различно от това на същия кабел, положен близо до други проводници. Коефициентът k_2 е определен в зависимост от начина на полагане на кабели, разположени близо един до друг в ред или в сноп.

Определение на „кабели разположени в ред или в сноп“

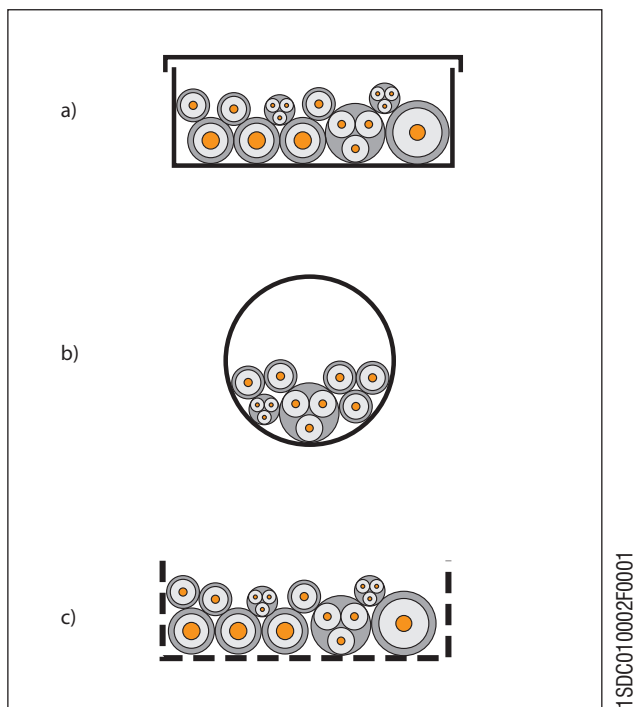
В ред: Няколко кабелни вериги, положени успоредно една до друга, на разстояние или плътно, хоризонтално или вертикално. Кабели в ред се полагат на стена, лавица, таван, под или на вертикална кабелна скара;



Кабели в редове: а) на разстояние; б) плътно; в) на два реда

В сноп: Няколко кабелни вериги, които са една до друга и не са положени в ред. Няколко реда, положени върху една и съща опора (например лавица) се считат за сноп.

2 Защита на захранващи линии



Кабелен сноп: а) в канал; б) в тръба; в) върху перфорирана лавица

Стойността на корекционния коефициент k_2 е 1, когато:

- кабелите са на разстояние един от друг:
 - два едножилни кабела, принадлежащи към различни вериги са на разстояние един от друг, ако разстоянието между тях е по-голямо от два пъти външния диаметър на кабела с по-голямото сечение;
 - два многожилни кабела са на разстояние един от друг, когато разстоянието между тях е най-малко равно на външния диаметър на по-големия кабел;
- съседните кабели са натоварени по-малко от 30% от допустимото им токово натоварване.

Корекционните коефициенти за кабели в снопове или кабели в редове се изчисляват, като се приема, че сноповете се състоят от подобни кабели, които са еднакво натоварени. Група от кабели се счита, че се състои от подобни кабели, когато изчисляването на допустимото токово натоварване е базирано на същата максимална допустима работна температура и когато сечението на проводниците е в границите на три прилежащи стандартни сечения (т.е. от 10 до 25 mm²).

2 Защита на захранващи линии

Кофициентът на редукция за сноп, съдържаща изолирани кабели с различни сечения или за кабели в тръби, кабелни канали или кабелни лавици е:

k2 = 1 / sqrt(n)

където:

- k2 е редуktionния коэффициент на групата;
- n е броя на веригите в снопа.

Полученият по тази формула редуktionен коэффициент намалява опасността от претоварване на кабели с по-малко напречно сечение, но може да доведе до непълно оползотворяване на кабели с по-голямо напречно сечение. Такова непълно оползотворяване може да се избегне, ако не се смесват в една група кабели с голямо и с малко сечение.

В следващите таблици е показан редуktionният коэффициент (k2).

Таблица 5: Редуktionен коэффициент за групирани кабели

№	Разполагане (кабелите са допрени един до друг)	Брой на вериги или многожилни кабели												Да се използва с допустимото токово натоварване
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	16	20	
1	В снопове във въздуха, върху повърхност, вградени или в обвивка	1.00	0.80	0.70	0.65	0.60	0.57	0.54	0.52	0.50	0.45	0.41	0.38	Мемогу А го F
2	Единичен ред кабели на стена, под или неперфорирана лавица	1.00	0.85	0.79	0.75	0.73	0.72	0.72	0.71	0.70				
3	Единичен ред кабели, закрепен директно под дървен таван	0.95	0.81	0.72	0.68	0.66	0.64	0.63	0.62	0.61	Не е необходимо понататъшно редуциране за повече от 9 вериги или многожилни кабели			Мемог C
4	Единичен ред кабели на перфорирана хоризонтална или вертикална лавица	1.00	0.88	0.82	0.77	0.75	0.73	0.73	0.72	0.72				
5	Единичен ред кабели на кабелна скара или рейка и т.н.	1.00	0.87	0.82	0.80	0.80	0.79	0.79	0.78	0.78				Мемогу E и F

ЗАБЕЛЕЖКА 1 Тези коэффициенти са приложими за унифициране на групи от кабели с еднакво натоварване.

ЗАБЕЛЕЖКА 2 Когато хоризонталното разстояние между прилежащите кабели превиши два пъти техния външен диаметър, не е необходимо да се прилага редуktionен коэффициент

ЗАБЕЛЕЖКА 3 Едни и същи коэффициенти се прилагат за:

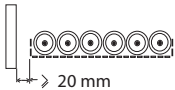
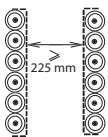
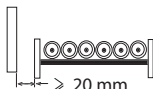
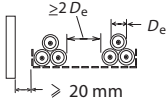
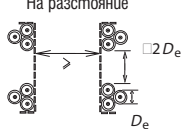
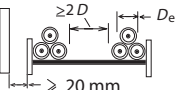
- групи от два или три едножилни кабела;
- многожилни кабели.

ЗАБЕЛЕЖКА 4 Ако системата се състои от двужилни и от трижилни кабели, се взема общия брой на кабелите за брой на веригите и за двужилните кабели се прилага съответния коэффициент от таблиците за два натоварени проводника, а за трижилните кабели от таблиците за три натоварени проводника.

2 Защита на захранващи линии

Таблица 6: Редукционен коефициент за едножилни кабели при метод на полагане F

1SDC010004F0201

3			Брой на лавиците	Брой на трифазните вериги (Забележка 4)			Да се използва като множител за оразмеряване за
				1	2	3	
Перфорирани лавици (Забележка 2)	31		1 2 3	0.98 0.96 0.95	0.91 0.87 0.85	0.87 0.81 0.78	Три кабела хоризонтално разположени
Вертикални перфорирани лавици (Забележка 3)	31		1 2	0.96 0.95	0.86 0.84	– –	Три кабела вертикално разположени
Скари, рейки и т.н. (Забележка 2)	32 33 34		1 2 3	1.00 0.98 0.97	0.97 0.93 0.90	0.96 0.89 0.86	Три кабела хоризонтално разположени
Перфорирани лавици (Забележка 2)	31		1 2 3	1.00 0.97 0.96	0.98 0.93 0.92	0.96 0.89 0.86	
Вертикални перфорирани лавици (Забележка 3)	31		1 2	1.00 1.00	0.91 0.90	0.89 0.86	Три кабела в триъгълна група
Скари, рейки и т.н. (Забележка 2)	32 33 34		1 2 3	1.00 0.97 0.96	1.00 0.95 0.94	1.00 0.93 0.90	

ЗАБЕЛЕЖКА 1 Коефициентите са дадени за единични редове кабели (или за триъгълни групи), както е показано в таблицата, и не се отнасят за кабели, положени в повече от един ред допиращи се един до друг. Стойностите за такава инсталация могат да бъдат значително по-ниски и трябва да се определят по подходящ метод.

ЗАБЕЛЕЖКА 2 Стойностите са дадени за вертикално разстояние между лавиците 300 мм. За по-малко разстояние коефициентите трябва да бъдат редуцирани.

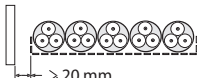
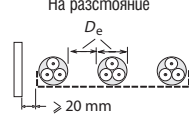
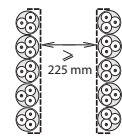
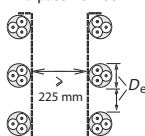
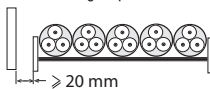
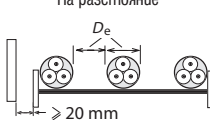
ЗАБЕЛЕЖКА 3 Стойностите са дадени за хоризонтално разстояние между лавиците 225 мм с монтирани лавици гръб към гръб и най-малко 20 мм между лавица и стена. За по-малки разстояния коефициентите трябва да бъдат редуцирани.

ЗАБЕЛЕЖКА 4 За вериги с повече от един кабел в паралел на фаза, всеки трифазен набор от проводници трябва да се разглежда като верига при прилагане на тази таблица.

2 Защита на захранващи линии

Таблица 7: Редукционен коефициент за многожилни кабели при метод на полагане Е

1SDC010005F0201

3			Брой на лавиците	Брой кабели					
				1	2	3	4	6	9
Перфорирани лавици (Забележка 2)	31	 С допиране $\geq 20\text{ mm}$	1	1.00	0.88	0.82	0.79	0.76	0.73
		2	1.00	0.87	0.80	0.77	0.73	0.68	
		3	1.00	0.86	0.79	0.76	0.71	0.66	
		 На разстояние D_e $\geq 20\text{ mm}$	1	1.00	1.00	0.98	0.95	0.91	–
		2	1.00	0.99	0.96	0.92	0.87	–	
		3	1.00	0.98	0.95	0.91	0.85	–	
Вертикални перфорирани лавици (Забележка 3)	31	 С допиране $\geq 225\text{ mm}$	1	1.00	0.88	0.82	0.78	0.73	0.72
		2	1.00	0.88	0.81	0.76	0.71	0.70	
		 На разстояние $\geq 225\text{ mm}$ D_e	1	1.00	0.91	0.89	0.88	0.87	–
		2	1.00	0.91	0.88	0.87	0.85	–	
Скари, рейки и т.н. (Забележка 2)	32 33 34	 С допиране $\geq 20\text{ mm}$	1	1.00	0.87	0.82	0.80	0.79	0.78
		2	1.00	0.86	0.80	0.78	0.76	0.73	
		3	1.00	0.85	0.79	0.76	0.73	0.70	
		 На разстояние D_e $\geq 20\text{ mm}$	1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	–
		2	1.00	0.99	0.98	0.97	0.96	–	
		3	1.00	0.98	0.97	0.96	0.93	–	

ЗАБЕЛЕЖКА 1 Коефициентите са дадени за единични редове кабели, както е показано по-горе, и не се отнасят за кабели, положени в повече от един ред, допиращи се един до друг. Стойностите за такава инсталация могат да бъдат значително по-ниски и трябва да се определят по подходящ метод.

ЗАБЕЛЕЖКА 2 Стойностите са дадени за вертикално разстояние между лавиците 300 мм и най-малко 20 мм между лавица и стена. За по-малко разстояние коефициентите трябва да бъдат редуцирани.

ЗАБЕЛЕЖКА 3 Стойностите са дадени за хоризонтално разстояние между лавиците 225 мм с монтирани лавици гръб към гръб. За по-малки разстояния коефициентите трябва да бъдат редуцирани.

2 Защита на захранващи линии

Обобщение:

За определяне сечението на кабелите се използват следните процедури:

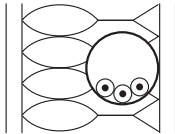
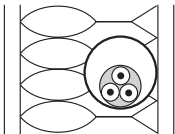
1. От Таблица 3 се определя метода на полагане;
2. От Таблица 4 се определя корекционния коефициент k_1 в зависимост от изолационния материал и температурата на околната среда;
3. Използва се Таблица 5 за кабели, положени в ред или сноп, Таблица 6 за едножилни кабели в ред на няколко опори, Таблица 7 за многожилни кабели в ред на няколко опори или се използва формулата, дадена за случая на група кабели с различни сечения за определяне корекционния коефициент k_2 , съответстващ на броя на веригите или многожилните кабели;
4. Изчислява се стойността на тока I'_b като се раздели тока на товара I_b (или номиналният ток на защитното устройство) на произведението на изчислените корекционни коефициенти:

$$I'_b = \frac{I_b}{k_1 k_2} = \frac{I_b}{k_{tot}}$$

5. От Таблица 8 или Таблица 9 в зависимост от метода на полагане, изолацията и проводящия материал и от броя на проводниците под напрежение се определя сечението на кабела с токово натоварване $I_0 \geq I'_b$;
6. Действителното допустимо токово натоварване на кабела се изчислява като $I_z = I_0 k_1 k_2$.

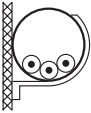
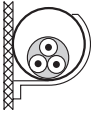
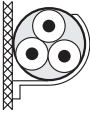
2 Защита на захранващи линии

Таблица 8: Допустимо токово натоварване на кабели с изолация от поливинилхлорид или EPR/XPLE (метод А - В - С)

	Метод на полагане	A1								A2									
																			
	Проводник	Cu				Al				Cu				Al					
	Изолация	XLP E EPR		PV C		XLPE EPR		PVC		XLPE EPR		PVC		XLP E EPR		PVC		XLPE EPR	
S[mm ²]	Натоварени проводници	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3
1.5		19	17	14.5	13.5					18.5	16.5	14	13					23	20
2.5		26	23	19.5	18	20	19	15	14	25	22	18.5	17.5	19.5	18	14.5	13.5	31	28
4		35	31	26	24	27	25	20	18.5	33	30	25	23	26	24	19.5	17.5	42	37
6		45	40	34	31	35	32	26	24	42	38	32	29	33	31	25	23	54	48
10		61	54	46	42	48	44	36	32	57	51	43	39	45	41	33	31	75	66
16		81	73	61	56	64	58	48	43	76	68	57	52	60	55	44	41	100	88
25		106	95	80	73	84	76	63	57	99	89	75	68	78	71	58	53	133	117
35		131	117	99	89	103	94	77	70	121	109	92	83	96	87	71	65	164	144
50		158	141	119	108	125	113	93	84	145	130	110	99	115	104	86	78	198	175
70		200	179	151	136	158	142	118	107	183	164	139	125	145	131	108	98	253	222
95		241	216	182	164	191	171	142	129	220	197	167	150	175	157	130	118	306	269
120		278	249	210	188	220	197	164	149	253	227	192	172	201	180	150	135	354	312
150		318	285	240	216	253	226	189	170	290	259	219	196	230	206	172	155		
185		362	324	273	245	288	256	215	194	329	295	248	223	262	233	195	176		
240		424	380	321	286	338	300	252	227	386	346	291	261	307	273	229	207		
300		486	435	367	328	387	344	289	261	442	396	334	298	352	313	263	237		
400																			
500																			
630																			

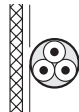
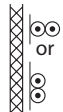
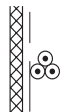
2 Защита на захранващи линии

1SDC010006F0201

B1								B2								C							
																							
Cu				Al				Cu				Al				Cu				Al			
PVC				XLP E EPR		PVC		XLP E EPR		PVC		XLP E EPR		PVC		XLP E EPR		PVC		XLPE/EP R		P VC	
	2	3		2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3
	17.5	15.5						22	19.5	16.5	15					24	22	19.5	17.5				
	24	21	25	22	18.5	16.5		30	26	23	20	23	21	17.5	15.5	33	30	27	24	26	24	21	18.5
	32	28	33	29	25	22.0		40	35	30	27	31	28	24	21	45	40	36	32	35	32	28	25
	41	36	43	38	32	28		51	44	38	34	40	35	30	27.0	58	52	46	41	45	41	36	32
	57	50	59	52	44	39		69	60	52	46	54	48	41	36	80	71	63	57	62	57	49	44
	76	68	79	71	60	53		91	80	69	62	72	64	54	48	107	96	85	76	84	76	66	59
	101	89	105	93	79	70		119	105	90	80	94	84	71	62	138	119	112	96	101	90	83	73
	125	110	130	116	97	86		146	128	111	99	115	103	86	77	171	147	138	119	126	112	103	90
	151	134	157	140	118	104		175	154	133	118	138	124	104	92	209	179	168	144	154	136	125	110
	192	171	200	179	150	133		221	194	168	149	175	156	131	116	269	229	213	184	198	174	160	140
	232	207	242	217	181	161		265	233	201	179	210	188	157	139	328	278	258	223	241	211	195	170
	269	239	281	251	210	186		305	268	232	206	242	216	181	160	382	322	299	259	280	245	226	197
																441	371	344	299	324	283	261	227
																506	424	392	341	371	323	298	259
																599	500	461	403	439	382	352	305
																693	576	530	464	508	440	406	351

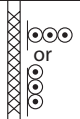
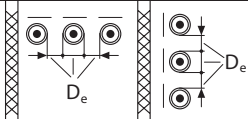
2 Защита на захранващи линии

Таблица 8: Допустимо токово натоварване на кабели с изолация от поливинилхлорид или EPR/XPLE (метод E - F - G)

	Метод на полагане		E								F									
																				
		Проводник	Cu		Al		Cu		Al		Cu		Al		Cu		Al			
		Изолация	XLPE EPR	PVC	XLPE EPR	PVC	XLPE EP R	PVC	XLPE EP R	PVC	XLPE EP R	PVC	XLPE EPR	PVC	XLPE EP R	PVC				
S[mm ²]	Натоварени проводници	2				3				2				3						
	1.5	26	22			23	18.5													
	2.5	36	30	28	23	32	25	24	19.5											
	4	49	40	38	31	42	34	32	26											
	6	63	51	49	39	54	43	42	33											
	10	86	70	67	54	75	60	58	46											
	16	115	94	91	73	100	80	77	61											
	25	149	119	108	89	127	101	97	78	161	131	121	98	135	110	103	84			
	35	185	148	135	111	158	126	120	96	200	162	150	122	169	137	129	105			
	50	225	180	164	135	192	153	146	117	242	196	184	149	207	167	159	128			
	70	289	232	211	173	246	196	187	150	310	251	237	192	268	216	206	166			
	95	352	282	257	210	298	238	227	183	377	304	289	235	328	264	253	203			
120	410	328	300	244	346	276	263	212	437	352	337	273	383	308	296	237				
150	473	379	346	282	399	319	304	245	504	406	389	316	444	356	343	274				
185	542	434	397	322	456	364	347	280	575	463	447	363	510	409	395	315				
240	641	514	470	380	538	430	409	330	679	546	530	430	607	485	471	375				
300	741	593	543	439	621	497	471	381	783	629	613	497	703	561	547	434				
400									940	754	740	600	823	656	663	526				
500									1083	868	856	694	946	749	770	610				
630									1254	1005	996	808	1088	855	899	711				

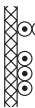
2 Защита на захранващи линии

1SDC010100F0201

				G							
											
Cu		Al		Cu		Al					
XLPE EPR	PVC	XLPE EPR	PVC	XLPE EPR	PVC	XLPE EPR	PVC				
3				3H	3V	3H	3V	3H	3V	3H	3V
141	114	107	87	182	161	146	130	138	122	112	99
176	143	135	109	226	201	181	162	172	153	139	124
216	174	165	133	275	246	219	197	210	188	169	152
279	225	215	173	353	318	281	254	271	244	217	196
342	275	264	212	430	389	341	311	332	300	265	241
400	321	308	247	500	454	396	362	387	351	308	282
464	372	358	287	577	527	456	419	448	408	356	327
533	427	413	330	661	605	521	480	515	470	407	376
634	507	492	392	781	719	615	569	611	561	482	447
736	587	571	455	902	833	709	659	708	652	557	519
868	689	694	552	1085	1008	852	795	856	792	671	629
998	789	806	640	1253	1169	982	920	991	921	775	730
1151	905	942	746	1454	1362	1138	1070	1154	1077	900	852

2 Защита на захранващи линии

Таблица 9: Допустимо токово натоварване на кабели с минерална изолация

	Метод на полагане									
		Температура на металната защитна обвивка 70°C			Температура на металната защитна обвивка 105°C			Температура на металната защитна обвивка		
		Покрити с поливинилхлорид или неизолирани достъпни за допир			Неизолирани кабели недостъпни за допир			Покрити с поливинилхлорид или неизолирани достъпни за допир		
		Натоварени проводници								
										
	S [mm ²]	2	3	3	2	3	3	2	3	
500 V	1.5	23	19	21	28	24	27	25	21	
	2.5	31	26	29	38	33	36	33	28	
	4	40	35	38	51	44	47	44	37	
750 V	1.5	25	21	23	31	26	30	26	22	
	2.5	34	28	31	42	35	41	36	30	
	4	45	37	41	55	47	53	47	40	
	6	57	48	52	70	59	67	60	51	
	10	77	65	70	96	81	91	82	69	
	16	102	86	92	127	107	119	109	92	
	25	133	112	120	166	140	154	142	120	
	35	163	137	147	203	171	187	174	147	
	50	202	169	181	251	212	230	215	182	
	70	247	207	221	307	260	280	264	223	
	95	296	249	264	369	312	334	317	267	
	120	340	286	303	424	359	383	364	308	
	150	388	327	346	485	410	435	416	352	
	185	440	371	392	550	465	492	472	399	
	240	514	434	457	643	544	572	552	466	

ЗАБЕЛЕЖКА 1 При едножилни кабели защитната обвивка на кабелите във веригата е монолитна.

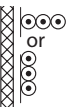
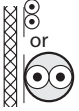
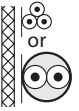
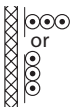
ЗАБЕЛЕЖКА 2 При голи кабели достъпни за допир стойностите трябва да се умножат с 0,9.

ЗАБЕЛЕЖКА 3 De е външният диаметър на кабела.

ЗАБЕЛЕЖКА 4 При температура на металната защитна обвивка 105°C не се прави корекция за групиране

2 Защита на захранващи линии

1SDC010007F0201

E или F				G			
70°C		Температура на метаната защитна обвивка 105°C		Температура на метаната защитна обвивка 70°C		Температура на метаната защитна обвивка 105°C	
		Неизолирани кабели недостъпни за допир		Покрити с поливинилхлорид или неизолирани достъпни за допир		Неизолирани кабели недостъпни за допир	
	or		or				
3		2	3	3		3	3
23		31	26	29		26	37
31		41	35	39		34	49
41		54	46	51		45	64
26		33	28	32		28	40
34		45	38	43		37	54
45		60	50	56		49	70
57		76	64	71		62	89
77		104	87	96		84	120
102		137	115	127		110	157
132		179	150	164		142	204
161		220	184	200		173	248
198		272	228	247		213	304
241		333	279	300		259	370
289		400	335	359		309	441
331		460	385	411		353	505
377		526	441	469		400	565
426		596	500	530		446	629
496		697	584	617		497	704

2 Защита на захранващи линии

Полагане в земята: избиране на сечение в зависимост от допустимото токово натоварване и типа на полагане

Допустимото токово натоварване на кабел, положен в земята, се изчислява по следната формула:

$$I_z = I_0 k_1 k_2 k_3 = I_0 k_{tot}$$

където:

- I_0 е допустимото токово натоварване на единичен проводник за полагане в земя при 20°C температура;
- k_1 е корекционният коефициент за температурата на земята, различна от 20°C;
- k_2 е корекционният коефициент за близко положени кабели;
- k_3 е корекционният коефициент, ако специфичното топлинно съпротивление на почвата е различно от приетата стойност 2,5 Kт/W.

Корекционен коефициент k_1

Допустимото токово натоварване на кабели, положени в земята, се отнася за температура на почвата 20°C. Ако температурата на почвата е различна от тази стойност, трябва да се използва корекционния коефициент k_1 , показан в Таблица 10 в зависимост от изолационния материал.

Таблица 10: Корекционни коефициенти за температура на почвата, различна от 20°C

Температура на почвата °C	Изолация	
	Поливинилхлорид	XLPE и EPR
10	1.10	1.07
15	1.05	1.04
25	0.95	0.96
30	0.89	0.93
35	0.84	0.89
40	0.77	0.85
45	0.71	0.80
50	0.63	0.76
55	0.55	0.71
60	0.45	0.65
65	–	0.60
70	–	0.53
75	–	0.46
80	–	0.38

2 Защита на захранващи линии

Корекционен коефициент k_1

Допустимото токово натоварване се влияе от наличието на други кабели, положени в близост. Разсейването на топлината от единичен кабел е различно от това на същия кабел, положен близо до други проводници.

Корекционният коефициент k_2 се получава по следната формула:

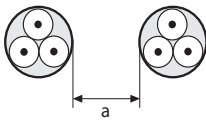
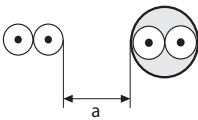
$$k_2 = k_2' \cdot k_2''$$

В Таблицы 11, 12 и 13 са показани стойностите на k_2' за едножилни и многожилни кабели, които са положени директно в земята, или които са положени в заровени тръби в зависимост от разстоянието им до други кабели или разстоянието между тръбите.

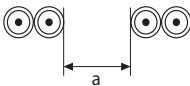
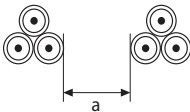
Таблица 11: Редукционни коефициенти за кабели, положени директно в земята

Брой на веригите	Нула (допиране на кабелите)	Един кабелен диаметър	Разстояние от кабел до кабел (a)		
			0.125 m	0.25 m	0.5 m
2	0.75	0.80	0.85	0.90	0.90
3	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85
4	0.60	0.60	0.70	0.75	0.80
5	0.55	0.55	0.65	0.70	0.80
6	0.50	0.55	0.60	0.70	0.80

Многожилни кабели



Едножилни кабели



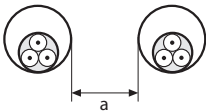
ЗАБЕЛЕЖКА Дадените стойности се отнасят за дълбочина на полагане 0,7 м и специфично топлинно съпротивление на почвата 2,5 Kт/W.

2 Защита на захранващи линии

Таблица 12: Редукционни коефициенти за многожилни кабели, положени в единични кабелни канали в земята

Брой на веригите	Нула (допиране на кабелите)	Разстояние от кабел до кабел (a)		
		0.25 m	0.5 m	1.0 m
2	0.85	0.90	0.95	0.95
3	0.75	0.85	0.90	0.95
4	0.70	0.80	0.85	0.90
5	0.65	0.80	0.85	0.90
6	0.60	0.80	0.80	0.90

Многожилни кабели



ЗАБЕЛЕЖКА Дадените стойности се отнасят за дълбочина на полагане 0,7 м и топлинно специфично съпротивление на почвата 2,5 Kt/W.

Таблица 13: Редукционни коефициенти за едножилни кабели, положени в единични кабелни канали в земята

Брой едножилни вериги от два или три кабела	Нула (допиране на тръбите)	Разстояние от тръба до тръба (a)		
		0.25 m	0.5 m	1.0 m
2	0.80	0.90	0.90	0.95
3	0.70	0.80	0.85	0.90
4	0.65	0.75	0.80	0.90
5	0.60	0.70	0.80	0.90
6	0.60	0.70	0.80	0.90

Едножилни кабели



ЗАБЕЛЕЖКА Дадените стойности се отнасят за дълбочина на полагане 0,7 м и топлинно специфично съпротивление на почвата 2,5 Kt/W.

2 Защита на захранващи линии

За корекционен коефициент k_2''

- За кабели, положени директно в земята, или ако няма други проводници в същата тръба, стойността на k_2'' е 1;
- Ако няколко проводника с подобни размери се намират в една и съща тръба (значението на “група от подобни проводници” вижте по-горе), k_2'' се получава от първия ред на Таблица 5;
- Ако проводниците са с различни размери, корекционният коефициент се изчислява по формулата:

$$k_2'' = \frac{1}{\sqrt{n}}$$

където

n е броят на веригите в тръбата.

Корекционен коефициент k_3

Специфичното топлинно съпротивление на почвата оказва влияние на разсейването на топлината в нея. Почви с ниско специфично топлинно съпротивление спомагат за разсейването на топлината, докато почви с високо топлинно съпротивление ограничават разсейването на топлината. В IEC 60364-5-52 е дадена референтна стойност за специфичното топлинно съпротивление на почвата 2,5 Kt/W.

Таблица 14: Корекционни коефициенти за специфично топлинно съпротивление на почвата, различно от 2,5 Kt/W

Специфично топлинно съпротивление Kt/W	1	1.5	2	2.5	3
Корекционен коефициент	1.18	1.1	1.05	1	0.96

ЗАБЕЛЕЖКА 1: Общата точност на корекционните коефициенти е в границите 5%.

ЗАБЕЛЕЖКА 2: Корекционните коефициенти са приложими за кабели, изтеглени в положени в земята тръби; за кабели, положени директно в земята, корекционните коефициенти за специфично топлинно съпротивление по-малко от 2,5 Kt/W, ще бъдат по-големи. Когато са необходими по-точни стойности, те могат да се изчислят по методите, описани в IEC 60287.

ЗАБЕЛЕЖКА 3: Корекционните коефициенти се прилагат за тръби, положени на дълбочина до 0,8 м.

2 Защита на захранващи линии

Като обобщение:

За определяне сечението на кабелите се използва следната процедура:

1. От Таблица 10 се определя корекционния коефициент k_1 в зависимост от изолационния материал и температурата на почвата;
2. От Таблица 11, Таблица 12, Таблица 13 или от формулата за групи кабели с различни размери се определя корекционния коефициент k_2 в зависимост от разстоянието между кабелите или тръбите;
3. От Таблица 14 се определя корекционния коефициент k_3 , съответстващ на специфичното топлинно съпротивление на почвата;
4. Изчислява се стойността на тока I'_b като се раздели тока на товара I_b (или номиналният ток на защитното устройство) на произведението на изчислените корекционни коефициенти:

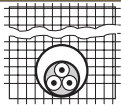
$$I'_b = \frac{I_b}{k_1 k_2 k_3} = \frac{I_b}{k_{tot}}$$

5. От Таблица 15 се определя сечението на кабелите с $I_0 \geq I'_b$ в зависимост от метода на полагане, изолацията, проводящия материал и броя на проводниците под напрежение;
6. Действителното допустимо токово натоварване се изчислява чрез:

$$I_z = I_0 k_1 k_2 k_3$$

Таблица 15: Допустимо токово натоварване на кабели, положени в земята

1SDC010008F0201

	Метод на полагане	D							
									
	Проводник	Cu				Al			
	Изолация	XLPE EPR		PVC		XLPE EPR		PVC	
$S(mm^2)$	Натоварени проводници	2	3	2	3	2	3	2	3
1.5		26	22	22	18				
2.5		34	29	29	24	26	22	22	18.5
4		44	37	38	31	34	29	29	24
6		56	46	47	39	42	36	36	30
10		73	61	63	52	56	47	48	40
16		95	79	81	67	73	61	62	52
25		121	101	104	86	93	78	80	66
35		146	122	125	103	112	94	96	80
50		173	144	148	122	132	112	113	94
70		213	178	183	151	163	138	140	117
95		252	211	216	179	193	164	166	138
120		287	240	246	203	220	186	189	157
150		324	271	278	230	249	210	213	178
185		363	304	312	258	279	236	240	200
240		419	351	361	297	322	272	277	230
300		474	396	408	336	364	308	313	260

2 Защита на захранващи линии

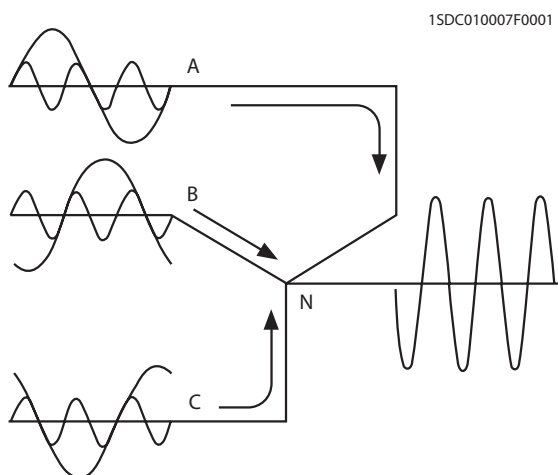
Забележки относно таблиците за допустимо токово натоварване на проводници

Таблицы 8, 9 и 15 дават допустимото токово натоварване на проводници, провеждащи ток при нормални работни условия. В еднофазните вериги броят на натоварените проводници е два. В балансирани или леко небалансирани трифазни вериги броят на натоварените проводници е три, тъй като токът в нулевия проводник е пренебрежим. В трифазните системи с голям дисбаланс, нулралният проводник провежда ток, получен от дисбаланса във фазовите токове. Увеличението на температурата, дължащо се на тока в нулралата, се компенсират от намаляването на топлината генерирана от един или повече от фазовите проводници. В този случай размерът на проводника трябва да се избере на базата на най-високия фазов ток. Във всички случаи нулралният проводник трябва да има подходящо сечение.

Въздействие на хармоничните токове върху балансирани трифазни системи: редукионни коефициенти за хармонични токове в четирижилни и петжилни кабели с четири токопроводящи жила

Когато нулралният проводник провежда ток без съответна редукция в товара на фазовите проводници, токът, протичащ в нулралния проводник, трябва да бъде взет предвид при определяне на допустимото токово натоварване на веригата.

Този ток в нулралата се дължи на фазовите токове, съдържащи хармоници, които не се компенсират взаимно в нулралния проводник. Най-значителният хармоник, който не се анулира в нулралата, обикновено е третият хармоник. Стойността на тока в нулралата, дължащ се на третия хармоник, може да превиши стойността на тока със зададената честота. В такъв случай тока в нулралата ще има значително въздействие върху допустимото токово натоварване на веригата.



2 Защита на захранващи линии

Устройствата, които често създават значителни хармонични токове, са например флуоресцентните лампи и постоянно-токовите захранващи блокове, като тези използвани в компютрите (повече информация относно хармоничните смущения вижте в IEC 61000).

Редукионните коефициенти, дадени в Таблица 16, се отнасят само за балансираните трифазни вериги (токът в четвъртия проводник се дължи само на хармониците) и за кабели, където неутралният проводник е вътре в четирижилен или петжилен кабел, от същия материал е и е със същото сечение като фазовите проводници. Тези редукионни коефициенти са изчислени на базата на третия хармоничен ток. Ако се очакват значителни, т.е. повече от 10%, високи хармоници (например 9-ти, 12-ти и т.н.) или има изместване на фазите с повече от 50%, то могат да се прилагат по-малки редукионни коефициенти: тези коефициенти могат да се изчислят само като се вземе предвид реалната форма на тока в натоварените фази.

Когато се очаква неутралният ток да е по-висок от фазовия ток, то сечението на кабела трябва да се избере на базата на неутралния ток.

Когато изборът на сечението на кабела се базира на неутралния ток, който не е значително по-висок от фазовия ток, е необходимо да се редуцира табличното допустимо токово натоварване за трите натоварени проводника.

Ако неутралният ток е повече от 135% от фазовия ток и размерът на кабела е избран на базата на неутралния ток, тогава трите фазови проводника няма да бъдат напълно натоварени. Редукцията в топлината, генерирана от фазовите проводници, ще компенсира топлината, генерирана от неутралния проводник до степен, че няма да е необходимо да се прилага редукионен коефициент към допустимото токово натоварване за трите натоварени проводника.

Таблица 16: Редукионни коефициенти за хармонични токове в четирижилни и петжилни кабели

Съдържание на трети хармоник във фазовия ток		Редукионен коефициент			
%		Изборът на размера се базира на фазов ток	Ток, който трябва да се вземе предвид за избора на кабел I _b '	Изборът на размера се базира на неутрален ток	Ток, който трябва да се вземе предвид за избора на кабел I _b '
0	15	1	$I_b' = \frac{I_b}{k_{tot}}$	-	-
15	33	0.86	$I_b' = \frac{I_b}{k_{tot} \cdot 0.86}$	-	-
33	45	-	-	0.86	$I_b' = \frac{I_N}{0.86}$
> 45		-	-	1	$I_b' = I_N$

Където I_N е токът, протичащ в неутралата, изчислен по формулата: $I_N = \frac{I_b}{k_{tot}} \cdot 3 \cdot k_{III}$
I_b е тока на товара;
k_{tot} е крайния корекционен коефициент;
k_{III} е съдържанието на третия хармоник във фазовия ток;

2 Защита на захранващи линии

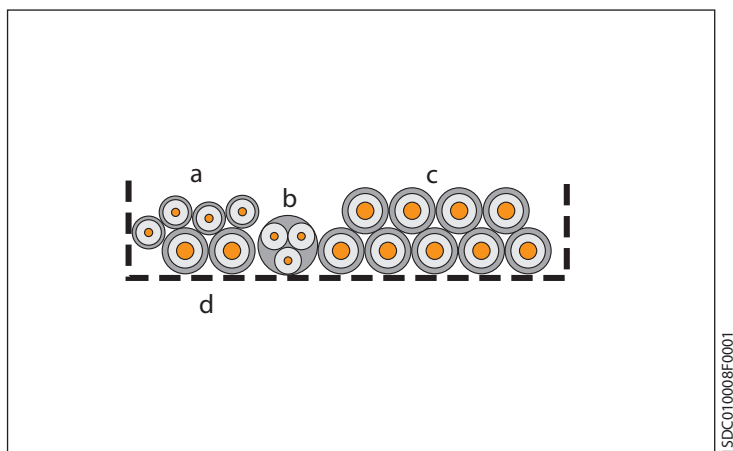
Пример за оразмеряване на кабел в балансирана трифазна верига без хармоници

Оразмеряване на кабел със следните характеристики:

- Материал на проводника: мед
- Материал на изолацията: поливинилхлорид
- Тип на кабела: многожилен
- Полагане: в кабелен сноп върху хоризонтална перфорирана лавица
- Ток на товара: 100 A

Условия на средата:

- Околна температура: 40°C
- Съседни вериги с:
 - а) трифазна верига, състояща се от 4 едножилни кабела, 4 x 50 мм²;
 - б) трифазна верига, състояща се от един многожилен кабел, 1x(3x50)мм²;
 - в) трифазна верига, състояща се от 9 едножилни (по 3 на фаза) кабела, 9x95мм²;
 - г) еднофазна верига, състояща се от 2 едножилни кабела, 2x70мм².



2 Защита на захранващи линии

Процедура:

Тип на полагане:

В Таблица 3 може да се намери номера и метода на полагане, който да се използва при изчисленията. В този пример номера е 31, който отговаря на метод Е (многожилен кабел върху лавица).

Корекционен коефициент за температура k_1

От Таблица 4 за температура 40°C и материал на изолация поливинилхлорид, $k_1=0,87$.

$$k_1 = 0.87$$

Корекционен коефициент за съседни прилежащи кабели k_2

За многожилни кабели, групирани върху перфорирана лавица, вижте Таблица 5. Като първа стъпка трябва да се определи броя на веригите или многожилните кабели като се има предвид, че:

- Всяка от веригите а), б) и г) образува отделна собствена верига;
- Веригата с) се състои от три вериги, тъй като е съставена от по три паралелни кабели за фаза;
- Кабелът, който трябва да се оразмери, е многожилен кабел и следователно представлява единична верига; общият брой на веригите е 7.

Като засечем в таблицата реда за типа разполагане (кабели в сноп) и колоната за броя на веригите (7), получаваме:

$$k_2 = 0.54$$

След като са определени k_1 и k_2 , I'_b се изчислява по формулата:

$$I'_b = \frac{I_b}{k_1 k_2} = \frac{100}{0.87 \cdot 0.54} = 212.85 \text{ A}$$

От Таблица 8 за многожилен меден кабел с поливинилхлоридна изолация, метод на полагане Е и с три натоварени проводника, се получава сечение с допустимо токово натоварване $I_0 \geq I'_b = 212.85 \text{ A}$. Кабел със сечение 95 mm² може да провежда 238 A при съответните условия съгласно стандарта.

Допустимото токово натоварване в зависимост от действителните условия на инсталацията е $I_z = 238 \cdot 0.87 \cdot 0.54 = 111.81 \text{ A}$.

2 Защита на захранващи линии

Пример за оразмеряване на кабел в балансирана трифазна верига със значително съдържание на трети хармоник

Оразмеряване на кабел със следните характеристики:

- Материал на проводника: мед
- Материал на изолацията: поливинилхлорид
- Тип на кабела: многожилен
- Полагане: ред върху хоризонтална перфорирана лавица
- Ток на товара: 115 А

Условия на средата:

- Околна температура: 30°C
- Без съседни вериги.

Процедура:

Тип на полагане:

В Таблица 3 може да се намери номера и метода на полагане, който да се използва при изчисленията.

В този пример номера е 31, който отговаря на метод Е (многожилен кабел върху лавица).

Корекционен коефициент за температура k_1

От Таблица 4 за температура 30°C и материал на изолация поливинилхлорид, $k_1 = 1$.

$$k_1 = 1$$

Корекционен коефициент за съседни кабели k_2

Тъй като няма съседни кабели, то $k_2 = 1$.

$$k_2 = 1$$

След като са определени k_1 и k_2 , I'_b се изчислява по формулата:

$$I'_b = \frac{I_b}{k_1 k_2} = 115 \text{ A}$$

2 Защита на захранващи линии

Ако няма хармоници, от Таблица 8 за многожилен меден кабел с поливинилхлоридна (PVC) изолация, метод на полагане E и с три натоварени проводника, се получава сечение с допустимо токово натоварване $I_b > I'_b = 115 \text{ A}$. Кабел със сечение 35 mm^2 може да провежда 126 A при референтни условия съгласно стандарта. Допустимото токово натоварване в зависимост от действителните условия на инсталацията е също 126 A , тъй като коефициентите k_1 и k_2 имат стойност 1.

Нека приемем, че съдържанието на третия хармоник е 28%.

От Таблица 16 се вижда, че при съдържание на третия хармоник от 28% кабелът трябва да е оразмерен за тока, който тече по фазовите проводници, но коригиран с корекционен коефициент равен на 0.86. Токът I'_b става:

$$I'_b = \frac{I_b}{k_1 \cdot k_2 \cdot 0.86} = \frac{115}{0.86} = 133.7 \text{ A}$$

От Таблица 8 трябва да се избере кабел с напречно сечение равно на 50 mm^2 с допустимо токово натоварване 153 A .

Ако съдържанието на третия хармоник е 40%, от Таблица 16 се вижда, че кабелът трябва да се оразмери в зависимост от тока в неутралния проводник и трябва да се приложи редукиционен коефициент равен на 0.86.

Токът в неутралния проводник е:

$$I_N = \frac{I_b}{K_{\text{tot}}} \cdot 3 \cdot k_{\text{III}} = 115 \cdot 3 \cdot 0.4 = 138 \text{ A}$$

а стойността на тока I'_b е:

$$I'_b = \frac{I_N}{0.86} = \frac{138}{0.86} = 160.5 \text{ A}$$

2 Защита на захранващи линии

2.2.2 Пад на напрежение

В една електрическа инсталация е важно да се знаят паговете на напрежение от точката на захранване до товара.

Работните характеристики на устройствата могат да бъдат влошени, когато напрежението е различно от номиналното. Например:

- **Двигатели:** въртящият момент е пропорционален на квадрата на напрежението на захранването; следователно при спадане на напрежението пусковият въртящ момент също ще спадне, това създава трудности при пускане на двигателя; максималният въртящ момент също ще се понижи;
 - **Лампи с нажежаема жичка:** колкото повече спадне напрежението, толкова по-слаб става лъчът и светлината придобива червен оттенък;
 - **Газоразрядни лампи:** по принцип те не са много чувствителни към малки промени в напрежението, но в определени случаи големите промени могат да причинят изгасването им;
 - **Електронни уреди:** те са много чувствителни към промените в напрежението и поради това са оборудвани със стабилизатори;
 - **Електромеханични устройства:** съответният стандарт определя, че за устройства като контактори и спомагателни защитни блокове има минимално напрежение, под което техните работни характеристики не могат да бъдат гарантирани. За контакторите например задържането на контактите става ненадежно при напрежение под 85% от номиналното.
- За ограничаване на тези проблеми стандартите задават следните граници:
- IEC 60364-5-52 "Електрически инсталации на сгради. Избор и монтаж на електрическо оборудване – Проводникови системи" Член 525 гласи, че "при отсъствие на други съображения се препоръчва на практика падът на напрежение между източника на захранване и оборудването да не бъде по-голям от 4% от номиналното напрежение на инсталацията". Други съображения включват пусковото време на двигателя и друго оборудване с висок пусков ток. Временни условия като преходни напрежения и промени в напрежението при аномална работа могат да не бъдат разглеждани.
 - IEC 60204-1 "Безопасност на машини – Електрическо оборудване на машини – Общи изисквания" Член 13.5 препоръчва: "Падът на напрежение от точката на захранване до товара не трябва да превишава 5% от номиналното напрежение при нормални условия на работа".
 - IEC 60364-7-714 "Електрически инсталации на сгради – Изисквания за специални инсталации или места – Външни осветителни инсталации" Член 714.512 изисква: "Падът на напрежение при нормална работа трябва да съответства на условията, произтичащи от пусковия ток на лампите".

2 Защита на захранващи линии

Изчисляване пада на напрежение

За електрически проводник с импеданс Z падът на напрежение се изчислява по следната формула:

$$\Delta U = kZI_b = kI_b \frac{L}{n} (r \cos \varphi + x \sin \varphi) \text{ [V]} \quad (1)$$

където

- k е коефициент, равен на
 - 2 за еднофазни и двуфазни системи;
 - $\sqrt{3}$ за трифазни системи;
- I_b [A] е тока на товара; ако няма такава информация, се взема допустимото токово натоварване на кабела;
- L [km] е дължината на проводника;
- n е броят на паралелните проводници за фаза;
- r [Ω /km] е активното съпротивление на единичния кабел за километър;
- x [Ω /km] е реактивното съпротивление на единичния кабел за километър;
- $\cos \varphi$ е фактора на мощността на товара:

$$\sin \varphi = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi}.$$

Обикновено процентната стойност по отношение на номиналната стойност U_r се изчислява по следния начин:

$$\Delta u \% = \frac{\Delta U}{U_r} 100 \quad (2)$$

Стойностите на активното и реактивно съпротивления за единица дължина се определят в следващата таблица според площта на сечението и състава на кабела за 50 Hz; в случай на 60 Hz, реактивното съпротивление трябва да се умножи на 1,2.

2 Защита на захранващи линии

Таблица 1: Съпротивление и реактивно съпротивление за единица дължина на медни кабели

S [mm ²]	едножълни кабели		дву/ трижълни кабели	
	r [Ω /km] 80 [°C]	x [Ω /km]	r [Ω /km] 80 [°C]	x [Ω /km]
1.5	14.8	0.168	15.1	0.118
2.5	8.91	0.156	9.08	0.109
4	5.57	0.143	5.68	0.101
6	3.71	0.135	3.78	0.0955
10	2.24	0.119	2.27	0.0861
16	1.41	0.112	1.43	0.0817
25	0.889	0.106	0.907	0.0813
35	0.641	0.101	0.654	0.0783
50	0.473	0.101	0.483	0.0779
70	0.328	0.0965	0.334	0.0751
95	0.236	0.0975	0.241	0.0762
120	0.188	0.0939	0.191	0.074
150	0.153	0.0928	0.157	0.0745
185	0.123	0.0908	0.125	0.0742
240	0.0943	0.0902	0.0966	0.0752
300	0.0761	0.0895	0.078	0.075

Таблица 2: Съпротивление и реактивно съпротивление за единица дължина на алуминиеви кабели

S [mm ²]	едножълни кабели		дву/ трижълни кабели	
	r [Ω /km] 80 [°C]	x [Ω /km]	r [Ω /km] 80 [°C]	x [Ω /km]
1.5	24.384	0.168	24.878	0.118
2.5	14.680	0.156	14.960	0.109
4	9.177	0.143	9.358	0.101
6	6.112	0.135	6.228	0.0955
10	3.691	0.119	3.740	0.0861
16	2.323	0.112	2.356	0.0817
25	1.465	0.106	1.494	0.0813
35	1.056	0.101	1.077	0.0783
50	0.779	0.101	0.796	0.0779
70	0.540	0.0965	0.550	0.0751
95	0.389	0.0975	0.397	0.0762
120	0.310	0.0939	0.315	0.074
150	0.252	0.0928	0.259	0.0745
185	0.203	0.0908	0.206	0.0742
240	0.155	0.0902	0.159	0.0752
300	0.125	0.0895	0.129	0.075

2 Защита на захранващи линии

В следващата таблица са показани стойностите на $\Delta U_x [V/(A \cdot km)]$ според площта на сечението и състава на кабела за най-често срещаните стойности на $\cos \varphi$.

Таблица 3: Специфичен пад на напрежение при $\cos \varphi = 1$ за медни кабели

S [mm ²]	едножилни кабели		двужилни кабели	трижилни кабели
	еднофазни	трифазни	еднофазни	трифазни
1.5	29.60	25.63	30.20	26.15
2.5	17.82	15.43	18.16	15.73
4	11.14	9.65	11.36	9.84
6	7.42	6.43	7.56	6.55
10	4.48	3.88	4.54	3.93
16	2.82	2.44	2.86	2.48
25	1.78	1.54	1.81	1.57
35	1.28	1.11	1.31	1.13
50	0.95	0.82	0.97	0.84
70	0.66	0.57	0.67	0.58
95	0.47	0.41	0.48	0.42
120	0.38	0.33	0.38	0.33
150	0.31	0.27	0.31	0.27
185	0.25	0.21	0.25	0.22
240	0.19	0.16	0.19	0.17
300	0.15	0.13	0.16	0.14

Таблица 4: Специфичен пад на напрежение при $\cos \varphi = 0,9$ за медни кабели

S [mm ²]	едножилни кабели		двужилни кабели	трижилни кабели
	еднофазни	трифазни	еднофазни	трифазни
1.5	26.79	23.20	27.28	23.63
2.5	16.17	14.01	16.44	14.24
4	10.15	8.79	10.31	8.93
6	6.80	5.89	6.89	5.96
10	4.14	3.58	4.16	3.60
16	2.64	2.28	2.65	2.29
25	1.69	1.47	1.70	1.48
35	1.24	1.08	1.25	1.08
50	0.94	0.81	0.94	0.81
70	0.67	0.58	0.67	0.58
95	0.51	0.44	0.50	0.43
120	0.42	0.36	0.41	0.35
150	0.36	0.31	0.35	0.30
185	0.30	0.26	0.29	0.25
240	0.25	0.22	0.24	0.21
300	0.22	0.19	0.21	0.18

2 Защита на захранващи линии

Таблица 5: Специфичен пад на напрежение при $\cos \varphi = 0,85$ за медни кабели

S [mm ²]	$\cos \varphi = 0,85$			
	едножилни кабели		двужилни кабели	трижилни кабели
	еднофазни	трифазни	еднофазни	трифазни
1.5	25.34	21.94	25.79	22.34
2.5	15.31	13.26	15.55	13.47
4	9.62	8.33	9.76	8.45
6	6.45	5.59	6.53	5.65
10	3.93	3.41	3.95	3.42
16	2.51	2.18	2.52	2.18
25	1.62	1.41	1.63	1.41
35	1.20	1.04	1.19	1.03
50	0.91	0.79	0.90	0.78
70	0.66	0.57	0.65	0.56
95	0.50	0.44	0.49	0.42
120	0.42	0.36	0.40	0.35
150	0.36	0.31	0.35	0.30
185	0.30	0.26	0.29	0.25
240	0.26	0.22	0.24	0.21
300	0.22	0.19	0.21	0.18

Таблица 6: Специфичен пад на напрежение при $\cos \varphi = 0,8$ за медни кабели

S [mm ²]	$\cos \varphi = 0,8$			
	едножилни кабели		двужилни кабели	трижилни кабели
	еднофазни	трифазни	еднофазни	трифазни
1.5	23.88	20.68	24.30	21.05
2.5	14.44	12.51	14.66	12.69
4	9.08	7.87	9.21	7.98
6	6.10	5.28	6.16	5.34
10	3.73	3.23	3.74	3.23
16	2.39	2.07	2.39	2.07
25	1.55	1.34	1.55	1.34
35	1.15	0.99	1.14	0.99
50	0.88	0.76	0.87	0.75
70	0.64	0.55	0.62	0.54
95	0.49	0.43	0.48	0.41
120	0.41	0.36	0.39	0.34
150	0.36	0.31	0.34	0.29
185	0.31	0.26	0.29	0.25
240	0.26	0.22	0.24	0.21
300	0.23	0.20	0.21	0.19

2 Защита на захранващи линии

Таблица 7: Специфичен пад на напрежение при $\cos \varphi = 0,75$ за медни кабели

S [mm ²]	$\cos \varphi = 0,75$			
	едножилни кабели		двужилни кабели	трижилни кабели
	еднофазни	трифазни	еднофазни	трифазни
1.5	22.42	19.42	22.81	19.75
2.5	13.57	11.75	13.76	11.92
4	8.54	7.40	8.65	7.49
6	5.74	4.97	5.80	5.02
10	3.52	3.05	3.52	3.05
16	2.26	1.96	2.25	1.95
25	1.47	1.28	1.47	1.27
35	1.10	0.95	1.08	0.94
50	0.84	0.73	0.83	0.72
70	0.62	0.54	0.60	0.52
95	0.48	0.42	0.46	0.40
120	0.41	0.35	0.38	0.33
150	0.35	0.31	0.33	0.29
185	0.30	0.26	0.29	0.25
240	0.26	0.23	0.24	0.21
300	0.23	0.20	0.22	0.19

Таблица 8: Специфичен пад на напрежение при $\cos \varphi = 1$ за алуминиеви кабели

S [mm ²]	$\cos \varphi = 1$			
	едножилни кабели		двужилни кабели	трижилни кабели
	еднофазни	трифазни	еднофазни	трифазни
1.5	48.77	42.23	49.76	43.09
2.5	29.36	25.43	29.92	25.91
4	18.35	15.89	18.72	16.21
6	12.22	10.59	12.46	10.79
10	7.36	6.39	7.48	6.48
16	4.65	4.02	4.71	4.08
25	2.93	2.54	2.99	2.59
35	2.11	1.83	2.15	1.87
50	1.56	1.35	1.59	1.38
70	1.08	0.94	1.10	0.95
95	0.78	0.67	0.79	0.69
120	0.62	0.54	0.63	0.55
150	0.50	0.44	0.52	0.45
185	0.41	0.35	0.41	0.36
240	0.31	0.27	0.32	0.28
300	0.25	0.22	0.26	0.22

2 Защита на захранващи линии

Таблица 9: Специфичен пад на напрежение при $\cos \varphi = 0,9$ за алуминиеви кабели

S [mm ²]	$\cos \varphi = 0,9$			
	едножилни кабели		двужилни кабели	трижилни кабели
	еднофазни	трифазни	еднофазни	трифазни
1.5	44.04	38.14	44.88	38.87
2.5	25.56	23.00	27.02	23.40
4	16.64	14.41	16.93	14.66
6	11.12	9.63	11.29	9.78
10	6.75	5.84	6.81	5.89
16	4.28	3.71	4.31	3.73
25	2.73	2.36	2.76	2.39
35	1.99	1.72	2.01	1.74
50	1.49	1.29	1.50	1.30
70	1.06	0.92	1.06	0.91
95	0.78	0.68	0.78	0.68
120	0.64	0.55	0.63	0.55
150	0.53	0.46	0.53	0.46
185	0.44	0.38	0.44	0.38
240	0.36	0.31	0.35	0.30
300	0.30	0.26	0.30	0.26

Таблица 10: Специфичен пад на напрежение при $\cos \varphi = 0,85$ за алуминиеви кабели

S [mm ²]	$\cos \varphi = 0,85$			
	едножилни кабели		двужилни кабели	трижилни кабели
	еднофазни	трифазни	еднофазни	трифазни
1.5	41.63	36.05	42.42	36.73
2.5	25.12	21.75	25.55	22.12
4	15.75	13.64	16.02	13.87
6	10.53	9.12	10.69	9.26
10	6.40	5.54	6.45	5.58
16	4.07	3.52	4.09	3.54
25	2.60	2.25	2.63	2.27
35	1.90	1.65	1.91	1.66
50	1.43	1.24	1.43	1.24
70	1.02	0.88	1.01	0.88
95	0.76	0.66	0.76	0.65
120	0.63	0.54	0.61	0.53
150	0.53	0.46	0.52	0.45
185	0.44	0.38	0.43	0.37
240	0.36	0.31	0.35	0.30
300	0.31	0.27	0.30	0.26

2 Защита на захранващи линии

Таблица 11: Специфичен пад на напрежение при $\cos \varphi = 0,8$ за алуминиеви кабели

S [mm ²]	$\cos \varphi = 0,8$			
	едножилни кабели		двужилни кабели	трижилни кабели
	еднофазни	трифазни	еднофазни	трифазни
1.5	39.22	33.96	39.95	34.59
2.5	23.67	20.50	24.07	20.84
4	14.85	12.86	15.09	13.07
6	9.94	8.61	10.08	8.73
10	6.05	5.24	6.09	5.27
16	3.85	3.34	3.87	3.35
25	2.47	2.14	2.49	2.16
35	1.81	1.57	1.82	1.57
50	1.37	1.18	1.37	1.18
70	0.98	0.85	0.97	0.84
95	0.74	0.64	0.73	0.63
120	0.61	0.53	0.59	0.51
150	0.51	0.45	0.50	0.44
185	0.43	0.38	0.42	0.36
240	0.36	0.31	0.34	0.30
300	0.31	0.27	0.30	0.26

Таблица 12: Специфичен пад на напрежение при $\cos \varphi = 0,75$ за алуминиеви кабели

S [mm ²]	$\cos \varphi = 0,75$			
	едножилни кабели		двужилни кабели	трижилни кабели
	еднофазни	трифазни	еднофазни	трифазни
1.5	36.80	31.87	37.47	32.45
2.5	22.23	19.25	22.58	19.56
4	13.95	12.08	14.17	12.27
6	9.35	8.09	9.47	8.20
10	5.69	4.93	5.72	4.96
16	3.63	3.15	3.64	3.15
25	2.34	2.02	2.35	2.03
35	1.72	1.49	1.72	1.49
50	1.30	1.13	1.30	1.12
70	0.94	0.81	0.92	0.80
95	0.71	0.62	0.70	0.60
120	0.59	0.51	0.57	0.49
150	0.50	0.43	0.49	0.42
185	0.42	0.37	0.41	0.35
240	0.35	0.31	0.34	0.29
300	0.31	0.27	0.29	0.25

2 Защита на захранващи линии

Пример 1

Да се изчисли падът на напрежение на трифазен кабел със следните спецификации:

- номинално напрежение: 400 V;
- дължина на кабела: 25 м;
- състав на кабела: едножилен меден кабел, 3x50 мм²;
- ток на товара I_b : 100 A;
- коефициента на мощност $\cos \varphi$: 0,9.

От Таблица 4, за 50 мм² едножилен кабел може да се намери, че U_x пад на напрежението съответства на 0,81 V/(A · km). Като умножим тази стойност с дължината в km и по тока в A, получаваме:

$$\Delta U = \Delta U_x \cdot I_b \cdot L = 0,81 \cdot 100 \cdot 0,025 = 2,03 \text{ V}$$

което съответства на следното процентно изражение:

$$\Delta u\% = \frac{\Delta U}{U_r} \cdot 100 = \frac{2,03}{400} \cdot 100 = 0,51\%$$

Пример 2

Да се изчисли падът на напрежение на трифазен кабел със следните спецификации:

- номинално напрежение: 690 V;
- дължина на кабела: 50 м;
- състав на кабела: многожилен меден кабел, 2x(3x10) мм²;
- ток на товара I_b : 50 A;
- коефициент на мощност $\cos \varphi$: 0,85.

От Таблица 5, за многожилен кабел 10 мм² може да се намери, че U_x пад на напрежението съответства на 3,42 V/(A · km). Като умножим тази стойност с дължината в km и по тока в A, и разделим на броя на паралелните кабели, получаваме:

$$\Delta U = \Delta U_x \cdot I_b \cdot \frac{L}{2} = 3,42 \cdot 50 \cdot \frac{0,05}{2} = 4,28 \text{ V}$$

което съответства на следното процентно изражение:

$$\Delta u\% = \frac{\Delta U}{U_r} \cdot 100 = \frac{4,28}{690} \cdot 100 = 0,62\%$$

2 Защита на захранващи линии

Метод на определяне на сечение на проводници в зависимост от пада на напрежение в случаите на дълги кабели

В случаите на дълги кабели или ако конкретни проекти налагат ниски граници за максимален пад на напрежение, тогава проверката, при която се използва като отправна стойност сечението на кабела, изчислено на базата на термичните съображения (съгласно глава 2.2.1 „Допустимо токово натоварване и методи на полагане“), може да има отрицателен резултат.

За да се определи правилното сечение се сравнява максималната стойност

$\Delta U_{x\max}$, изчислена по формулата:

$$\Delta U_{x\max} = \frac{\Delta u\% \cdot U_r}{100 \cdot I_b \cdot L} \quad (3)$$

със съответната стойност от Таблица 4÷12 като се избира най-малкото сечение със стойност U_x по-ниска от $U_{x\max}$.

Пример:

Захранване на трифазен товар с $P_u = 35 \text{ kW}$ ($U_r = 400 \text{ V}$, $f_r = 50 \text{ Hz}$, $\cos \varphi = 0,9$) с проводник с дължина 140 м, положен върху перфорирана лавица, състоящ се от многожилен меден кабел с изолация от EPR.

Максимално допустим пад на напрежение равен на 2%.

Токът на товара I_b е:

$$I_b = \frac{P_u}{\sqrt{3} \cdot U_r \cdot \cos \varphi} = \frac{35000}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,9} = 56 \text{ A}$$

От Таблица 8 на глава 2.2.1 се вижда, че $S = 10 \text{ mm}^2$.

От Таблица 4 за многожилен кабел 10 mm^2 може да се провери, че специалният пад на напрежение за

A по **km** е $3,60 \text{ V}/(\text{A} \cdot \text{km})$. Чрез умножаване на тази стойност с дължината в **km** и с тока в **A**, се получава:

$$\Delta U = 3,60 \cdot I_b \cdot L = 3,6 \cdot 56 \cdot 0,14 = 28,2 \text{ V}$$

което съответства на следната процентна стойност:

$$\Delta u\% = \frac{\Delta U}{U_r} \cdot 100 = \frac{28,2}{400} \cdot 100 = 7,05\%$$

Тази стойност е твърде висока.

Формула (3) показва:

$$\Delta U_{x\max} = \frac{\Delta u\% \cdot U_r}{100 \cdot I_b \cdot L} = \frac{2\% \cdot 400}{100 \cdot 56 \cdot 0,14} = 1,02 \text{ V}/(\text{A} \cdot \text{km})$$

2 Защита на захранващи линии

От Таблица 4 може да се избере сечение 50 mm².

За това сечение $U_x = 0,81 < 1,02 \text{ V/(A} \cdot \text{km)}$.

Като използваме тази стойност се получава:

$$\Delta U = \Delta U_x \cdot I_b \cdot L = 0.81 \cdot 56 \cdot 0.14 = 6.35 \text{ V}$$

Това съответства на следната процентна стойност:

$$\Delta u\% = \frac{\Delta U}{U_r} \cdot 100 = \frac{6.35}{400} \cdot 100 = 1.6\%$$

2.2.3 Загуби от ефекта на Джаул

Загубите от ефекта на Джаул се дължат на електрическото съпротивление на кабела. Изгубената енергия се разсейва като топлина и допринася за нагряването на проводника и на околната среда.

Първо приближение на трифазните загуби е:

$$P_j = \frac{3 \cdot r \cdot I_b^2 \cdot L}{1000} \text{ [W]}$$

като еднофазните загуби са:

$$P_j = \frac{2 \cdot r \cdot I_b^2 \cdot L}{1000} \text{ [W]}$$

където:

- I_b е токът на товара [A];
- r е фазовото съпротивление на единица дължина на кабела при 80°C [Ω/km] (виж Таблица 1);
- L е дължината на кабела [m].

Таблица 1: Стойности на съпротивлението [Ω/km] на едножилни и многожилни кабели от мед и алуминия при 80°C

S [mm ²]	едножилни кабели		дву/ трижилни кабели	
	Cu	Al	Cu	Al
1.5	14.8	24.384	15.1	24.878
2.5	8.91	14.680	9.08	14.960
4	5.57	9.177	5.68	9.358
6	3.71	6.112	3.78	6.228
10	2.24	3.691	2.27	3.740
16	1.41	2.323	1.43	2.356
25	0.889	1.465	0.907	1.494
35	0.641	1.056	0.654	1.077
50	0.473	0.779	0.483	0.796
70	0.328	0.540	0.334	0.550
95	0.236	0.389	0.241	0.397
120	0.188	0.310	0.191	0.315
150	0.153	0.252	0.157	0.259
185	0.123	0.203	0.125	0.206
240	0.0943	0.155	0.0966	0.159
300	0.0761	0.125	0.078	0.129

2 Защита на захранващи линии

2.3 Защита от претоварване

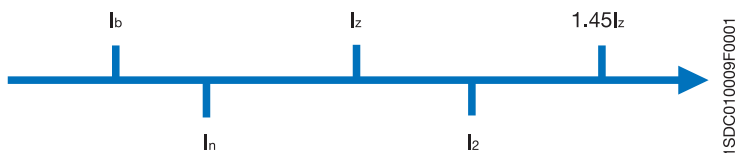
Стандартът IEC 60364-4-43 "Електрически инсталации на сгради – защита от свръхток" определя координирането между проводниците и устройствата за защита от претоварване (поставени обикновено в началото на проводника, който трябва да бъде защитен), така че да са изпълнение следните две условия:

$$I_b \leq I_n \leq I_z \quad (1)$$

$$I_2 \leq 1.45 \cdot I_z \quad (2)$$

където:

- I_b е токът, за който е оразмерена веригата;
- I_z е продължителното допустимо токово натоварване на кабела;
- I_n е номиналният ток на защитното устройство; за настройваеми защитни блокове I_n е настроенният ток;
- I_2 е токът, осигуряващ ефективна работа на защитното устройство за определен период от време.



Съгласно условие (1) за да се избере правилно защитното устройство е необходимо да се провери, че прекъсвачът има номинален (или настроен) ток, който е:

- по-висок от тока на товара за да се предотврати нежелано изключване;
- по-нисък от допустимото токово натоварване на кабела за да се предотврати претоварване на кабела.

Стандартът позволява ток на претоварване, който може да е с до 45% по-голям от допустимото токово натоварване на кабела, но само за ограничен период от време (установеното време на изключване на защитното устройство).

Проверката на условие (2) не е необходима в случай на използване на прекъсвач, защото защитното устройство изключва автоматично, ако:

- $I_2 = 1.3 \cdot I_n$ за прекъсвачи, съответстващи на IEC 60947-2 (прекъсвачи за промишлено приложение);
- $I_2 = 1.45 \cdot I_n$ за прекъсвачи, съответстващи на IEC 60898 (прекъсвачи за битови и подобни инсталации).

Следователно за прекъсвачи, ако $I_n \leq I_z$, формулата $I_2 \leq 1.45 \cdot I_z$ също ще бъде изпълнена.

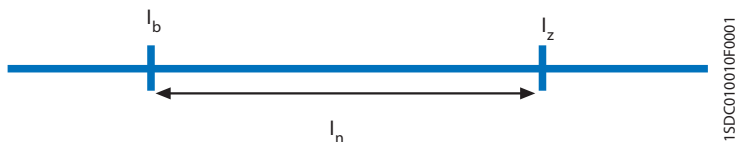
Когато защитното устройство е стояем предпазител, важно е също така да се провери формула (2), защото IEC 60269-2-1 за "Стояеми предпазители за ниско напрежение" определя, че ток с големина $1.6 \cdot I_n$ трябва автоматично да стопи предпазителя. В този случай формула (2) става $1.6 \cdot I_n \leq 1.45 \cdot I_z$ или $I_n \leq 0.9 \cdot I_z$

2 Защита на захранващи линии

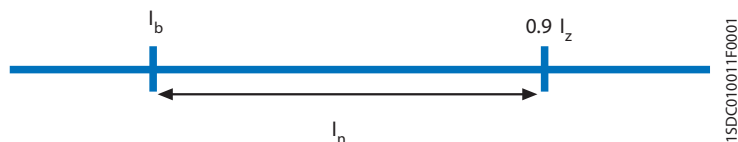
Да обобщим: За да се осигури защита от претоварване със стопяем предпазител, трябва да се постигне следното:

$$I_b \leq I_n \leq 0.9 \cdot I_z$$

и това означава, че кабелът не се експлоатира изцяло.



Прекъсвач: Избиране на номинален ток



Стопяем предпазител: Избиране на номинален ток

Когато не е възможно използване на единичен проводник за фаза и токовете в паралелните проводници не са равни, проектният ток и изискванията за защита от претоварване за всеки проводник трябва да се разглеждат поотделно.

Примери

Пример 1

Спецификации на товара:

$P_r = 70 \text{ kW}$; $U_r = 400 \text{ V}$; $\cos \varphi = 0.9$; трифазен товар с $I_b = 112 \text{ A}$

Спецификации на кабела:

$I_z = 134 \text{ A}$

Спецификации на защитното устройство:

T1B160 TMD $I_n 125$; настроен ток $I1 = 125 \text{ A}$

(за справка каталог Tmax TGeneration на ABB SACE)

Пример 2

Спецификации на товара:

$P_r = 80 \text{ kW}$; $\cos \varphi = 0.9$; $U_r = 400 \text{ V}$; трифазен товар с $I_b = 128 \text{ A}$

Спецификации на кабела:

$I_z = 171 \text{ A}$

Спецификации на защитното устройство:

T2N160 PR221DS-LS $I_n 160$; настроен ток $I1 = 0.88 \times I_n = 140.8 \text{ A}$

Пример 3

Спецификации на товара:

$P_r = 100 \text{ kW}$; $\cos \varphi = 0.9$; $U_r = 400 \text{ V}$; трифазен товар с $I_b = 160 \text{ A}$

Спецификации на кабела:

$I_z = 190 \text{ A}$

Спецификации на защитното устройство:

T3N250 TMD $I_n 1=200$; настроен ток $I1 = 0.9 \times I_n = 180 \text{ A}$

2 Защита на захранващи линии

2.4 Защита от късо съединение

Един кабел е защитен от късо съединение, ако специфичната енергия на преминаване на защитното устройство (I^2t) е по-малка или равна на енергията, която кабелът може да понесе (k^2S^2):

$$I^2t \leq k^2S^2 \quad (1)$$

където

- I^2t е специфичната енергия на преминаване на защитното устройство, която може да се определи от характеристиките, предоставени от производителя (виж Ръководство за електрически инсталации, Част 2, Глава 2.3 "Характеристики на специфичната енергия на преминаване") или с директно изчисляване в случай на устройства, които нямат ограничаване и времезакъснение;
- S е сечението на кабела [mm^2]; в случай на паралелни проводници това е сечението на отделния проводник;
- k е коефициент, който зависи от изолацията на кабела и от проводящия материал. Стойностите за най-често срещаните изолации са показани в Таблица 1; за по-детайлно изчисление вижте Приложение С.

Таблица 1: Стойности за k за фазов проводник

	Изолация на проводника						
	ПВЦ ≤300 mm ²	ПВЦ >300 mm ²	EPR XLPE	Каучук 60°C	Минерална		
					ПВЦ		Неизолиран
Начална температура °C	70	70	90	60	70	105	
Крайна температура °C	160	140	250	200	160	250	
Материал на проводника:							
Мед	115	103	143	141	115	135/115 ^a	
Алуминий	76	69	94	93	-	-	
капаено споени връзки в медни проводници	115	-	-	-	-	-	
а) Тази стойност трябва да се използва за неизолирани проводници, достъпни за допир							
ЗАБЕЛЕЖКА 1 Други стойности на k се разглеждат за:							
- малки проводници (особено при сечение по-малко от 10 mm ²);							
- продължителност на късото съединение превишаваща 5 сек.;							
- други видове връзки в проводника;							
- неизолирани проводници.							
ЗАБЕЛЕЖКА 2 Номиналният ток на устройството за защита от късо съединение може да бъде по-голям от допустимото токово натоварване на кабела.							
ЗАБЕЛЕЖКА 3 Горните коефициенти са на базата на IEC 60724.							

2 Защита на захранващи линии

В Таблица 2 е показана максималната енергия, на която кабелът може да издържи, в зависимост от сечението, материала на проводника и вида на изолацията, които се изчисляват като се използват параметрите от Таблица 1.

Таблица 2: Максимална енергия за кабели k^2S^2 [(kA)²s]

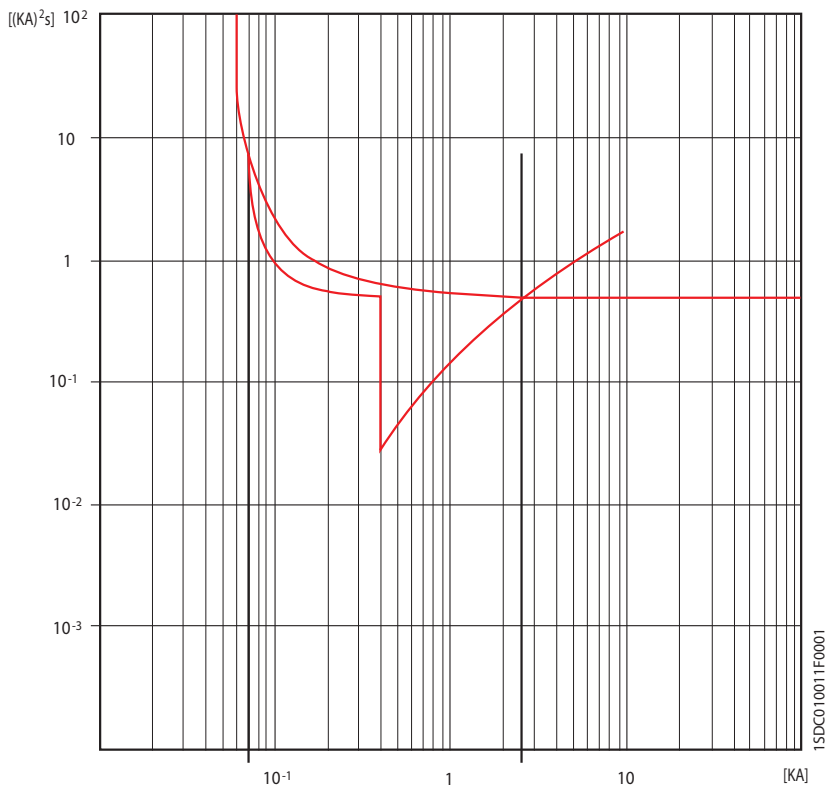
Кабел		k	Сечение на кабела [mm²]							
			1.5	2.5	4	6	10	16	25	35
PVC	Cu	115	2.98·10 ⁻²	8.27·10 ⁻²	2.12·10 ⁻¹	4.76·10 ⁻¹	1.32	3.39	8.27	1.62·10 ¹
	Al	76	1.30·10 ⁻²	3.61·10 ⁻²	9.24·10 ⁻²	2.08·10 ⁻¹	5.78·10 ⁻¹	1.48	3.61	7.08
EPR/XLPE	Cu	143	4.60·10 ⁻²	1.28·10 ⁻¹	3.27·10 ⁻¹	7.36·10 ⁻¹	2.04	5.23	1.28·10 ¹	2.51·10 ¹
	Al	94	1.99·10 ⁻²	5.52·10 ⁻²	1.41·10 ⁻¹	3.18·10 ⁻¹	8.84·10 ⁻¹	2.26	5.52	1.08·10 ¹
Rubber	Cu	141	4.47·10 ⁻²	1.24·10 ⁻¹	3.18·10 ⁻¹	7.16·10 ⁻¹	1.99	5.09	1.24·10 ¹	2.44·10 ¹
	Al	93	1.95·10 ⁻²	5.41·10 ⁻²	1.38·10 ⁻¹	3.11·10 ⁻¹	8.65·10 ⁻¹	2.21	5.41	1.06·10 ¹

Кабел		k	Сечение на кабела [mm²]							
			50	70	95	120	150	185	240	300
PVC	Cu	115	3.31·10 ¹	6.48·10 ¹	1.19·10 ²	1.90·10 ²	2.98·10 ²	4.53·10 ²	7.62·10 ²	1.19·10 ³
	Al	76	1.44·10 ¹	2.83·10 ¹	5.21·10 ¹	8.32·10 ¹	1.30·10 ²	1.98·10 ²	3.33·10 ²	5.20·10 ²
EPR/XLPE	Cu	143	5.11·10 ¹	1.00·10 ²	1.85·10 ²	2.94·10 ²	4.60·10 ²	7.00·10 ²	1.18·10 ³	1.84·10 ³
	Al	94	2.21·10 ¹	4.33·10 ¹	7.97·10 ¹	1.27·10 ²	1.99·10 ²	3.02·10 ²	5.09·10 ²	7.95·10 ²
G2	Cu	141	4.97·10 ¹	9.74·10 ¹	1.79·10 ²	2.86·10 ²	4.47·10 ²	6.80·10 ²	1.15·10 ³	1.79·10 ³
	Al	93	2.16·10 ¹	4.24·10 ¹	7.81·10 ¹	1.25·10 ²	1.95·10 ²	2.96·10 ²	4.98·10 ²	7.78·10 ²

1SDC010002F0901

Формула (1) трябва да бъде проверена по цялата дължина на кабела. Поради формата на токоограничителната крива на специфичната енергия на преминаване на прекъсвачите, по принцип е достатъчно да се провери формула (1) само за максималния и минималния ток на късо съединение, които могат да възникнат в кабела. Максималната стойност е обикновено стойността на трифазния ток на късо съединение в началото на линията, докато минималната стойност е стойността на тока на късо съединение фаза към неутрала (фаза към фаза, при липса на неутрален проводник) или фаза към земя в края на кабела.

2 Защита на захранващи линии



Тази проверка може да се опрости, като се сравнят само стойностите на специфичната енергия на преминаване на прекъсвача при максималния ток на късо съединение с енергията, на която кабелът може да издържи и като се провери, че прекъсвачът изключва моментално при минималния ток на късо съединение. Защитата от късо съединение (като се вземат предвид толерансите) трябва да бъде настроена на стойност по-ниска от стойността на минималния ток на късо съединение в края на проводника.

2 Защита на захранващи линии

Следващите страници съдържат таблици, които са валидни за напрежение равно на 400 V и показват минималните сечения на медни кабели, защитени от късо съединение, като функция от тока на прекъсвача и тока на късо съединение, равен на изключвателната способност на самия прекъсвач.

Тези таблици не се отнасят за защитата на кабели от претоварване. Освен това тези таблици показват норма на оразмеряване на минималното сечение, което може да се използва; във фазата на проектиране обаче е необходимо проводниците да се оразмеряват съгласно реалните характеристики на инсталацията (ток на късо съединение, състояние на неутралата и т.н.) като се анализират времетоковите криви на изключване на използвания прекъсвач.

Прекъсвач			Фазов проводник с PVC изолация	
Тип	I_{cu} (kA)	Номинален ток (A)	Фазов проводник (mm ²)	K^2s^2
T1 160	B=16 C=25	16*-32	6	476100
		40**-160	10	1322500
T1 160	N=36	32-160	10	1322500

Прекъсвач			Фазов проводник с EPR изолация	
Тип	I_{cu} (kA)	Номинален ток (A)	Фазов проводник (mm ²)	K^2s^2
T1 160	B=16 C=25	16*-20	4	327184
		25-160	6	736164
T1 160	N=36	32-100	6	736164
		125-160	10	2044900

* $I_n = 16$ и $I_n = 20$ само за T1B

** с прекъсвачи тип T1B $I_n = 40/50/63$ е възможно да се използва кабел 6mm², с ПВЦ изолация

2 Защита на захранващи линии

Прекъсвач			Фазов проводник с PVC изолация	
Тип	I _{cu} (kA)	Номинален ток (A)	Фазов проводник (mm ²)	K ² s ²
T2 160	N=36kA S=50kA H=70kA	1-4	1,5	29756,25
		5*-8	2,5	82656,25
		10-50	4	211600
		63-160	6	476100
	L=85kA	1-3.2	1,5	29756,25
		4-8	2,5	82656,25
		10-32	4	211600
		40-160	6	476100

Прекъсвач			Фазов проводник с EPR изолация	
Тип	I _{cu} (kA)	Номинален ток (A)	Фазов проводник (mm ²)	K ² s ²
T2 160	N=36kA S=50kA H=70kA	1-6.3	1,5	46010,25
		8**-10	2,5	127806,25
		12.5-63	4	327184
		80-160	6	736164
	L=85kA	1-5	1,5	46010,25
		6.3-10	2,5	127806,25
		12.5-50	4	327184
		63-160	6	736164

* за прекъсвачи тип T2N In = 5A е възможно да се използва кабел 1,5 mm², с PVC изолация

** за прекъсвачи тип T2N In = 8A и T2S R = 8A е възможно да се използва кабел 1,5 mm², с EPR изолация

2 Защита на захранващи линии

Прекъсвач			Фазов проводник с PVC изолация		Фазов проводник с EPR изолация	
	I _{cu} (kA)	Номинален ток (A)	Фазов проводник (mm ²)	K ² s ²	Фазов проводник (mm ²)	K ² s ²
T3	N=36 S=50	63-250	16	3385600	10	2044900

Прекъсвач			Фазов проводник с PVC изолация	
T _{un}	I _{cu} (kA)	Номинален ток (A)	Фазов проводник (mm ²)	Максимална енергия (I ² t)
T4	N=36 S=50 H=70 L=120 V=200	20-50	6	476100
		80-250	10	1322500

Прекъсвач			Фазов проводник с EPR изолация	
T _{un}	I _{cu} (kA)	Номинален ток (A)	Фазов проводник (mm ²)	Максимална енергия (I ² t)
T4	N=36 S=50 H=70 L=120 V=200	20	4	327184
		32-80	6	736164
		100-250	10*	2044900

* за прекъсвачи тип T4N е възможно да се използва кабел 6 mm², с EPR изолация

2 Защита на захранващи линии

Прекъсвач			Фазов проводник с PVC изолация		Фазов проводник с EPR изолация	
Тип	I _{cu} (kA)	Номинален ток (A)	Фазов проводник (mm ²)	Максимална енергия (I ² t)	Фазов проводник (mm ²)	Максимална енергия (I ² t)
T5	N=36 S=50	320-630	16	3385600	16	5234944
T5	H=70 L=120 V=200	320-630	25	8265625		

Прекъсвач			Фазов проводник с PVC изолация		Фазов проводник с EPR изолация	
Тип	Icu (kA)	Номинален ток (A)	Фазов проводник (mm ²)	Максимална енергия (I ² t)	Фазов проводник (mm ²)	Максимална енергия (I ² t)
T6	N=36 S=50 H=70 L=100	630*	35	16200625	35	25050025
		800**	50	33062500		
		1000**				

* с прекъсвачи тип T6N (I_{cu}=36kA) е възможно да се използва кабел 25 mm², с EPR изолация

** с прекъсвачи тип T6N (I_{cu}=36kA) е възможно да се използва кабел 35 mm², с PVC изолация

Прекъсвач			Фазов проводник с PVC изолация		Фазов проводник с EPR изолация	
Тип	I _{cu} (kA)	Номинален ток (A)	Фазов проводник (mm ²)	Максимална енергия (I ² t)	Фазов проводник (mm ²)	Максимална енергия (I ² t)
T7	S=50 H=70 V=150	400-1250	50	33062500	50*	51122500
T7	L=120	400-1600	70	64802500	50	51122500

* с прекъсвачи тип T7S (I_{cu}=50kA) е възможно да се използва кабел 35 mm², с EPR изолация

2 Защита на захранващи линии

Изчисляване на тока на късо съединение в края на проводника

Минималният ток на късо съединение може да бъде изчислен чрез следните приблизителни формули:

$$I_{kmin} = \frac{0.8 \cdot U_r \cdot k_{sec} \cdot k_{par}}{1.5 \cdot \rho \cdot \frac{2L}{S}}$$

когато захранващата мрежа е без неутрален проводник (2.1)

$$I_{kmin} = \frac{0.8 \cdot U_0 \cdot k_{sec} \cdot k_{par}}{1.5 \cdot \rho \cdot (1+m) \cdot \frac{L}{S}}$$

когато захранващата мрежа е с неутрален проводник (2.2)

където:

- I_{kmin} е минамалната стойност на вероятният ток на късо съединение [kA];
- U_r е напрежението на захранването [V];
- U_0 е напрежението между фаза към земя [V];
- ρ е специфичното съпротивление на материала на проводника в $\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ при 20°C и е:
- 0,018 за мед;
- 0,027 за алуминий;
- L е дължината на защитения проводник [m];
- S е сечението на проводника [mm^2];
- k_{sec} е корекционният коефициент, който отчита реактивното съпротивление на кабели със сечение по-голямо от 95 mm^2 :

$S[\text{mm}^2]$	120	150	185	240	300
k_{sec}	0.9	0.85	0.80	0.75	0.72

- k_{par} е корекционният коефициент за паралелни проводници:

брой паралелни проводници	2	3	4	5
k_{par}^*	2	2.7	3	3.2

* $k_{par} = 4 \cdot (n-1)/n$, където n = брой на паралелни проводници за фаза

- m е съотношението между съпротивленията на неутралния проводник и на фазовия проводник (ако те са направени от един и същ материал m е съотношението между сечението на фазовия проводник и сечението на неутралния проводник).

След изчисляване на минималния ток на късо съединение проверете, че

$$I_{kmin} > 1.2 \cdot I_3 \quad (3)$$

където

- I_3 е токът, който задейства защита от късо съединение на прекъсвача;
- 1,2 е толерансът на стойността на изключване.

2 Защита на захранващи линии

Пример

Избиране на прекъсвач CB1

Данни за системата:

Номинално напрежение 400V

$I_k = 30 \text{ kA}$

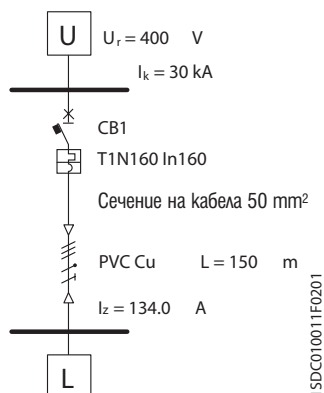
Данни за кабела:

Изолиран меден проводник в PVC

Дължина = 150 m

$S = 50 \text{ mm}^2$

$I_z = 134 \text{ A}$



Защита от късо съединение в началото на проводника

T1N160 In160 (изключвателна способност 36 kA/400 V)

$I^2t (30\text{kA}) = 7,5 \cdot 10^{-1} (\text{kA})^2$ (за характеристиките на специфичната енергия на преминаване вижте Част 2, Глава 2.3)

$$k^2 S^2 = 115^2 \cdot 50^2 = 3,31 \cdot 10^2 (\text{kA})^2 \text{s}$$

Следователно кабелът е защитен от късо съединение в началото на проводника.

Защита от късо съединение в края на проводника

Минималният ток на късо съединение в края на проводника ($k_{\text{sec}} = 1$ и $k_{\text{per}} = 1$) е:

Защитата от късо съединение на прекъсвача T1N160 In160 е настроена на 1600 A. Ако толерансът е 20%, прекъсвачът със сигурност ще изключи при стойност превишаваща 1920 A; следователно кабелът е напълно защитен от късо съединение.

$$I_{\text{kmin}} = \frac{0,8 \cdot U \cdot k_{\text{sec}} \cdot k_{\text{par}}}{1,5 \cdot \rho \cdot \frac{2L}{S}} = 1,98 \text{ kA}$$

Максимално защитена дължина

Когато формула (3) се реши спрямо L се получава максималната дължина на кабела, която защитното устройство предпазва в зависимост от настроената стойност на защитата за мигновено изключване. В Таблица 3 може се види максимално защитената дължина за определено сечение на кабела при дадена стойност на защитата на прекъсвача за мигновено изключване от ток на късо съединение:

- трифазна система, номинално напрежение 400 V;
- без неутрала;

- меден проводник със специфично съпротивление, равно на 0,018 $\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$.

Стойностите в таблицата по-долу са съобразени с коефициент на толеранс от 20% за стойността на изключване на защитата, нарастването на специфичното съпротивление на кабела вследствие на нагряването от тока на късо съединение и спадането на напрежението, дължащо се на повредата.

Корекционните коефициенти, показани след таблицата, трябва да се прилагат, ако условията на системата се различават от референтните условия.

2 Защита на захранващи линии

Таблица 3: Максимално защитена дължина
сечение [mm²]

I ₃ [A]	1.5	2.5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240	300
20	370	617														
30	246	412	658													
40	185	309	494	741												
50	148	247	395	593												
60	123	206	329	494												
70	105	176	282	423	705											
80	92	154	246	370	617											
90	82	137	219	329	549											
100	74	123	197	296	494	790										
120	61	102	164	246	412	658										
140	52	88	141	211	353	564										
150	49	82	131	197	329	527										
160	46	77	123	185	309	494	772									
180	41	68	109	164	274	439	686									
200	37	61	98	148	247	395	617									
220	33	56	89	134	224	359	561	786								
250	29	49	79	118	198	316	494	691								
280	26	44	70	105	176	282	441	617								
300	24	41	65	98	165	263	412	576								
320	23	38	61	92	154	247	386	540	772							
350	21	35	56	84	141	226	353	494	705							
380	19	32	52	78	130	208	325	455	650							
400	18	30	49	74	123	198	309	432	617							
420	17	29	47	70	118	188	294	412	588							
450	16	27	43	65	110	176	274	384	549	768						
480	15	25	41	61	103	165	257	360	514	720						
500	14	24	39	59	99	158	247	346	494	691						
520	14	23	38	57	95	152	237	332	475	665						
550	13	22	35	53	90	144	224	314	449	629						
580	12	21	34	51	85	136	213	298	426	596	809					
600	12	20	32	49	82	132	206	288	412	576	782					
620	11	19	31	47	80	127	199	279	398	558	757					
650	11	19	30	45	76	122	190	266	380	532	722					
680	10	18	29	43	73	116	182	254	363	508	690					
700	10	17	28	42	71	113	176	247	353	494	670	847				
750		16	26	39	66	105	165	230	329	461	626	790	840			
800		15	24	37	62	99	154	216	309	432	586	667	787			
850		14	23	34	58	93	145	203	290	407	552	627	741			
900		13	21	32	55	88	137	192	274	384	521	593	700			
950		13	20	31	52	83	130	182	260	364	494	561	663			
1000		12	19	29	49	79	123	173	247	346	469	533	630	731		
1250			15	23	40	63	99	138	198	277	375	427	504	585	711	
1500			13	19	33	53	82	115	165	230	313	356	420	487	593	
1600			12	18	31	49	77	108	154	216	293	333	394	457	556	667
2000				14	25	40	62	86	123	173	235	267	315	365	444	533
2500				11	20	32	49	69	99	138	188	213	252	292	356	427
3000					16	26	41	58	82	115	156	178	210	244	296	356
3200					15	25	39	54	77	108	147	167	197	228	278	333
4000					12	20	31	43	62	86	117	133	157	183	222	267
5000					10	16	25	35	49	69	94	107	126	146	178	213
6300						13	20	27	39	55	74	85	100	116	141	169
8000						10	15	22	31	43	59	67	79	91	111	133
9600							13	18	26	36	49	56	66	76	93	111
10000							12	17	25	35	47	53	63	73	89	107
12000							10	14	21	29	39	44	52	61	74	89
15000								12	16	23	31	36	42	49	59	71
20000									12	17	23	27	31	37	44	53
24000									10	14	20	22	26	30	37	44
30000										12	16	20	25	30	40	49

2 Защита на захранващи линии

Корекционен коефициент за напрежение различно от 400 V: k_V

Дължината, получена от таблицата, се умножава с корекционния коефициент k_V :

U_r [V] трифазна стойност	k_V
230 (*)	0.58
400	1
440	1.1
500	1.25
690	1.73

(*) Система 230 V една фаза е еквивалентна на система 400 V три фази с неутрала и със сечение на фазовия проводник равно на сечението на неутралния проводник, така че k_V е 0,58.

Корекционен коефициент при наличие на неутрала: k_d

Умножава се стойността на дължината, получена от таблицата, с корекционния коефициент k_d :

$$k_d = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{1 + \frac{S}{S_N}}$$

където

- S е сечението на фазата [mm^2];
- S_N е сечението на неутралата [mm^2].

В частност:

if $S = S_N \rightarrow k_d$ is 0.58;

if $S = 2 \cdot S_N \rightarrow k_d$ is 0.39.

Корекционен коефициент за алуминиеви проводници: k_r

Ако кабелът е от алуминий, умножава се стойността на дължината, получена от таблицата, с корекционния коефициент $k_r = 0,67$.

2 Защита на захранващи линии

Като обобщение

От сечението и стойността на защитата от късо съединение с помощта на таблицата може да се определи, че максимално защитената дължина е L_0 . Тази дължина трябва след това да се умножи, ако е необходимо, с корекционните коефициенти за да се получи стойност, която отговаря на работните условия на инсталацията:

$$L = L_0 k_v k_d k_r$$

Пример 1

Без неутрала

Номинално напрежение = 400 V

Защитно устройство: T2N160 TMD In100

Сечение на фазата = Сечение на неутралата = 70 mm²

Таблицата показва, че при $I_3 = 1000$ A, кабелът 70 mm² е защитен до 346 m.

Пример 2

С неутрала

Номинално напрежение = 400 V

Защитно устройство: T3S250 TMD In200

Стойност на изключване на защитата от к.с.: $I_3 = 2000$ A

Сечение на фазата = 300 mm²

Сечение на неутралата = 150 mm²

За $I_3 = 2000$ A и $S = 300$ mm² се получава защитена дължина $L_0 = 533$ m.

След прилагане на корекционния коефициент k_d , което е необходимо когато има неутрала:

$$k_d = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{1 + \frac{S}{S_N}} = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{1 + \frac{300}{150}} = 0.39$$

$$L = L_0 \cdot 0.39 = 533 \cdot 0.39 = 207.9 \text{ m}$$

Това е максимално защитената дължина, когато има неутрала.

2 Защита на захранващи линии

2.5 Неутрални и защитни проводници

Неутрален проводник

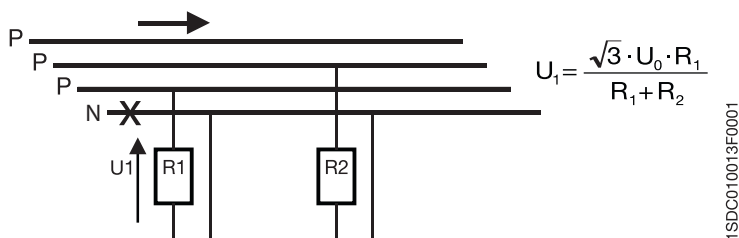
Неутрален е проводникът, който е свързан с неутралната точка на системата (която по принцип, но не задължително съвпада със звездния център на вторичните намотки на трансформатора или намотките на генератора); може да спомогне за преноса на електрическа енергия и следователно да създаде напрежение различно от междупазните напрежения. В определени случаи и при определени условия, функциите на неутралния проводник и защитния проводник могат да бъдат комбинирани в един проводник (PEN).

Защита и прекъсване на неутралния проводник

В случай на повреда, в неутралния проводник може да възникне напрежение спрямо земята. Това може да бъде причинено от късо съединение между фаза и неутрала или от прекъсване на неутралния проводник вследствие на случайно изключване на еднополюсно устройство (предпазител или еднополюсен прекъсвач).

Ако само неутралният проводник е прекъснат в четирипроводникова верига, захранващото напрежение към еднофазните товари може да се промени така, че те да са захранвани с напрежение, различно от напрежението U_0 фаза към неутрала (както е показано на Фигура 1).

Следователно трябва да се вземат всички необходими мерки за предотвратяване на този тип повреда, а именно да не се използва за защита на неутралния проводник еднополюсно устройство.



1SDC010013F0001

Фигура 1: Прекъсване на неутралния проводник

Освен това в системи TN-C напрежението спрямо земята, възникващо в неутралния проводник, представлява опасност за хората; наистина, тъй като този проводник е също така и защитен проводник и това напрежение достига до свързаните, достъпни проводящи части. За системи TN-C стандартите определят минимални сечения (виж следващия раздел) за неутралния проводник за да се предотврати случайно прекъсване и забраняват използването на устройства (еднополюсни или многополюсни), които могат да прекъснат PEN проводника.

Необходимостта от защита на неутралния проводник и възможността за прекъсване на веригата зависят от разпределителната система:

2 Защита на захранващи линии

TT или TN системи:

- Ако сечението на неутралния проводник е равно или по-голямо от сечението на фазовия проводник, не е необходимо да се установява надноминален(свърх) ток в неутралния проводник, нито да се използва прекъсващо устройство (неутралният проводник не се защитава, нито се прекъсва); това изискване важи само ако няма хармонични токове, които могат във всеки момент да причинят средноквадратични стойности на тока в неутралния проводник по-високи от максималния ток, установен във фазовите проводници;
- Ако сечението на неутралния проводник е по-малко от сечението на фазовия проводник, свърхтоковете в неутралния проводник трябва да бъдат установени, така че при нужда да бъдат прекъснати фазовите проводници, но не непременно и неутралният проводник (така той е защитен без да бъде прекъсван): в този случай не е необходимо да се установява надноминален ток в неутралния проводник, ако са изпълнени едновременно следните условия:

1. Неутралният проводник е защитен от късо съединение чрез защитното устройство на фазовите проводници;
2. Максималният ток, който може да протече през неутралния проводник по време на нормална работа, е по-нисък от допустимото токово натоварване на неутралната.

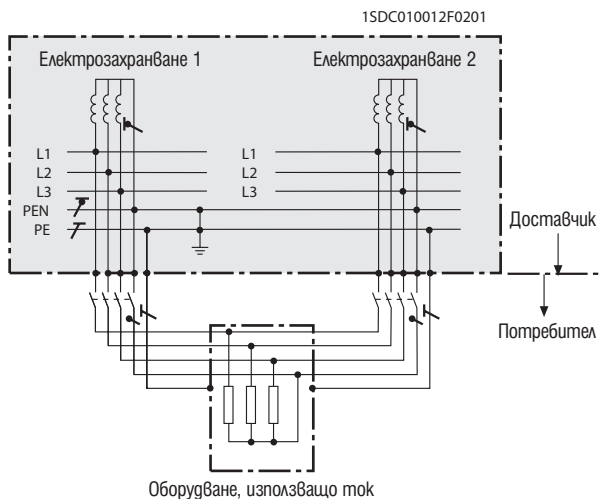
В TN-S системи не е необходимо неутралите да бъдат прекъсвани, ако условията на захранване са такива, че неутралният проводник е надеждно заземен и е със същия потенциал както земята.

Както вече беше споменато, в TN-S системи неутралният проводник също така е и защитен проводник и следователно не може да бъде прекъсван. Освен това, ако неутралният проводник се прекъсне, достъпните проводящи части на еднофазното оборудване биха приели номиналното напрежение на мрежата спрямо земя.

В някои специфични случаи, неутралният проводник трябва да бъде прекъснат за да не се допусне циркулиране на токове между паралелни източници на захранване (виж Фигури 2 и 3).

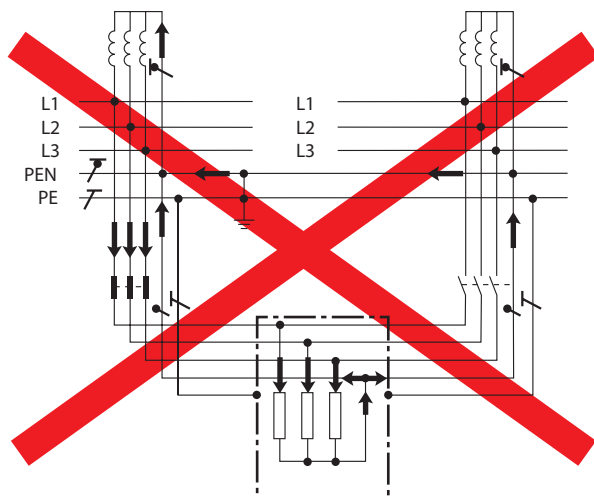
Фигура 2: Трифазно променливотоково захранване с 4-полюсен прекъсвател

ЗАБЕЛЕЖКА – Този метод предотвратява възникване на електромагнитни полета вследствие на блуждаещи токове в главната захранваща система на инсталацията. Сумата от токовете в един кабел трябва да бъде нула. Това гарантира, че неутралният ток ще протича само в неутралния проводник на съответната включена верига. Третият хармоник (150 Hz) на линейния проводник ще бъде добавен със същия фазов ъгъл към тока на неутралния проводник.



2 Защита на захранващи линии

Фигура 3: Трифазно променливотоково захранване с неподходящ триполусен превключвател



1SDC010014F0001

ЗАБЕЛЕЖКА – Трифазно променливотоково захранване с неподходящ триполусен превключвател води до случайни циркулиращи блуждаещи токове, генериращи електромагнитни полета.

IT система:

Стандартът не препоръчва използване на неутрален проводник в IT системи. Ако се въведе неутрален проводник, трябва да се установяват надноминалните токове в неутралния проводник за всяка една от веригите и при необходимост да се прекъснат всички тоководещи проводници на съответната верига, включително и неутралния (неутрален проводник със защита и прекъсване).

Не е необходимо да се следи за надноминален ток в неутралния проводник в следните случаи:

- Неутралният проводник е защитен от късо съединение чрез защитно устройство, монтирано от страна на захранването;
- Веригата е защитена чрез дефектнотокова защита с номинален остатъчен ток по-нисък от 0,15 пъти допустимото токово натоварване на съответния неутрален проводник. Устройството трябва да прекъсва всички тоководещи проводници, включително и неутралния проводник.

За всички разпределителни системи, когато е необходимо, свързването и отделянето на неутралния проводник трябва да осигурява:

- Неутралният проводник да не се прекъсва преди фазовия проводник;
- Неутралният проводник да се свързва в същия момент или преди фазовия проводник.

2 Защита на захранващи линии

Определяне на минималното сечение на неутралния проводник

Неутралният проводник, ако има такъв, трябва да има същото сечение като линейния проводник:

- В еднофазни двупроводни вериги – независимо какво е сечението;
- В многофазни и еднофазни трипроводни вериги - когато размерът на проводниците под напрежение е по-малък или равен на 16 mm^2 за мед или 25 mm^2 за алуминий¹.

Сечението на неутралния проводник може да бъде по-малко от сечението на фазовия проводник, когато сечението на фазовия проводник е по-голямо от 16 mm^2 за меден или от 25 mm^2 за алуминиев кабел, ако са изпълнени и двете условия дадени по-долу:

- Сечението на неутралния проводник е най-малко 16 mm^2 за медни проводници и 25 mm^2 за алуминиеви проводници;
- Няма високо съдържание на хармоници в тока на товара. Ако има такава (съдържанието на хармоници е по-голямо от 10%), като например при оборудване с газоразрядни лампи, сечението на неутралния проводник не може да бъде по-малко от сечението на фазовите проводници.

Таблица 1: Минимални сечения на неутралния проводник

	Сечение на фазата $S \text{ [mm}^2\text{]}$	Мин. сечение на неутралата $S_N \text{ [mm}^2\text{]}$
Еднофазни/двухфазни вериги		
Cu/Al	Всякакви	S^*
Трифазни вериги	$S \leq 16$	S^*
Cu	$S > 16$	16
Трифазни вериги	$S \leq 25$	S^*
Al	$S > 25$	25

* За TN-C системи стандартът определя минимално сечение 10 mm^2 за медни и 16 mm^2 за алуминиеви проводници.

¹ Сечението на фазовите проводници трябва да бъде оразмерено съгласно инструкциите в Глава 2.2.1 „Допустимо токово натоварване и методи на полагане“.

2 Защита на захранващи линии

Защитни проводници

Определяне на минимални сечения

Минималното сечение на защитния проводник може да се определи по следната таблица:

Таблица 2: Сечение на защитния проводник

1SDC010014F0201

Сечение на линейен проводник S [mm²]	Минимално сечение на съответния защитен проводник [mm²]	
	Ако защитният проводник е от същия материал като линейния проводник	Ако защитният проводник не е от същия материал като линейния проводник
$S \leq 16$	S	$\frac{k_1}{k_2} \cdot S$
$16 < S \leq 35$	16*	$\frac{k_1}{k_2} \cdot 16$
$S > 35$	$\frac{S^*}{2}$	$\frac{k_1}{k_2} \cdot \frac{S}{2}$
Където k_1 е стойността на k за линейния проводник, избрана от Таблица 1 Глава 2.4 в зависимост от материалите на проводника и izolацията; k_2 е стойността на k за защитния проводник. * За PEN проводници е разрешено редуциране на сечението само в съответствие с правилата за оразмеряване на неутрални проводници.		

За по-точно изчисляване и ако защитният проводник е подложен на адиабатно нагряване от известна начална температура до определена крайна температура (приложимо е за продължителност на повредата не по-голяма от 5 секунди) минималното сечение на защитния проводник S_{PE} може да бъде получено по следната формула:

$$S_{PE} = \frac{\sqrt{I^2 t}}{k} \quad (1)$$

където:

- S_{PE} е сечението на защитния проводник [mm²];
- I е средноквадратичната стойност на тока, протичащ през защитния проводник в случай на повреда с нисък импеданс [A];
- t е времето на изключване на защитното устройство [s];

2 Защита на захранващи линии

- k е константа, която зависи от материала на защитния проводник, от вида на изолацията и от началната и крайната температура. Най-често срещаните стойности могат да се намерят в Таблицы 3 и 4.

Таблица 3: Стойности на k за изолирани защитни проводници, които не са в кабели и не са в сноп с други кабели

1SDC010015F0201

Изолация на проводника	Температура °C _b		Материала на проводника		
			Мед	Алуминий	Стомана
	Начална	Крайна	Стойности на k		
70°C PVC	30	160/140 ^a	143/133 ^a	95/88 ^a	52/49 ^a
90°C PVC	30	143/133 ^a	143/133 ^a	95/88 ^a	52/49 ^a
90°C термонастройка	30	250	176	116	64
60°C каучук	30	200	159	105	58
85°C каучук	30	220	168	110	60
Силиконов каучук	30	350	201	133	73
^a По-ниската стойност се отнася за PVC изолирани проводници със сечение по-голямо от 300 mm ²					
^b Температурните граници за различните видове изолация са дадени в IEC 60724					

Таблица 4: Стойности на k за защитни проводници, които са жила на кабели, в сноп са с други кабели или изолирани проводници

1SDC010015F0201

Изолация на проводника	Температура °C _b		Материала на проводника		
			Мед	Алуминий	Стомана
	Начална	Крайна	Стойности на k		
70°C PVC	70	160/140 ^a	115/103 ^a	76/68 ^a	42/37 ^a
90°C PVC	90	160/140 ^a	100/86 ^a	66/57 ^a	36/31 ^a
90°C термонастройка	90	250	143	94	52
60°C каучук	60	200	141	93	51
85°C каучук	85	220	134	89	48
Силиконов каучук	180	350	132	87	47
^a По-ниската стойност се отнася за PVC изолирани проводници със сечение по-голямо от 300 mm ²					
^b Температурните граници за различните видове изолация са дадени в IEC 60724					

2 Защита на захранващи линии

Други стойности на k могат да се получат от Таблиците в Приложение D, където е дадена формулата за точно изчисляване на стойността на k .

Ако от Таблица 2 или формула (1) не се получи стандартно сечение, трябва да се избере следващо по-голямо стандартно сечение.

Независимо дали се използва Таблица 2 или формула (1), сечението на защитния проводник трябва да бъде най-малко:

- $2,5 \text{ mm}^2 \text{ Cu} / 16 \text{ mm}^2 \text{ Al}$, ако е осигурена механична защита;
- $4 \text{ mm}^2 \text{ Cu} / 16 \text{ mm}^2 \text{ Al}$, ако не е осигурена механична защита.

За оборудване, което е постоянно свързвано към защитен проводник и с протичащ по него ток по-голям 10 mA трябва да се проектира усилен защитен проводник по следния начин:

- Защитният проводник трябва да има сечение най-малко $10 \text{ mm}^2 \text{ Cu}$ или $16 \text{ mm}^2 \text{ Al}$ по цялото си трасе; или
- Трябва втори защитен проводник, със сечение най-малко съгласно изискването за защита от индиректен контакт, да се инсталира до точката, където защитния проводник има сечение не по-малко от $10 \text{ mm}^2 \text{ Cu}$ или $16 \text{ mm}^2 \text{ Al}$. Това налага уредът да има отделен вход за втори защитен проводник.

Когато устройства за защита от свръхток се използват за защита от електрически удар, защитният проводник трябва да бъде вграден в същата проводникова система както проводниците под напрежение или да бъде разположен в непосредствена близост до тях.

2 Защита на захранващи линии

2.6 Магистрални шинопроводи

В електрически инсталации за промишлена среда магистралните шинопроводи оптимизират разпределението на електроенергия, независимо от неизбежните модификации, извършени по-рано (допълнения, размествания, подмяна на товари) и улесняват работата по поддръжката и проверките за безопасност.

Те се използват основно като:

- източници на захранване на осветление, съоръжения за сигурност и разпределителни мрежи с малка мощност;
- линии за осветление (средна мощност);
- електрозахранване и разпределение (средна и висока мощност);
- захранване на движещо се оборудване (портални кранове).

Магистралните шинопроводи са предмет на следните стандарти:

- IEC 60439 – 1 «Комплектни комутационни устройства ниско напрежение – Част 1: Типово изпитани и частично типово изпитани комутационни устройства»
- IEC 60439 – 2 «Комплектни комутационни устройства ниско напрежение – Част 2: Специфични изисквания за магистрални шинопроводи»

Магистралните шинопроводи се състоят от:

- проводници/шини;
- съединителни елементи: елементи за електрическо и механично свързване на различни елементи;
- елементи за пръви участъци: основни елементи на линията за пренасяне на електроенергия от източника към товарите;
- елементи за оформяне на трасе: гъвкави връзки за създаване на завои или преодоляване на препятствия, хоризонтални и вертикални ъгли, Т-образни връзки и елементи за свързване на всякакви видове трасета;
- проходни кутии: елементи, които позволяват лампите или работните машини да бъдат захранвани през интегрирана защита (стопяеми предпазители или прекъсвачи);
- елементи за окачване/допълнителни принадлежности: елементи за окачване и закрепване на магистралните шинопроводи и за опора, необходима за специални товари (компоненти за осветление и т.н.).

Оразмеряване на магистрални шинопроводи

За оразмеряването на магистрален шинопровод трябва да се определи тока на товара като се използват следните данни:

Електрозахранване:

- Общ тип на захранването на товара:
 - еднофазно;
 - трифазно.
- Тип на захранването на магистралния шинопровод:
 - от едната страна;
 - от двете страни;
 - централно електрозахранване.
- Номинално напрежение
- Ток на късо съединение в точката на захранване
- Температура на околната среда

Товари

- Брой, разпределение, мощност, $\cos \varphi$ и тип на товарите, захранвани от един и същ магистрален шинопровод;

2 Защита на захранващи линии

Геометрия на магистралния шинопровод

- Тип на монтаж:
 - хоризонтален;
 - под наклон;
 - вертикален.
- Дължина

ЗАБЕЛЕЖКА: Магистралните шинопроводи трябва да се инсталират на разстояние от стени и тавани, така че да се предвиди възможност за визуална проверка на връзките по време на монтажа и да се улесни направата на отклонения.

Ако е възможно, препоръчва се магистралните шинопроводи да се инсталират под наклон, така че да се подобри механичната устойчивост и да се намали възможното отлагане на прах и замърсяващи вещества, които биха могли да повлияят на нивото на вътрешна изолация.

Изчисляване на тока на товара за трифазни системи

Токът на товара I_b за трифазна система се изчислява по следната формула:

$$I_b = \frac{P_t \cdot b}{\sqrt{3} \cdot U_r \cdot \cos \varphi_m} \quad [\text{A}] \quad (1)$$

където:

- P_t е сумата от активните мощности на всички инсталирани товари [W];
- b коефициента на захранване, който е:
 - 1, ако магистралният шинопровод се захранва само от едната страна;
 - 1/2 ако магистралният шинопровод се захранва от центъра или от двете страни едновременно;
- U_r е работното напрежение [V];
- $\cos \varphi_m$ е средният фактор на мощността на товарите

Избор на допустимо токово натоварване за магистрален шинопровод

Магистралните шинопроводи се избират така, че допустимото токово натоварване I_z да удовлетворява следната формула:

$$I_b \leq I_{z0} \cdot k_t = I_z \quad (2)$$

където:

- I_{z0} е токът, който магистралният шинопровод може да провежда за неопределено време при референтна температура (40°C);
- I_b е токът на товара;
- k_t е корекционният коефициент за стойности на температурата на околната среда, различни от референтната околна температура, показан в Таблица 1.

Таблица 1: Корекционен коефициент k_t за околна температура, различна от 40°C

Температура на околната среда [°C]	15	20	25	30	35	40	45	50
k_t	1.2	1.17	1.12	1.08	1.05	1	0.95	0.85

2 Защита на захранващи линии

Защита на магистрални шинопроводи

Защита от претоварване

За защитата на магистрални шинопроводи от претоварване се използват същите критерии, които се използват и за кабели. Трябва да се провери следната формула:

$$I_b \leq I_n \leq I_z \quad (3)$$

където:

- I_b е токът, за който е проектирана веригата;
- I_n е номиналният ток на защитното устройство; за настройваеми защитни устройства номиналният ток I_n е настроеният ток;
- I_z е непрекъснатото допустимо токово натоварване на магистралния шинопровод.

ЗАБЕЛЕЖКА – Не е необходима проверка на защитата от късо съединение, когато са използвани МСВ (миниатюрни прекъсвачи) до 63 А, които са правилно оразмерени за защита от претоварване. В такива случаи действително защитата срещу топлинни и електродинамични въздействия е надеждна благодарение на токоограничаващите защитните функции на тези устройствата.

Защита от късо съединение

На магистралните шинопроводи трябва да бъде осигурена защита от топлинно претоварване и електродинамични въздействия, дължащи се на тока на късо съединение.

Защита от топлинно претоварване

Трябва да бъде изпълнена следната формула:

$$I^2 t_{CB} \leq I^2 t_{BTS} \quad (4)$$

където:

- $I^2 t_{CB}$ е специфичната енергия на преминаване на прекъсвача при максимална стойност на тока на късо съединение в тази точка на инсталация. Това може да бъде видяно от време-токовите криви, показани в Част 2, Глава 2.2;
- $I^2 t_{BTS}$ е енергията, която може да понесе магистралният шинопровод и обикновено тази стойността се предоставя от производителя.

Защита от електродинамични въздействия

Трябва да бъде изпълнена следната формула:

$$I_{кр CB} \leq I_{кр BTS} \quad (5)$$

където:

- $I_{кр CB}$ е върховата стойност, ограничена от прекъсвача при максимален ток на късо съединение в точката на инсталация. Това може да бъде определено от време-токовите криви;
- $I_{кр BTS}$ е максималната върхова стойност на тока на магистралния шинопровод.

2 Защита на захранващи линии

Защита на изходящи захранващи линии

Ако изходящата захранваща линия, която най-често представлява кабелен канал, не е вече защитена от късо съединение и претоварване чрез устройство, разположено по посока на захранването, трябва да се изпълнят следните мерки:

- Защита от късо съединение:

Не е необходима защита от късо съединение за захранващата линия, ако едновременно са изпълнени следните условия:

- Дължината не превишава 3 метра;
- Рискът от късо съединение е минимизиран;
- В близост няма запалими материали.

Във взривоопасна среда и среда с голям риск от пожар винаги се изисква защита от късо съединение;

- Защита от претоварване:

Допустимото токово натоварване на захранващата линия по принцип е по-ниско от това на магистралния шинопровод. Затова е необходимо да се осигури и защита от претоварване за захранващата линия.

Устройството за защита от претоварване може да бъде монтирано вътре в проходната кутия или на входящото табло.

В последния случай, защитата от претоварване може да се реализира и чрез прекъсвачи, предпазващи отделните изходящи линии от таблото, само ако сумата от техните номинални токове е по-малка или равна на допустимото токово натоварване I_z на захранващата линия.

На места с по-голям риск от пожар устройството за защита от претоварване трябва да бъде инсталирано в изходящата точка, т.е. в проходната кутия.

Паг на напрежение

Ако магистралният шинопровод е особено дълъг, трябва да бъде проверена стойността на пага на напрежение. За трифазни системи с фактор на мощността ($\cos\varphi_m$) не по-нисък от 0,8, пагът на напрежение може да бъде изчислен по следната опростена формула:

$$\Delta u = \frac{a \cdot \sqrt{3} \cdot I_b \cdot L \cdot (r_t \cdot \cos\varphi_m + x \cdot \sin\varphi_m)}{1000} [V] \quad (6a)$$

За еднофазни магистрални шинопроводи формулата е:

$$\Delta u = \frac{a \cdot 2 \cdot I_b \cdot L \cdot (r_t \cdot \cos\varphi_m + x \cdot \sin\varphi_m)}{1000} [V] \quad (6b)$$

където:

- “a” е коефициентът на разпределение на тока, който зависи от захранването на веригата и от разположението на електрическите товари по магистралния шинопровод, както е показано в Таблица 2:

2 Защита на захранващи линии

Таблица 2: Коефициент на разпределение на тока

Тип на захранването	Разположение на товарите	Коефициент на разпределение
Само от едната страна	Товарът е концентриран в края	1
	Равномерно разпределен товар	0,5
От двете страни	Равномерно разпределен товар	0,25
Централно	Товарът е концентриран в двата края	0,25
	Равномерно разпределен товар	0,125

- I_b е токът на товара [A];
- L е дължината на магистралния шинопровод [m];
- r_t е фазовото съпротивление на единица дължина на магистралния шинопровод, измерено в стабилно топлинно състояние [$m\Omega/m$];
- x е фазовото реактивно съпротивление на единица дължина на магистралния шинопровод [$m\Omega/m$];
- $\cos \varphi_m$ е средният фактор на мощността на товарите.

Процентният пад на напрежение се получава от:

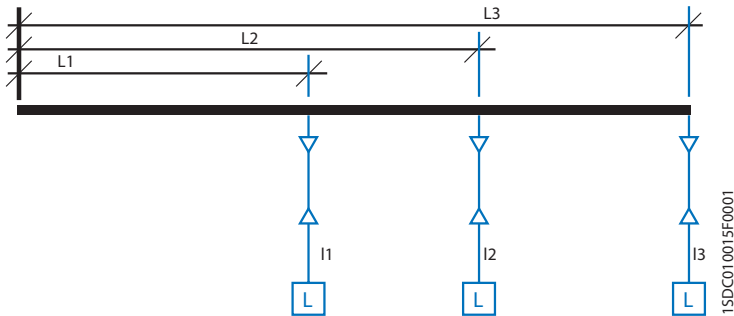
$$\Delta U \% = \frac{\Delta U}{U_r} \cdot 100 \quad (7)$$

където U_r е номиналното напрежение.

За да се намали падът на напрежението в много дълги магистрални шинопроводи, захранването може да се подава в междинна точка, а не в края (виж Таблица 2).

Изчисляване на пада на напрежение при неравномерно разпределени товари

Ако товарите не могат да се считат за равномерно разпределени, падът на напрежението може да бъде изчислен по-точно чрез използване на формулите дадени по-долу:



За разпределението на трифазните товари, показани на фигурата, падът на напрежение може да бъде изчислен чрез следната формула, ако магистралният шинопровод има константно сечение (както е най-често):

$$\Delta U = \sqrt{3} [r_t (I_1 L_1 \cos \varphi_1 + I_2 L_2 \cos \varphi_2 + I_3 L_3 \cos \varphi_3) + x (I_1 L_1 \sin \varphi_1 + I_2 L_2 \sin \varphi_2 + I_3 L_3 \sin \varphi_3)]$$

2 Защита на захранващи линии

В общия случай тази формула изглежда така:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot r_t \cdot \sum I_i \cdot L_i \cdot \cos \varphi_{mi} + x \cdot \sum I_i \cdot L_i \cdot \sin \varphi_{mi}}{1000} \text{ [V]} \quad (8)$$

където:

- r_t е фазовото съпротивление на единица дължина на магистралния шинопровод, измерено в стабилно топлинно състояние [mΩ/m];
- x е фазовото реактивно съпротивление на единица дължина на магистралния шинопровод [mΩ/m];
- $\cos \varphi_m$ е средният фактор на мощността на i-тия товар;
- I_i е i-тия ток на товара [A];
- L_i е разстоянието от i-тия товар до началото на магистралния шинопровод [m].

Загуби от ефекта на Джаул

Загубите от ефекта на Джаул се дължат на електрическото съпротивление на магистралния шинопровод. Те, всъщност, са разсеяна топлинна енергия и допринасят за нагряването на шинопровода и околната среда. Изчисляването на загубите е полезно за правилното оразмеряване на климатичната инсталация на сградата.

Трифазните загуби са:

$$P_j = \frac{3 \cdot r_t \cdot I_b^2 \cdot L}{1000} \text{ [W]} \quad (9a)$$

докато еднофазните загуби са:

$$P_j = \frac{2 \cdot r_t \cdot I_b^2 \cdot L}{1000} \text{ [W]} \quad (9b)$$

- I_b е използваният ток [A];
- r_t е фазовото съпротивление на единица дължина на магистралния шинопровод, измерено в стабилно топлинно състояние [mΩ/m];
- L е дължината на магистралния шинопровод [m].

За да се постигне точност на изчисленията, загубите трябва да се оценят секция по секция на базата на токовете, протичащи през тях; т.е. в случай на разпределение на товарите като това, показано на предишната фигура:

	Дължина	Ток	Загуби
1-ва секция	L_1	$I_1 + I_2 + I_3$	$P_1 = 3r_t L_1 (I_1 + I_2 + I_3)^2$
2-ра секция	$L_2 - L_1$	$I_2 + I_3$	$P_2 = 3r_t (L_2 - L_1) (I_2 + I_3)^2$
3-та секция	$L_3 - L_2$	I_3	$P_3 = 3r_t (L_3 - L_2) (I_3)^2$
Общи загуби в магистралния шинопровод			$P_{tot} = P_1 + P_2 + P_3$

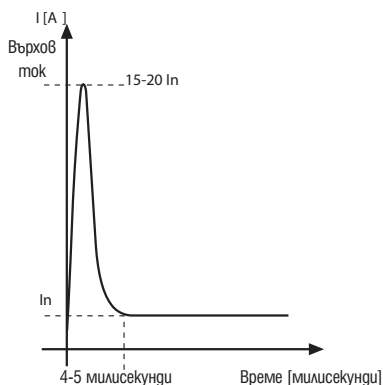
3 Защита на електрическото оборудване

3.1 Защита и пускане на осветителни инсталации

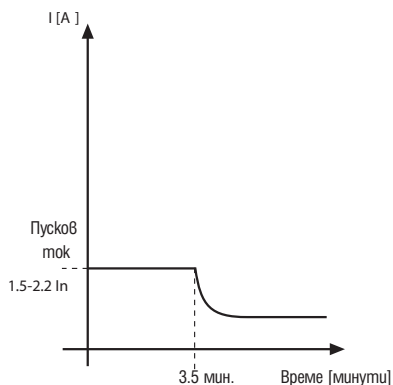
Въведение

При захранване на осветителни инсталации за кратък период от време в мрежата циркулира начален ток, превишаващ номиналния. Тази възможна върхова стойност е приблизително $15 \div 20$ пъти по-голяма от номиналния ток и е с продължителност няколко милисекунди; възможно е да възникне и пусков ток със стойност $1,5 \div 3$ пъти по-голяма от номиналния ток, с продължителност до няколко минути. За правилното оразмеряване на превключващите и защитните устройства трябва да се вземат под внимание тези проблеми.

Графика на върхов ток



Графика на пусков ток



1SDC010003F0901

Най-често използваните лампи са от следните видове:

- лампи с нажежаема жичка;
- халогенни лампи;
- флуоресцентни лампи;
- газоразрядни лампи с висока интензивност: с живачни пари, метален халогенид и натриеви пари.

Лампи с нажежаеми жички

Лампите с нажежаеми жички са направени от стъклен балон, съдържащ инертен газ или под вакуум и волфрамова жичка. Токът протича през тази жичка и я нагрява, докато започне излъчване на светлина.

Електрическото поведение на тези лампи включва висок върхов ток, равен приблизително на 15 пъти номиналния ток; след няколко милисекунди токът пада до номиналната си стойност. Този върхов ток е причинен от жичката на лампата, която в началния момент е студена и има много ниско електрическо съпротивление. След това, поради бързото нагряване на този елемент, стойността на съпротивлението нараства значително, което води до намаляване на изразходвания ток.

3 Защита на електрическото оборудване

Халогенни лампи

Халогенните лампи са специален тип лампи с нажежаеми жички, в които газът в крушката предотвратява отлагането на изпарено вещество от волфрамовата жичка на повърхността на крушката и предизвиква обратното му отлагане върху жичката. Това явление забавя изхабяването на жичката, подобрява качеството на излъчваната светлина и удължава живота на лампата.

Електрическото поведение на тези лампи е същото като това на лампите с нажежаеми жички.

Флуоресцентни лампи

Флуоресцентните лампи са от така наречените газоразрядни източници на светлина. Светлината се получава чрез разряд в прозрачно тяло (от стъкло, кварц и т.н. в зависимост от типа на лампата), което съдържа живачни пари под ниско налягане.

След започване на процеса на йонизация, газът изпълващ тялото излъчва енергия в ултравиолетовия спектър, която прониква във флуоресцентното вещество; на свой ред това вещество трансформира ултравиолетовото излъчване в лъчение, което има дължина на вълната във видимия спектър. Цветът на излъчваната светлина зависи от използваното флуоресцентно вещество.

Разрядът се получава чрез подходящо върхово напрежение, генерирано чрез стартер. При включване на лампата газът има ниско съпротивление и е необходимо да се стабилизира големината на тока чрез дросел; това понижава фактора на мощността до стойности около $0,4 \div 0,6$; обикновено се добавя кондензатор за увеличаване на фактора на мощността до стойност, по-голяма от 0,9.

Има два вида дросели, магнитни (конвенционални) и електронни, които отнемат от 10% до 20% от номиналната мощност на лампата. Електронните дросели имат определени предимства, като спестяване на изразходваната енергия, по-малко разсейване на топлина и осигуряват стабилна, нетрепкаща светлина. Някои видове флуоресцентни лампи с електронни дросели не се нуждаят от стартер.

Компактните флуоресцентни лампи са направени от тръба, пластмасова основа и конвенционални или електронни дросели.

Стойността на пусковия ток зависи от наличието на кондензатор за коригиране на фактора на мощността:

- Лампите без корекция на фактора на мощността имат пусков ток, равен приблизително на два пъти номиналния ток и време на включване равно приблизително на около десет секунди;
- При лампите с корекция на фактора на мощността наличието на кондензатор позволява намаляване на времето на включване до няколко секунди, но изисква висок надноминален ток, определен от зареждането на кондензатора, който може да достигне 20 пъти номиналния ток.

Ако лампата има електронен дросел, началният преходен ток може да доведе до надноминални токове, равни на максимум 10 пъти номиналния ток.

3 Защита на електрическото оборудване

Газоразрядни лампи с висок интензитет: с живачни пари, метален халогенид и натриеви пари

Функционирането на газоразрядните лампи с висок интензитет е същото като това на флуоресцентните лампи с тази разлика, че йонизирането се извършва при наличието на газ под високо налягане. В този случай гъбата изпарява металните елементи, съдържащи се в газа, освобождавайки енергия под формата на светлинно излъчване, което е както в ултравиолетовия, така и във видимия спектър. Специалният вид стъкло на крушката спира ултравиолетовото излъчване и пропуска само това от видимия спектър. Има три основни вида газоразрядни лампи с висок интензитет: с живачни пари, с метален халогенид и с натриеви пари. Цветовете характеристики и ефективността на лампата зависи от различните метални елементи в газа, на които въздейства гъбата.

За газоразрядните лампи с висок интензитет е необходим подходящо оразмерен контролер и период на загряване, който може да продължи няколко минути до започване на излъчването на светлина. Моментна загуба на захранването причинява рестартиране на системата и изисква ново загряване.

Лампите без корекция на фактора на мощността имат пусков ток до два пъти номиналния ток с продължителност около 5 минути.

Лампите с корекция на фактора на мощността имат върхов ток, равен на 20 пъти номиналния ток, и пусков ток до два пъти номиналния ток с продължителност около 5 минути.

Вид лампа		Върхов ток	Пусков ток	Време на включване
Лампи с нажежаеми жички		15 In	-	-
Халогенни лампи		15 In	-	-
Флуоресцентни лампи	Без корекция на фактора на мощността	-	2 In	10 сек.
	С корекция фактора на мощността	20 In		1-6 сек.
Газоразрядни лампи с висок интензитет	Без корекция фактора на мощността	-	2 In	2-8 мин.
	С корекция фактора на мощността	20 In	2 In	2-8 мин.

Защита и превключващи устройства

IEC 60947-4-1 определя две отделни категории за приложение на контактори за управление на лампи:

- AC-5a пускане на електрически газоразрядни лампи;
- AC-5b пускане на лампи с нажежаеми жички.

Документацията, доставена от производителя, съдържа таблици за избор на контактори в зависимост от броя на лампите, които трябва да бъдат управлявани, както и техния тип.

3 Защита на електрическото оборудване

При избиране на защитно устройство трябва да се извършат следните проверки:

- Време-токовата крива на изключване на защитата трябва да е разположена над време-токовата крива на осветителния уред за да се избегнат нежелани изключения; такъв пример е показан на Фигура 1;
- Трябва да има координация с контактора в условия на късо съединение (за осветителните инсталации обикновено не са характерни претоварвания).

По отношение на горните критерии за проверка в следващите таблици е показан максималният брой лампи за фаза, който може да бъде управляван чрез комбинация от прекъсвачи ABB и контактори за някои видове лампи в зависимост от тяхната мощност и изразходван ток I_b (*), за трифазните инсталации с номинално напрежение 400 V и максимален ток на късо съединение 15kA.

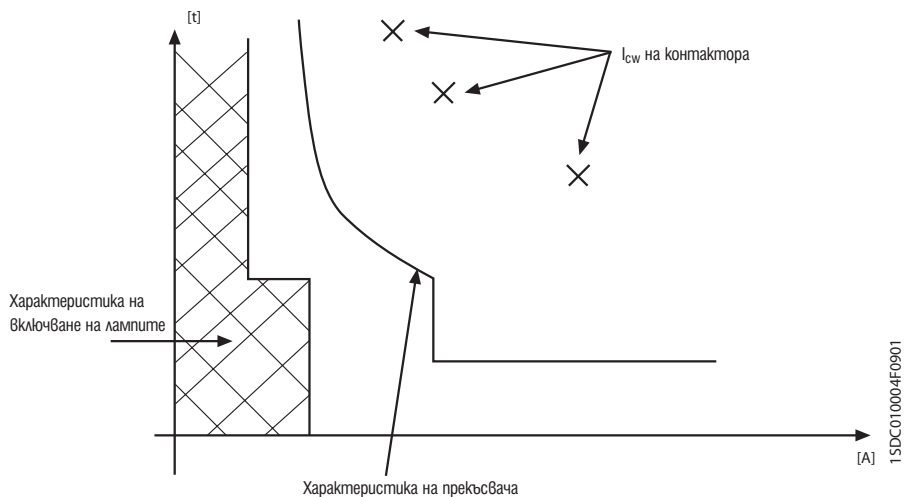
(*) За начина на изчисляване вижте Приложение В „Изчисляване тока на товара I_b ”.

Таблица 1: Лампи с нажежаеми жички и халогенни лампи

U _r = 400 V		I _k = 15 kA					
Лампи с нажежаеми жички / халогенни лампи							
Тип прекъсвач		S200P D20	S200P D20	S200P D25	S200P D32	S200P D50	
Настройка PR221 DS		----	----	----	----	----	
Тип контактор		A26	A26	A26	A26	A30	
Номинална мощност [W]	Номинален ток I _b [A]						
60	0.27	57	65	70	103	142	
100	0.45	34	38	42	62	85	
200	0.91	17	19	20	30	42	
300	1.37	11	12	13	20	28	
500	2.28	6	7	8	12	16	
1000	4.55	3	4	4	6	8	

3 Защита на електрическото оборудване

Фигура 1: Приблизителна схема за координиране на лампи с устройства за защита и превключване



1SDC010032F0201

T2N160 In63		T2N160 In63		T2N160 In100		T2N160 In100		T2N160 In100		T2N160 In160	
L= 0.68- A S= 8- B	L= 0.92- A S= 10- B	L= 0.68- A S= 8- B	L= 0.76- A S= 8- B	L= 1- A S= 10- B	L= 0.68- A S= 7- B						
A40	A50	A63	A75	A95	A110						
n брой лампи на фаза											
155	220	246	272	355	390						
93	132	147	163	210	240						
46	65	73	80	105	120						
30	43	48	53	70	80						
18	26	29	32	42	48						
9	13	14	16	21	24						

3 Защита на електрическото оборудване

Таблица 2: Флуоресцентна лампа

U _r = 400 V		I _k = 15 kA					
Флуоресцентни лампи без корекция на фактора на мощността							
Тип прекъсвач		S200P D16	S200P D20	S200P D20	S200P D32	S200P D40	
Настройка PR221 DS							
Тип контактор		A26	A26	A26	A26	A30	
Номинална мощност [W]	Номинален ток I _b [A]						
20	0.38	40	44	50	73	100	
40	0.45	33	37	42	62	84	
65	0.7	21	24	27	40	54	
80	0.8	18	21	23	35	47	
100	1.15	13	14	16	24	33	
110	1.2	12	14	15	23	31	

Ur= 400 V		Ik= 15 kA						
Флуоресцентни лампи с корекция на фактора на мощността								
Тип прекъсвач			S200P D25	S200P D25	S200P D32	S200P D40	S200P D63	
Настройка PR221 DS			---	---	---	---	---	
Тип контактор			A26	A26	A26	A26	A30	
Номинална мощност [W]	Номинален ток I _n [A]	Кондензатор [µF]						
20	0.18	5	83	94	105	155	215	
40	0.26	5	58	65	75	107	150	
65	0.42	7	35	40	45	66	92	
80	0.52	7	28	32	36	53	74	
100	0.65	16	23	26	29	43	59	
110	0.7	18	21	24	27	40	55	

3 Защита на електрическото оборудване

Фигура 1: Приблизителна схема за координиране на лампи с устройства за защита и превключване

1SDC010033F0201

	S200P D50	S200P D63	T2N160 In100	T2N160 In100	T2N160 In100	T2N160 In160
			L= 0.68- A S= 10- B	L= 0.76- A S= 10- B	L= 0.96- A- S= 10- B	S= 0.68- A S= 10- B
	A40	A50	A63	A75	A95	A110
п брой лампи на фаза						
	110	157	173	192	250	278
	93	133	145	162	210	234
	60	85	94	104	135	150
	52	75	82	91	118	132
	36	52	57	63	82	92
	35	50	55	60	79	88

	T2N160 In63	T2N160 In63	T2N160 In100	T2N160 In100	T2N160 In100
	L= 0.68- A S= 8- B	L= 1- A S= 10- B	L= 0.68- A S= 10- B	L= 0.76- A S= 10- B	L= 0.96- A S= 10- B
	A40	A50	A63	A75	A95
п брой лампи на фаза					
	233	335	360	400	530
	160	230	255	280	365
	100	142	158	173	225
	80	115	126	140	180
	64	92	101	112	145
	59	85	94	104	135

3 Защита на електрическото оборудване

Таблица 3: Газоразрядни лампи с висок интензитет

U _r = 400 V		I _k = 15 kA					
Флуоресцентни лампи без корекция на фактора на мощността							
Тип прекъсвач		S200P D16	S200P D20	S200P D20	S200P D32	S200P D40	
Настройка PR221 DS							
Тип контактор		A26	A26	A26	A26	A30	
Номинална мощност [W]	Номинален ток I _b [A]						
150	1.8	6	7	8	11	15	
250	3	4	4	5	7	9	
400	4.4	3	3	3	4	6	
600	6.2	1	2	2	3	4	
1000	10.3	-	1	1	2	3	

U _r = 400 V		I _k = 15 kA						
Флуоресцентни лампи с корекция на фактора на мощността								
Тип прекъсвач			S200P D25	S200P D25	S200P D32	S200P D40	S200P D63	
Настройка PR221 DS			---	---	---	---	---	
Тип контактор			A26	A26	A26	A26	A30	
Номинална мощност [W]	Номинален ток I _b [A]	Кондензатор [µF]						
150	1	20	13	14	15	23	28	
250	1.5	36	8	9	10	15	18	
400	2.5	48	5	5	6	9	11	
600	3.3	65	4	4	5	7	8	
1000	6.2	100	-	-	-	4	4	

3 Защита на електрическото оборудване

	S200P D40	S200P D50	S270 D63	T2N160 In100	T2N160 In100	T2N160 In160
				L= 0.8- B S= 6.5- B	L= 1- B S= 8- B	L= 0.8- B S= 6.5- B
	A40	A50	A63	A75	A95	A110
п брой лампи на фаза						
	17	23	26	29	38	41
	10	14	16	17	23	25
	7	9	10	12	15	17
	5	7	8	8	11	12
	3	4	5	5	6	7

1SDC010034F0201

	S200P D40	T2N160 In100	T2N160 In100	T2N160 In100	T2N160 In160	T2N160 In160
	---	L= 0.8- B S= 6.5- B	L= 0.88- B S= 6.5- B	L= 1- B S= 6.5- B	L= 0.84- B S= 4.5- B	L= 0.88- B S= 4.5- B
	A40	A50	A63	A75	A95	A110
п брой лампи на фаза						
	30	50	58	63	81	88
	20	33	38	42	54	59
	12	20	23	25	32	36
	9	15	17	19	24	27
	5	8	9	10	13	14

Пример:

Превключване и защита на осветителна система, захранвана от трифазна мрежа с 400 V 15 kA, състояща се от 55 лампи с нажежаема жичка, всяка по 200 W на фаза.

В Таблица 1 от реда съответстващ на 200 W изберете клетката, показваща броя на управляваните лампи за фаза, които съдържа инсталацията. В конкретния случай съответната клетка е с 65 лампи за фаза и се препоръчва следното оборудване:

- Прекъсвач ABB Tmax T2N160In63 с електронен защитен блок PR221/DS със защита L настроена на 0.92, крива A и защита S настроена на 10, крива B;
- Контактор A50.

3 Защита на електрическото оборудване

3.2 Защита и пускане на генератори

Необходимостта да се осигурява все по-голяма непрекъснатост на работата доведе до използването на генератори за аварийно захранване, от една страна като алтернатива, а от друга в паралел с обществената мрежа за електрозахранване.

Типичните конфигурации са следните:

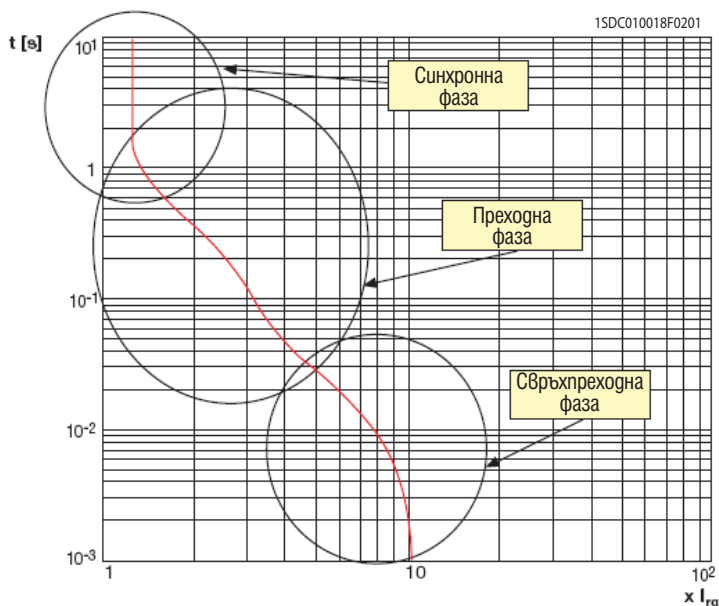
- “Захранване остров” (независимо функциониране) на приоритетните товари, в случай на отпадане на електрозахранването от обществената мрежа;
- Захранване на потребителската инсталация паралелно с обществената мрежа за електрозахранване.

За разлика от обществената мрежа за електрозахранване, в която тока на късо съединение има постоянна стойност, захранващият ток на генератора е функция на параметрите на самата машина и намалява с времето; възможно е да се различат следните последователни фази:

1. Свръхпреходна фаза: с кратка продължителност ($10 \div 50$ ms), характеризира се със свръхпреходното реактивно съпротивление $X''d$ ($5 \div 20\%$ от номиналната стойност на импеданса) и със свръхпреходната времева константа $T''d$ ($5 \div 30$ ms);

2. Преходна фаза: може да продължи до няколко секунди ($0,5 \div 2,5$ s), характеризира се с преходното реактивно съпротивление $X'd$ ($15 \div 40\%$ от номиналната стойност на импеданса) и с преходната времева константа $T'd$ ($0,03 \div 2,5$ s);

3. Синхронна фаза: може да продължи до изключване на външна защита, характеризира се със синхронно реактивно съпротивление X_d ($80 \div 300\%$ от номиналната стойност на импеданса).



3 Защита на електрическото оборудване

Като първо приближение може да се приеме, че максималната стойност на тока на късо съединение на генератор с номинална мощност S_{rg} при номинално напрежение на инсталацията U_r е равна на:

$$I_{kg} = \frac{I_{rg} \cdot 100}{X_d'' \%}$$

където I_{rg} е номиналният ток на генератора:

$$I_{rg} = \frac{S_{rg}}{\sqrt{3} \cdot U_r}$$

Прекъсвачът за защита на генератора трябва да бъде избран съгласно следните критерии:

- Настроеният ток да е по-висок от номиналния ток на генератора: $I_1 \geq I_{rg}$;
- Изключвателната способност I_{cu} или I_{cs} да е по-висока от максималната стойност на тока на късо съединение в точката на присъединяване:

- в случай на единичен генератор: $I_{cu}(I_{cs}) \geq I_{kg}$;

- в случай на n идентични генератора, включени в паралел: $I_{cu}(I_{cs}) \geq I_{kg} \cdot (n - 1)$;

- в случай на работа в паралел с мрежата: $I_{cu}(I_{cs}) \geq I_{kgNet}$, тъй като захранващият ток на късо съединение от мрежата обикновено е по-голям от захранващият ток на късо съединение от генератора;

- За прекъсвачи със защиты от претоварване и к.с.: ниска стойност на изключване на защитата от к.с.: $I_3 = 2,5/3 \cdot I_n$;

- За прекъсвачи с електронни защитни блокове:

- стойността на изключване на функцията за защита от късо съединение със закъснение (S) да е настроена между 1,5 и 4 пъти номиналния ток на генератора, така че да „пресреща“ кривата на затихване на генератора: $I_2 = (1,5 \div 4) \cdot I_{rg}$. Ако липсва функцията S , функцията може да бъде настроена на указаната стойност $I_3 = (1,5 \div 4) \cdot I_{rg}$;

- стойността на изключване на функцията за мигновена защита от късо съединение (I_3) да е настроена на стойност по-голяма от стойността на номиналния ток на късо съединение на генератора, така че да се постигне селективност на устройствата, инсталирани в посока надолу по веригата и да осигури възможност за бързо изключване в случай на късо съединение между устройството и захранването (при работа в паралел с други генератори или с мрежата):

$$I_3 \geq I_{kg}.$$

3 Защита на електрическото оборудване

В таблиците по-долу ще намерите предложенията за пускане и защита на генератори с апаратура на ABB SACE. Таблиците са съответно за напрежения 400V (Таблица 1), 440V (Таблица 2), 500V (Таблица 3), 690V (Таблица 4). Прекъсвачите с лят копрус може да бъдат оборудвани както с термомагнитна, така и с електронна защита.

Таблица 1

S _н [kV A]	MC B	M CCB	ACB
4	S200 B6	T2 160	
6	S200 B10		
7	S200 B13		
9			
11	S200 B16		
14	S200 B25		
17			
19			
21	S200 B32		
22			
28	S200 B50		
31			
35	S200 B63		
38			
42			
44	S280 B80	T3 250 T4 250	
48			
55	S280 B100		
69			
80			
87			
100			
111			
138			
159			
173			
180			
190			
208			
218			
242		T4 320	
277		T5 400	
308		T5 630	X1 630
311			
346			
381			
415			
436			
484			
554			
692			
727			
865			
1107			
1730			
2180			
2214			
2250			
2500			
2800			
3150			
3500			

Таблица 2

S _н [k VA]	MC B	M CCB	ACB
4	S200 B6	T2 160	
6	S200 B8		
7	S200 B10		
9	S200 B13		
11	S200 B16		
14	S200 B20		
17	S200 B25		
19			
21	S200 B32		
22			
28	S200 B40		
31	S200 B50		
35			
38	S200 B63		
42			
44			
48	S280 B80	T3 250 T4 250	
55			
69	S280 B100		
80			
87			
100			
111			
138			
159			
173			
180			
190			
208			
218			
242		T4 320	
277		T5 400	
308		T5 630	X1 630
311			
346			
381			
415			
436			
484			
554			
692			
727			
865			
1107			
1730			
2180			
2214			
2250			
2500			
2800			
3150			
3500			

** също може да бъде използван прекъсвач Emax тип E1

3 Защита на електрическото оборудване

Таблица 3

S ₁₉ [kV A]	MCB	MCCB	ACB
4		T2 160	
6			
7			
9			
11			
14			
17			
19			
21			
22			
28			
31			
35			
38			
42			
44			
48			
55			
69			
80			
87			
100			
111			
138			
159		T3 250 T4 250	
173			
180			
190			
208			
218			
242	T4 320		
277			
308	T5 400		
311			
346			
381			
415	T5 630	X1 630	
436			
484			
554	T6 800	X1 800**	
692			
727	T7 1000	X1 1000**	
865			
1107	T7 1600	X1 1600**	
1730		E2 2000	
2180			
2214		E3 3200	
2250			
2500			
2800			
3150	E4 4000		
3500	E6 5000		

Таблица 4

S ₁₉ [kV A]	MCB	MCCB	ACB
4		T2 160	
6			
7			
9			
11			
14			
17			
19			
21			
22			
28			
31			
35			
38			
42			
44			
48			
55			
69			
80			
87			
100			
111			
138			
159			
173			
180			
190			
208			
218			
242			
277			
308			
311			
346			
381			
415			
436			
484			
554			
692			
727			
865			
1107			
1730			
2180			
2214			
2250			
2500			
2800			
3150			
3500			

** също може да бъде използван прекъсвач Emax тип E1

1SDC010017F0001

3 Защита на електрическото оборудване

Пример:

Защита на генератор с $S_{rg} = 100 \text{ kVA}$ в система с номинално напрежение 440 V.

Параметрите на генератора са:

$$U_f = 440 \text{ V}$$

$$S_{rg} = 100 \text{ kVA}$$

$$I_{rg} = 131.2 \text{ A}$$

$$X''_d = 6.5\% \text{ (свърхпреходно реактивно съпротивление)}$$

$$X'_d = 17.6\% \text{ (преходно реактивно съпротивление)}$$

$$X_d = 230\% \text{ (синхронно реактивно съпротивление)}$$

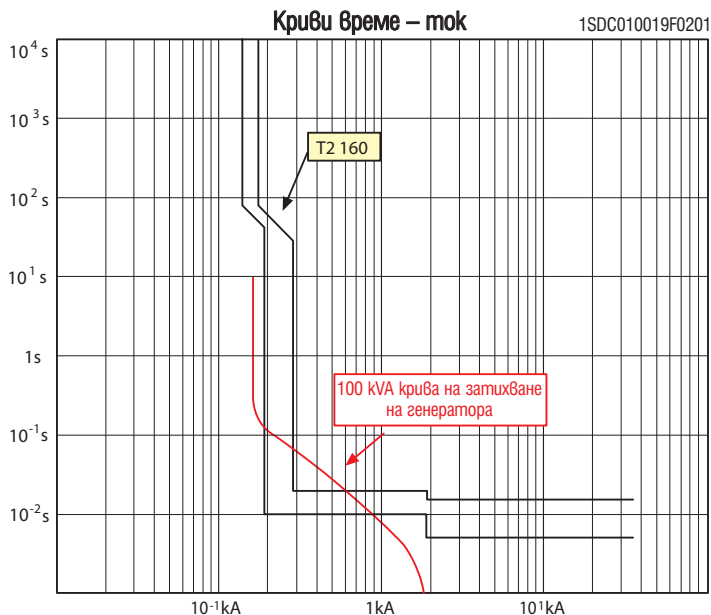
$$T''_d = 5.5 \text{ ms (свърхпреходна времева константа)}$$

$$T'_d = 39.3 \text{ ms (преходна времева константа)}$$

От Таблица 2 е избран прекъсвач ABB SACE T2N160 с $I_n = 160 \text{ A}$ с електронен защитен блок PR221-LS. За правилната защита на генератора са избрани следните настройки:

Функция L: 0.84 – A, съответстваща на 134.4 A, стойност по-голяма от I_{rg}

Функция : 1.5



3 Защита на електрическото оборудване

3.3 Защита и пускане на двигатели

Електромеханични стартери

Стартерите са предназначени за:

- пуск на двигатели;
- осигуряване непрекъсната работа на двигателите;
- разединяване/ отделяне на двигателите от захранващата линия;
- гарантиране на защита на двигателите от работни претоварвания.

Обикновено стартерите се състоят от превключващо устройство (контактор) и устройство за защита от претоварване (термичен защитен блок).

Двете устройства трябва да бъдат координирани с оборудване, способно да осигури защита от късо съединение, обикновено прексвач само със защита от к.с. (магнитен защитен блок), което не е задължителна част на стартера.

Характеристиките на стартера трябва да съответстват на международния стандарт IEC 60947-4-1, който дава следните определения:

- **Контактор:** механично превключващо устройство, имащо само едно положение при работа, способно да включва, провежда и прекъсва токове при нормални за веригата условия, включително условия на претоварване.

- **Термичен защитен блок:** реле за термично претоварване, което сработва в случай на претоварване и също така в случай на отпадане на фаза.

- **Прексвач:** дефиниран в ЕС 60947-2 като механично превключващо устройство способно да включва, провежда и прекъсва токове при нормални за веригата работни условия, а също така да включва, провежда и да прекъсва токове за дадено време при определени аномални условия за веригата.

Основните видове двигатели, които могат да работят със стартер и които определят характеристиките му, са дефинирани чрез следните категории за приложение:

Вид на тока	Категория на приложение	Типични приложения
Променил ток AC	AC-2	Двигатели с контактни пръстени: пуск, изключване
	AC-3	Двигатели с накъсо съединен ротор: пуск, изключване по време на работа ⁽¹⁾
	AC-4	Двигатели с накъсо съединен ротор: пуск, спиране с противовключване, многократни-краткотрайни включвания

(1) Категориите AC-3 могат да се използват за спорадични многократни-краткотрайни включвания като например за настройване на машини; през такива ограничени периоди от време броят на тези операции не бива да превишава пет за минута или повече от десет за десетминутен период.

3 Защита на електрическото оборудване

Избирането на пусков метод, а също така ако е необходимо, и на вида на използвания двигател зависи от типичния съпротивителен въртящ момент на товара и от мощността на късо съединение на мрежата, захранваща двигателя.

Най-често използваните типове двигатели за работа с променлив ток са следните:

- асинхронни трифазни двигатели с накъсо съединен ротор (АС-3): те са най-разпространени благодарение на простата си конструкция, икономичност и устойчивост; те развиват голям въртящ момент за кратък период на ускорение, но изискват повишени пускови токове;
- двигатели с контактни пръстени (АС-2): те се характеризират с по-малко изисквания за пусковите условия и имат доста висок пусков въртящ момент дори при захранваща мрежа с ниска мощност.

Пускови методи

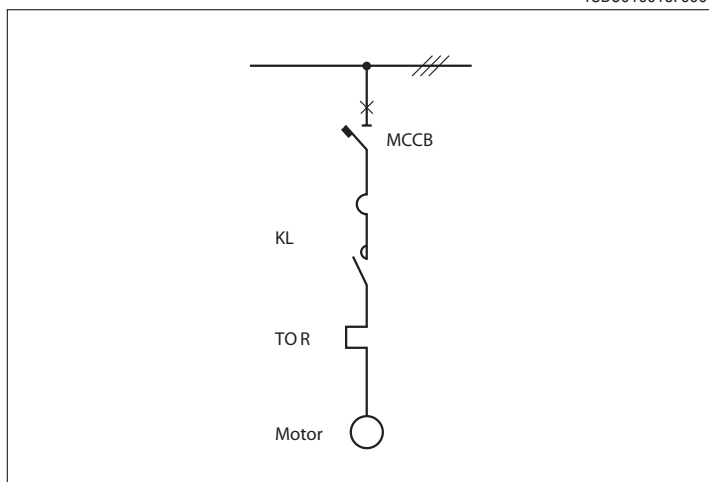
По-долу са описани най-разпространените пускови методи за асинхронни двигатели с накъсо свързан ротор:

• Директен пуск

При директния линеен пуск DOL (Direct On Line), със затварянето на линейния контактор KL се прилага линейно напрежение директно към клемите на двигателя с една единствена операция. Двигателят с накъсо съединен ротор развива висок пусков въртящ момент за сравнително кратък ускорителен период. Този метод се използва обикновено за двигатели с малка и средна мощност, които достигат пълната си работна скорост за кратко време. Тези преимущества обаче са придружени от редица недостатъци, като например:

- висока консумация на ток и свързаният с това пад на напрежение. Това може да причини повреда на други части на системата, прикачени към мрежата;
- бурно ускорение, което има отрицателен ефект върху компонентите на механичната трансмисия (ремъци, вериги и механични връзки), намалявайки работния им живот.

1SDC010018F0001



3 Защита на електрическото оборудване

Други методи за пуск на двигатели с накъсо свързан ротор са усъвършенствани чрез намаляване на захранващото напрежение на двигателя: това води до намаляване на пусковия ток и на въртящия момент на двигателя и увеличаване на времето на ускоряване.

• Стартер звезда – триъгълник

Най-разпространеният метод на пуск с намалено напрежение на стартера е „звезда – триъгълник“ (Y-Δ), при който:

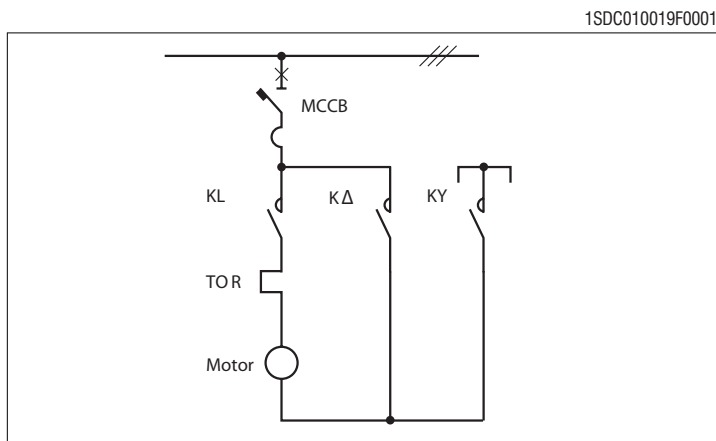
- при пуск намотките на статора са свързани в „звезда“, като така се постига намаляване на върховия пусков ток;
- след като е почти достигната нормалната скорост на двигателя се извършва превключване към „триъгълник“.

След превключването токът и въртящият момент следват време-токовите криви, отнасящи се за нормалното работно свързване (триъгълник).

Както лесно може да се провери, пускът на двигателя със свързване „звезда“ води до намаляване на напрежението $\sqrt{3}$ пъти, а потребеният ток от линията се намалява с $1/3$ в сравнение с тока, $\sqrt{3}$ пъти при свързване „триъгълник“.

Пусковият въртящ момент, пропорционален на квадрата на напрежението, се намалява 3 пъти в сравнение с въртящия момент на същия двигател при свързване „триъгълник“.

Този метод най-често се прилага при двигатели с мощност от 15 до 355 kW, но предназначени за пуск с нисък начален съпротивителен въртящ момент.



• Пускова последователност

С натискане на бутона старт се затварят контакторите KL и KY. Таймерът започва да измерва пусковото време, през което двигателят е свързан в режим „звезда“. След като изтече зададеното време, таймерът отваря контактора KY и със закъснение около 50 ms затваря контактора KΔ. При тази нова конфигурация – затворени контактори KL и KΔ - двигателят вече е свързан в режим „триъгълник“.

3 Защита на електрическото оборудване

Термичният защитен блок (TOR), включен във веригата „триъгълник“, може да установи наличието на всички 3-ти хармонични токове, които могат да възникнат вследствие на насищане на магнитния блок и като се добавят към основния ток да претоварват двигателя.

Във връзка със схемата на свързване, оборудването използвано за пуска „звезда/триъгълник“ трябва да може да провежда следните токове:

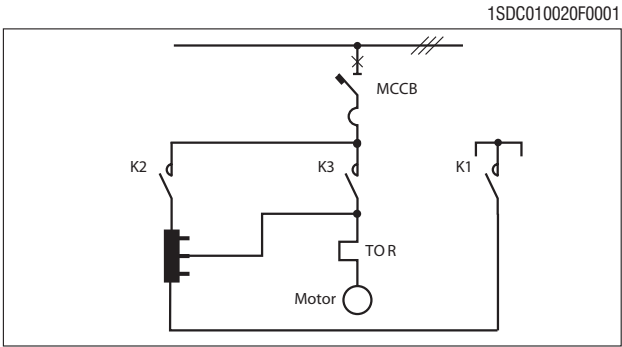
$\frac{I_r}{\sqrt{3}}$	KL линеен контактор и К контактор триъгълник
$\frac{I_r}{3}$	KY контактор звезда
$\frac{I_r}{\sqrt{3}}$	Защитен блок от претоварване

където I_r е номиналният ток на двигателя.

• Пуск с автотрансформатори

Пускът с автотрансформатори е най-функционалният от методите, използвани за пуск с понижено напрежение, но също така и най-скъпият. Понижаването на напрежението се постига чрез използване на автотрансформатори с фиксирани отклонения (стъпален превключвател) или на още по-скъпите автотрансформатори с много отклонения.

Този пуск намира приложение при двигателите с накъсо свързан ротор, които обикновено имат мощност от 50 kW до няколко стотин киловата и двигатели с двуфазен ротор с още по-голяма мощност.



Автотрансформаторът понижава мрежовото напрежение с коефициент K ($K = 1.25 \div 1.8$) и като следствие от това пусковият въртящ момент се понижава K^2 пъти в сравнение със стойността на пълното номинално напрежение.

При пуск двигателят е свързан към отклоненията на автотрансформатора и контакторите K2 и K1 са затворени.

3 Защита на електрическото оборудване

По този начин двигателят стартира при понижено напрежение и когато достигне приблизително 80% от нормалната си скорост, контакторът K1 се отваря и основният контактор K3 се затваря. След това се отваря контакторът K2, отделяйки автотрансформатора така, че двигателят да се захранва с пълното мрежово напрежение.

Пуск с индуктивни реактори или резистори

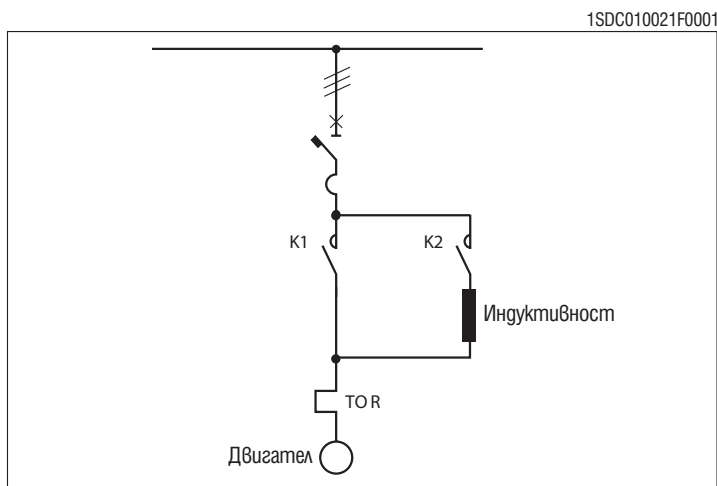
Този метод на пуск се използва за прости двигатели или двигатели с двуфазен ротор. Понижаването на захранващото напрежение се постига чрез последователно свързване на индуктивни реактори или резистори към статора. При пуск токът се ограничава до $2.5 \div 3.5$ пъти от номиналната му стойност.

По време на пуск двигателят се захранва през контактора K2; след като се достигне нормалната скорост, реакторите се свързват накъсо чрез затваряне на контактора K1 и след това се отделят чрез отваряне на контактора K2.

Възможно е да се постигне постепенно отделяне на резисторите или реакторите чрез команди с времезакъснение дори при двигатели с мощност по-голяма от 100 kW.

Използването на реактори намалява чувствително фактора на мощността, докато използването на резистори причинява разсейване на много енергия (ефект на Джаул), дори ако е ограничено само до пусковата фаза.

За понижаване K ($0.6 \div 0.8$) на напрежението на двигателя се понижава въртящия момент K^2 пъти ($0.36 \div 0.64$).



Съгласно споменатия по-горе стандарт, стартерите могат да бъдат класифицирани според времето на изключване (клас на изключване) и според вида на координация със защитното устройство за късо съединение (Typ 1 и Typ 2).

3 Защита на електрическото оборудване

Класове на изключване

Класовете на изключване се разграничават на базата на характеристиката на изключване на термичните защитни блокове.

Класовете на изключване са дефинирани в следващата таблица 2:

Таблица 2: Класове на изключване

Клас на изключване	Време на изключване в секунди (Tr)
10A	2 < Tr 10
10	4 < Tr 10
20	6 < Tr 20
30	9 < Tr 30

Където Tr е времето на студено изключване на защитата от претоварване при 7,2 пъти стойността на настроения ток (например: защитен блок от клас 10 при 7,2 пъти стойността на настроения ток не трябва да изключи до 4 секунди, но трябва да изключи до 10 секунди).

Нормалната процедура е да се свързва клас 10 за нормален пуск и клас 30 за тежък режим на работа.

Типове координация

• Тип 1

Допустимо е в случай на късо съединение контакторът и термичният защитен блок да бъдат повредени. Възможно е и стартерът да не може да функционира и трябва да бъде проверен; ако е необходимо, контакторът и/или термичният защитен блок трябва да се сменят, а защитният блок на прекъсвача да се рестартира.

• Тип 2

В случай на късо съединение защитата от претоварване не трябва да дефектира, докато заваряване на контактите на контактора е допустимо, тъй като те лесно могат да се отделят (например с отверка), без причиняване на съществени деформации.

За да се определи ясно типа на координация, а от там и оборудването, необходимо за нейното постигане, трябва да е известно следното:

- мощността на двигателя в kW и вида му;
- номиналното напрежение на системата;
- номиналният ток на двигателя;
- токът на късо съединение в инсталационната точка;
- типа на пуска: директно линеен или звезда/триъгълник - нормален или тежък режим на работа - Тип 1 или Тип 2.

Необходимите устройства трябва да бъдат координирани едно с друго в съответствие с изискванията на стандарта.

За най-често срещаните стойности на напрежение и на късо съединение (400V – 440V – 500V – 690V; 35kA – 50kA) и за най-често използваните методи на пуск, като директен линеен и звезда/триъгълник, за асинхронни двигатели с накъсо съединен ротор (AC-3), ABB предлага решения с:

- прекъсвач със защита от късо съединение – контактор – защита от претоварване;
- прекъсвач със защита от претоварване и к.с. – контактор;
- прекъсвач със защита от претоварване и к.с. с електронен защитен блок PR222MP – контактор.

3 Защита на електрическото оборудване

Следват примерни типовите таблици:

**Таблица 3: 400V 50kA DOL (директен линеен пуск) Нормален режим Тун 2
(Тmax – контактор – TOR)**

1SDC010022F0201

Двигател		Прекъсвач в лят корпус		Контактор	Защитен блок от термично претоварване		
P_e [kW]	I_r [A]	T_{un}	I_3 [A]	T_{un}	T_{un}	Настройка на тока min. [A]	max. [A]
0.37	1.1	T2S160 MF 1.6	21	A9	TA25DU1.4	1	1.4
0.55	1.5	T2S160 MF 1.6	21	A9	TA25DU1.8	1.3	1.8
0.75	1.9	T2S160 MF 2	26	A9	TA25DU2.4	1.7	2.4
1.1	2.8	T2S160 MF 3.2	42	A9	TA25DU4	2.8	4
1.5	3.5	T2S160 MF 4	52	A16	TA25DU5	3.5	5
2.2	5	T2S160 MF 5	65	A26	TA25DU6.5	4.5	6.5
3	6.6	T2S160 MF 8.5	110	A26	TA25DU8.5	6	8.5
4	8.6	T2S160 MF 11	145	A30	TA25DU11	7.5	11
5.5	11.5	T2S160 MF 12.5	163	A30	TA25DU14	10	14
7.5	15.2	T2S160 MA 20	210	A30	TA25DU19	13	19
11	22	T2S160 MA 32	288	A30	TA42DU25	18	25
15	28.5	T2S160 MA 52	392	A50	TA75DU42	29	42
18.5	36	T2S160 MA 52	469	A50	TA75DU52	36	52
22	42	T2S160 MA 52	547	A50	TA75DU52	36	52
30	56	T2S160 MA 80	840	A63	TA75DU80	60	80
37	68	T2S160 MA 80	960	A75	TA75DU80	60	80
45	83	T2S160 MA 100	1200	A95	TA110DU110	80	110
55	98	T3S250 MA 160	1440	A110	TA110DU110	80	110
75	135	T3S250 MA 200	1800	A145	TA200DU175	130	175
90	158	T3S250 MA 200	2400	A185	TA200DU200	150	200
110	193	T4S320 PR221-I In320	2720	A210	E320DU320	100	320
132	232	T5S400 PR221-I In400	3200	A260	E320DU320	100	320
160	282	T5S400 PR221-I In400	4000	A300	E320DU320	100	320
200	349	T5S630 PR221-I In630	5040	AF400	E500DU500	150	500
250	430	T6S630 PR221-I In630	6300	AF460	E500DU500	150	500
290	520	T6S800 PR221-I In800	7200	AF580	E800DU800	250	800
315	545	T6S800 PR221-I In800	8000	AF580	E800DU800	250	800
355	610	T6S800 PR221-I In800	8000	AF750	E800DU800	250	800

MA: защитен блок с настройваема защита от к.с.

MF: защитен блок фиксирана защита от к.с.

3 Защита на електрическото оборудване

**Таблица 3: 400V 50kA DOL (директен линеен пуск) Нормален режим Tun 2
(Tmax – контактор – TOR)**

1SDC010020F0201

Двигател		Прекъсвач в лят корпус		Контактор	Защитен блок от термично претоварване		
P _e [kW]	I _r [A]	Tun	I ₃ [A]	Tun	Tun ** Брой навивки в първичната намотка на токовия трансформатор	Настройка на тока	
						min. [A]	max. [A]
0.37	1.1	T2S160 MF 1. 6	21	A9	TA25DU1.4*	1	1.4
0.55	1.5	T2S160 MF 1. 6	21	A9	TA25DU1.8*	1.3	1.8
0.75	1.9	T2S160 MF 2	26	A9	TA25DU2.4*	1.7	2.4
1.1	2.8	T2S160 MF 3. 2	42	A9	TA25DU4*	2.8	4
1.5	3.5	T2S160 MF 4	52	A16	TA25DU5*	3.5	5
2.2	5	T2S160 MF 5	65	A26	TA25DU6.5*	4.5	6.5
3	6.6	T2S160 MF 8. 5	110	A26	TA25DU8.5*	6	8.5
4	8.6	T2S160 MF 11	145	A30	TA25DU11*	7.5	11
5.5	11.5	T2S160 MF 12. 5	163	A30	TA450SU60	4	10
7.5	15.2	T2S160 MA 20	210	A30	TA450SU60	3	13
11	22	T2S160 MA 32	288	A30	TA450SU60	2	20
15	28.5	T2S160 MA 52	392	A50	TA450SU80	2	23
18.5	36	T2S160 MA 52	469	A50	TA450SU80	2	23
22	42	T2S160 MA 52	547	A50	TA450SU60	40	60
30	56	T2S160 MA 80	840	A63	TA450SU80	55	80
37	68	T2S160 MA 80	960	A95	TA450SU80	55	80
45	83	T2S160 MA 100	1200	A110	TA450SU105	70	105
55	98	T3S250 MA 160	1440	A145	TA450SU140	95	140
75	135	T3S250 MA 200	1800	A185	TA450SU185	130	185
90	158	T3S250 MA 200	2400	A210	TA450SU185	130	185
110	193	T4S320 PR221-I In320	2720	A260	E320DU320	100	320
132	232	T5S400 PR221-I In400	3200	A300	E320DU320	100	320
160	282	T5S400 PR221-I In400	4000	AF400	E500DU500	150	500
200	349	T5S630 PR221-I In630	5040	AF460	E500DU500	150	500
250	430	T6S630 PR221-I In630	6300	AF580	E500DU500***	150	500
290	520	T6S800 PR221-I In800	7200	AF750	E800DU800	250	800
315	545	T6S800 PR221-I In800	8000	AF750	E800DU800	250	800
355	610	T6S800 PR221-I In800	8000	AF750	E800DU800	250	800

* Осигурете шунтиращ контактор от същия тип по време на пуск на двигателя

** За защитни блокове тип Е изберете клас на изключване 30

*** Не се предлага набор за свързване. За да използвате набора за свързване е необходима смяна със защитен блок E800DU800.

MA: защитен блок с настройваема защита от к.с.

MF: защитен блок фиксирана защита от к.с.

3 Защита на електрическото оборудване

Таблица 5: 400V 50kA 3Звезда/триъгълник Нормален режим Тип 2
(Тmax – контактор – TOR)

1SDC010023F0201

Двигател		Прекъсвач в лят корпус		Контактор			Защитен блок от термично претоварване	
P _e [kW]	I _r [A]	T _{тип}	I _з [A]	T _{тип} Линеен	T _{тип} Триъгълник	T _{тип} 3Звезда	T _{тип}	Настройка на тока [A]
18.5	36	T2S160 MA52	469	A50	A50	A26	TA75DU25	18-25
22	42	T2S160 MA52	547	A50	A50	A26	TA75DU32	22-32
30	56	T2S160 MA80	720	A63	A63	A30	TA75DU42	29-42
37	68	T2S160 MA80	840	A75	A75	A30	TA75DU52	36-52
45	83	T2S160 MA100	1050	A75	A75	A30	TA75DU63	45 - 63
55	98	T2S160 MA100	1200	A75	A75	A40	TA75DU63	45 - 63
75	135	T3S250 MA160	1700	A95	A95	A75	TA110DU90	66 - 90
90	158	T3S250 MA200	2000	A110	A110	A95	TA110DU110	80 - 110
110	193	T3S250 MA200	2400	A145	A145	A95	TA200DU135	100 - 135
132	232	T4S320 PR221-I In320	2880	A145	A145	A110	E200DU200	60 - 200
160	282	T5S400 PR221-I In400	3600	A185	A185	A145	E200DU200	60 - 200
200	349	T5S630 PR221-I In630	4410	A210	A210	A185	E320DU320	100 - 320
250	430	T5S630 PR221-I In630	5670	A260	A260	A210	E320DU320	100 - 320
290	520	T6S630 PR221-I In630	6300	AF400	AF400	A260	E500DU500	150 - 500
315	545	T6S800 PR221-I In800	7200	AF400	AF400	A260	E500DU500	150 - 500
355	610	T6S800 PR221-I In800	8000	AF400	AF400	A260	E500DU500	150 - 500

МА: настройваем магнитен защитен блок

Таблица 6: 400V 50kA DOL (директен линеен пуск) Нормален и тежък режим Тип 2
(Тmax с МР защитен блок – контактор)

Двигател		Прекъсвач в лят корпус			Контактор	Група
P _e [kW]	I _r [A]	T _{тип}	I ₁ * range [A]	I _з [A]	T _{тип}	[A]
30	56	T4S250 PR222MP In100	40-100	600	A95	95
37	68	T4S250 PR222MP In100	40-100	700	A95	95
45	83	T4S250 PR222MP In100	40-100	800	A95	95
55	98	T4S250 PR222MP In160	64-160	960	A145	145
75	135	T4S250 PR222MP In160	64-160	1280	A145	145
90	158	T4S250 PR222MP In200	80-200	1600	A185	185
110	193	T5S400 PR222MP In320	128-320	1920	A210	210
132	232	T5S400 PR222MP In320	128-320	2240	A260	260
160	282	T5S400 PR222MP In320	128-320	2560	AF400* *	320
200	349	T5S400 PR222MP In400	160-400	3200	AF400	400
250	430	T6S800 PR222MP In630	252-630	5040	AF460	460
290	520	T6S800 PR222MP In630	252-630	5670	AF580	580
315	545	T6S800 PR222MP In630	252-630	5670	AF580	580
355	610	T6S800 PR222MP In630	252-630	5670	AF750	630

(*) за пуск тежък режим настройте класа на изключване на електронния защитен блок на клас 30

(**) в случай на пуск нормален режим използвайте AF300

3 Защита на електрическото оборудване

**Таблица 7: 440V 50kA DOL (директен линеен пуск) Нормален режим T_{un} 2
(T_{max} – контактор – TOR)**

1SDC010024F0201

Двигател		Прекъсвач в лят корпус		Контактор	Защитен блок от термично претоварване		
P _e [kW]	I _r [A]	T _{un}	I _Δ [A]	T _{un}	T _{un}	Настройка на тока min. [A]	max. [A]
0.37	1	T2H160 MF 1	13	A9	TA25DU1. 4	1	1.4
0.55	1.4	T2H160 MF 1. 6	21	A9	TA25DU1. 8	1.3	1.8
0.75	1.7	T2H160 MF 2	26	A9	TA25DU2. 4	1.7	2.4
1.1	2.2	T2H160 MF 2. 5	33	A9	TA25DU3. 1	2.2	3.1
1.5	3	T2H160 MF 3. 2	42	A16	TA25DU4	2.8	4
2.2	4.4	T2H160 MF 5	65	A26	TA25DU5	3.5	5
3	5.7	T2H160 MF 6. 5	84	A26	TA25DU6. 5	4.5	6.5
4	7.8	T2H160 MF 8. 5	110	A30	TA25DU11	7.5	11
5.5	10.5	T2H160 MF 11	145	A30	TA25DU14	10	14
7.5	13.5	T2H160 MA 20	180	A30	TA25DU19	13	19
11	19	T2H160 MA 32	240	A30	TA42DU25	18	25
15	26	T2H160 MA 32	336	A50	TA75DU32	22	32
18.5	32	T2H160 MA 52	469	A50	TA75DU42	29	42
22	38	T2H160 MA 52	547	A50	TA75DU52	36	52
30	52	T2H160 MA 80	720	A63	TA75DU63	45	63
37	63	T2H160 MA 80	840	A75	TA75DU80	60	80
45	75	T2H160 MA 100	1050	A95	TA110DU90	65	90
55	90	T4H250 PR221-I In160	1200	A110	TA110DU110	80	110
75	120	T4H250 PR221-I In250	1750	A145	E200DU200	60	200
90	147	T4H250 PR221-I In250	2000	A185	E200DU200	60	200
110	177	T4H250 PR221-I In250	2500	A210	E320DU320	100	320
132	212	T5H400 PR221-I In320	3200	A260	E320DU320	100	320
160	260	T5H400 PR221-I In400	3600	A300	E320DU320	100	320
200	320	T5H630 PR221-I In630	4410	AF 400	E500DU500	150	500
250	410	T6H630 PR221-I In630	5355	AF 460	E500DU500	150	500
290	448	T6H630 PR221-I In630	6300	AF 580	E500DU500*	150	500
315	500	T6H800 PR221-I In800	7200	AF 580	E800DU800	250	800
355	549	T6H800 PR221-I In800	8000	AF 580	E800DU800	250	800

* Не се предлага набор за свързване. За да използвате набор за свързване, сменете с реле E800DU800.

MA: защитен блок с настрояваема защита от к.с.

MF: защитен блок фиксирана защита от к.с.

3 Защита на електрическото оборудване

**Таблица 8: 440V 50kA DOL (директен линеен пуск) Тежък режим Tun 2
(Tmax – контактор – TOR)**

1SDC010021F0201

Двигател		Прекъсвач в лят корпус		Контактор	Защитен блок от термично претоварване		
P _e [kW]	I _r [A]	Tun	I ₃ [A]	Tun	Tun**	Брой набишки в първичната намотка на токовия трансформатор	Настройка на тока min. max. [A] [A]
0.37	1	T2H160 MF 1	13	A9	TA25DU1.4*		1 1.4
0.55	1.4	T2H160 MF 1.6	21	A9	TA25DU1.8*		1.3 1.8
0.75	1.7	T2H160 MF 2	26	A9	TA25DU2.4*		1.7 2.4
1.1	2.2	T2H160 MF 2.5	33	A9	TA25DU3.1*		2.2 3.1
1.5	3	T2H160 MF 3.2	42	A16	TA25DU4*		2.8 4
2.2	4.4	T2H160 MF 5	65	A26	TA25DU5*		3.5 5
3	5.7	T2H160 MF 6.5	84	A26	TA25DU6.5*		4.5 6.5
4	7.8	T2H160 MF 8.5	110	A30	TA25DU11*		7.5 11
5.5	10.5	T2H160 MF 11	145	A30	TA25DU14*		10 14
7.5	13.5	T2H160 MA 20	180	A30	TA450SU60	4	10 15
11	19	T2H160 MA 32	240	A30	TA450SU80	3	18 27
15	26	T2H160 MA 32	336	A50	TA450SU60	2	20 30
18.5	32	T2H160 MA 52	469	A50	TA450SU80	2	28 40
22	38	T2H160 MA 52	547	A50	TA450SU80	2	28 40
30	52	T2H160 MA 80	720	A63	TA450SU60		40 60
37	63	T2H160 MA 80	840	A95	TA450SU80		55 80
45	75	T2H160 MA 100	1050	A110	TA450SU105		70 105
55	90	T4H250 PR221-I In160	1200	A145	E200DU200		60 200
75	120	T4H250 PR221-I In250	1750	A185	E200DU200		60 200
90	147	T4H250 PR221-I In250	2000	A210	E320DU320		100 320
110	177	T4H250 PR221-I In250	2500	A260	E320DU320		100 320
132	212	T5H400 PR221-I In320	3200	A300	E320DU320		100 320
160	260	T5H400 PR221-I In400	3600	AF400	E500DU500		150 500
200	320	T5H630 PR221-I In630	4410	AF460	E500DU500		150 500
250	410	T6H630 PR221-I In630	5355	AF580	E500DU500***		150 500
290	448	T6H630 PR221-I In630	6300	AF750	E500DU500***		150 500
315	500	T6H800 PR221-I In800	7200	AF 750	E800DU800		250 800
355	549	T6H800 PR221-I In800	8000	AF 750	E800DU800		250 800

* Осигурете шунтиращ контактор от същия тип по време на пуск на двигателя

** За защитни блокове тип E изберете клас на изключване 30

*** Не се предлага набор за свързване. За да използвате набора за свързване е необходима смяна със защитен блок E800DU800.

MA: настройваем магнитен защитен блок

MF: фиксиран магнитен защитен блок

3 Защита на електрическото оборудване

Таблица 9: 440V 50kA 3Звезда/Триъгълник Нормален режим T1п 2
(Tmax – контактор – TOR)

1SDC010025F0201

Двигател		Прекъсвач в лят корпус		Контактор			Защитен блок от термично претоварване	
P _e [kW]	I _r [A]	T1п	I _з [A]	Линеен T1п	T1п Триъгълник	T1п 3Звезда	T1п	Настройка на тока
18.5	32	T2H160 MA5 2	392	A 50	A 50	A 16	TA 75DU2 5	18-25
22	38	T2H160 MA5 2	469	A 50	A 50	A 26	TA75DU25	18-2 5
30	52	T2H160 MA8 0	720	A 63	A 63	A 26	TA75DU42	29-4 2
37	63	T2H160 MA8 0	840	A 75	A 75	A 30	TA75DU42	29-4 2
45	75	T2H160 MA8 0	960	A 75	A 75	A30	TA75DU5 2	36-52
55	90	T2H160 MA100	1150	A 75	A 75	A40	TA75DU6 3	45 - 63
75	120	T4H250 PR221-I In250	1625	A95	A95	A75	TA80DU8 0	60-80
90	147	T4H250 PR221-I In250	1875	A95	A95	A75	TA110DU110	80-110
110	177	T4H250 PR221-I In250	2250	A145	A145	A95	E 200DU200	60-200
132	212	T4H320 PR221-I In320	2720	A145	A145	A110	E200DU200	60-200
160	260	T5H400 PR221-I In400	3200	A185	A185	A145	E200DU200	60-200
200	320	T5H630 PR221-I In630	4095	A210	A210	A185	E320DU320	100-320
250	410	T5H630 PR221-I In630	5040	A260	A260	A210	E320DU320	100-320
290	448	T6H630 PR221-I In630	5670	AF400	AF400	A260	E500DU500	150 - 500
315	500	T6H630 PR221-I In630	6300	AF400	AF400	A260	E500DU500	150 - 500
355	549	T6H800 PR221-I In800	7200	AF400	AF400	A260	E500DU500	150 - 500

MA: защитен блок с настрѳяваема защита от к.с.

Таблица 10: 440V 50kA DOL (директен линеен пуск) Нормален и тежък режим T1п 2
Нормален режим T1п 2
(Tmax с MP защитен блок – контактор)

Двигател		Прекъсвач в лят корпус			Контактор	Група
P _e [kW]	I _r [A]	T1п	I ₁ * range [A]	I _з [A]	T1п	[A]
30	52	T4H250 PR222MP In100	40-100	600	A95	93
37	63	T4H250 PR222MP In100	40-100	700	A95	93
45	75	T4H250 PR222MP In100	40-100	800	A95	93
55	90	T4H250 PR222MP In160	64-160	960	A145	145
75	120	T4H250 PR222MP In160	64-160	1120	A145	145
90	147	T4H250 PR222MP In200	80-200	1400	A185	185
110	177	T5H400 PR222MP In320	128-320	1920	A210	210
132	212	T5H400 PR222MP In320	128-320	2240	A260	240
160	260	T5H400 PR222MP In320	128-320	2560	AF400**	320
200	320	T5H400 PR222MP In400	160-400	3200	AF400	400
250	370	T6H800 PR222MP In630	252-630	4410	AF460	460
290	436	T6H800 PR222MP In630	252-630	5040	AF460	460
315	500	T6H800 PR222MP In630	252-630	5040	AF580	580
355	549	T6H800 PR222MP In630	252-630	5670	AF580	580

(*) за пуск тежък режим настройте класа на изключване на електронния защитен блок на клас 30

(**) в случай на пуск нормален режим използвайте AF300

3 Защита на електрическото оборудване

Таблица 11: 500V 50kA DOL (директен линеен пуск) Нормален режим Tun 2
(Tmax – контактор – TOR)

1SDC010026F0201

Двигател		Прекъсвач в лят корпус		Контактор	Защитен блок от термично претоварване		
P _e [kW]	I _r [A]	Tun	I _Δ [A]	Tun	Tun	Настройка на тока	
						min. [A]	max. [A]
0.37	0.88	T2L160 MF 1	13	A9	TA25DU1. 0	0.63	1
0.55	1.2	T2L160 MF 1. 6	21	A9	TA25DU1. 4	1	1.4
0.75	1.5	T2L160 MF 1. 6	21	A9	TA25DU1. 8	1.3	1.8
1.1	2.2	T2L160 MF 2. 5	33	A9	TA25DU3. 1	2.2	3.1
1.5	2.8	T2L160 MF 3. 2	42	A16	TA25DU4	2.8	4
2.2	4	T2L160 MF 4	52	A26	TA25DU5	3.5	5
3	5.2	T2L160 MF 6. 5	84	A26	TA25DU6. 5	4.5	6.5
4	6.9	T2L160 MF 8. 5	110	A30	TA25DU8. 5	6	8.5
5.5	9.1	T2L160 MF 11	145	A30	TA25DU11	7.5	11
7.5	12.2	T2L160 MF 12. 5	163	A30	TA25DU14	10	14
11	17.5	T2L160 MA 20	240	A30	TA25DU19	13	19
15	23	T2L160 MA 32	336	A50	TA75DU25	18	25
18.5	29	T2L160 MA 52	392	A50	TA75DU32	22	32
22	34	T2L160 MA 52	469	A50	TA75DU42	29	42
30	45	T2L160 MA 52	624	A63	TA75DU52	36	52
37	56	T2L160 MA 80	840	A75	TA75DU63	45	63
45	67	T2L160 MA 80	960	A95	TA80DU80	60	80
55	82	T2L160 MA 100	1200	A110	TA110DU90	65	90
75	110	T4H250 PR221-I In160	1440	A145	E200DU200	60	200
90	132	T4H250 PR221-I In250	1875	A145	E200DU200	60	200
110	158	T4H250 PR221-I In250	2250	A185	E200DU200	60	200
132	192	T4H320 PR221-I In320	2720	A210	E320DU320	100	320
160	230	T5H400 PR221-I In400	3600	A260	E320DU320	100	320
200	279	T5H400 PR221-I In400	4000	A300	E320DU320	100	320
250	335	T5H630 PR221-I In630	4725	AF 400	E 500DU500	150	500
290	394	T6H630 PR221-I In630	5040	AF 460	E 500DU500	150	500
315	440	T6H630 PR221-I In630	6300	AF 580	E 500DU500*	150	500
355	483	T6H630 PR221-I In630	6300	AF 580	E 800DU800	250	800

* Не се предлага набор за свързване. За да използвате набор за свързване, сменете с реле E800DU800.

MA: защитен блок с настройваема защита от к.с.

MF: защитен блок фиксирана защита от к.с.

3 Защита на електрическото оборудване

Таблица 12: 500V 50kA DOL (директен линеен пуск) Тежък режим Tun 2
(Tmax – контактор – TOR)

1SDC010021F0201

Двигател		Прекъсвач в лят корпус		Контактор	Защитен блок от термично претоварване		
P _e	I _r	Tun	I3	Tun	Tun**	Брой навивки в първичната намотка на токовия трансформатор	Настройка на тока min, max.
[kW]	[A]		[A]				[A] [A]
0.37	1	T2H160 MF 1	13	A9	TA25DU1.4*		1 1.4
0.55	1.4	T2H160 MF 1.6	21	A9	TA25DU1.8*		1.3 1.8
0.75	1.7	T2H160 MF 2	26	A9	TA25DU2.4*		1.7 2.4
1.1	2.2	T2H160 MF 2.5	33	A9	TA25DU3.1*		2.2 3.1
1.5	3	T2H160 MF 3.2	42	A16	TA25DU4*		2.8 4
2.2	4.4	T2H160 MF 5	65	A26	TA25DU5*		3.5 5
3	5.7	T2H160 MF 6.5	84	A26	TA25DU6.5*		4.5 6.5
4	7.8	T2H160 MF 8.5	110	A30	TA25DU11*		7.5 11
5.5	10.5	T2H160 MF 11	145	A30	TA25DU14*		10 14
7.5	13.5	T2H160 MA 20	180	A30	TA450SU60	4	10 15
11	19	T2H160 MA 32	240	A30	TA450SU80	3	18 27
15	26	T2H160 MA 32	336	A50	TA450SU60	2	20 30
18.5	32	T2H160 MA 52	469	A50	TA450SU80	2	28 40
22	38	T2H160 MA 52	547	A50	TA450SU80	2	28 40
30	52	T2H160 MA 80	720	A63	TA450SU60		40 60
37	63	T2H160 MA 80	840	A95	TA450SU80		55 80
45	75	T2H160 MA 100	1050	A110	TA450SU105		70 105
55	90	T4H250 PR221-I In160	1200	A145	E200DU200		60 200
75	120	T4H250 PR221-I In250	1750	A185	E200DU200		60 200
90	147	T4H250 PR221-I In250	2000	A210	E320DU320		100 320
110	177	T4H250 PR221-I In250	2500	A260	E320DU320		100 320
132	212	T5H400 PR221-I In320	3200	A300	E320DU320		100 320
160	260	T5H400 PR221-I In400	3600	AF400	E500DU500		150 500
200	320	T5H630 PR221-I In630	4410	AF460	E500DU500		150 500
250	410	T6H630 PR221-I In630	5355	AF580	E500DU500***		150 500
290	448	T6H630 PR221-I In630	6300	AF750	E500DU500***		150 500
315	500	T6H800 PR221-I In800	7200	AF 750	E800DU800		250 800
355	549	T6H800 PR221-I In800	8000	AF 750	E800DU800		250 800

* Осигурете шунтирац контактор от същия тип по време на пуск на двигателя

** За защитни блокове тип E изберете клас на изключване 30

*** Не се предлага набор за свързване. За да използвате набора за свързване е необходима смяна със защитен блок E800DU800.

MA: защитен блок с настройваема защита от к.с.

MF: защитен блок фиксирана защита от к.с.

3 Защита на електрическото оборудване

Таблица 13: 500V 50kA Звезда/Триъгълник Нормален режим Tyn 2
(Tmax – контактор – TOR)

1SDC010027F0201

Двигател		Прекъсвач в лят корпус		Контактор			Защитен блок от термично претоварване	
Pe [kW]	I _r [A]	Tyn	I _z [A]	Линеен Tyn	Tyn Триъгълник	Tyn Звезда	Tyn	Настройка на тока
22	34	T2L160 MA52	430	A 50	A 50	A 16	TA75DU25	18-25
30	45	T2L160 MA52	547	A 63	A 63	A 26	TA75DU32	22-32
37	56	T2L160 MA80	720	A 75	A 75	A 30	TA75DU42	29-42
45	67	T2L160 MA80	840	A 75	A 75	A30	TA75DU52	36 - 52
55	82	T2L160 MA100	1050	A 75	A 75	A30	TA75DU52	36 - 52
75	110	T4H250 PR221-I In250	1375	A95	A95	A50	TA80DU80	60-80
90	132	T4H250 PR221-I In250	1750	A95	A95	A75	TA110DU90	65-90
110	158	T4H250 PR221-I In250	2000	A110	A110	A95	TA110DU110	80-110
132	192	T4H320 PR221-I In320	2560	A145	A145	A95	E200DU200	60-200
160	230	T4H320 PR221-I In320	2880	A145	A145	A110	E200DU200	60-200
200	279	T5H400 PR221-I In400	3400	A210	A210	A145	E320DU320	100-320
250	335	T5H630 PR221-I In630	4410	A210	A210	A185	E320DU320	100-320
290	394	T5H630 PR221-I In630	5040	A260	A260	A210	E320DU320	100-320
315	440	T6L630 PR221-I In630	5760	AF400	AF400	A210	E500DU500	150 - 500
355	483	T6L630 PR221-I In630	6300	AF400	AF400	A260	E500DU500	150 - 500

MA: Защитен блок с настройваема защита от к.с.

Таблица 14: 500V 50kA DOL (директен линеен пуск) Нормален и тежък режим Tyn 2
(Tmax с MP защитен блок – контактор)

Двигател		Прекъсвач в лят корпус			Контактор	Група
Pe [kW]	I _r [A]	Tyn	I ₁ * range [A]	I _z [A]	Tyn	[A]
30	45	T4H250 PR222MP In100	40-100	600	A95	80
37	56	T4H250 PR222MP In100	40-100	600	A95	80
45	67	T4H250 PR222MP In100	40-100	700	A145	100
55	82	T4H250 PR222MP In100	40-100	800	A145	100
75	110	T4H250 PR222MP In160	64-160	1120	A145	145
90	132	T4H250 PR222MP In160	64-160	1280	A145	145
110	158	T4H250 PR222MP In200	80-200	1600	A185	170
132	192	T5H400 PR222MP In320	128-320	1920	A210	210
160	230	T5H400 PR222MP In320	128-320	2240	A260	260
200	279	T5H400 PR222MP In400	160-400	2800	AF400**	400
250	335	T5H400 PR222MP In400	160-400	3200	AF400	400
290	395	T6H800 PR222MP In630	252-630	5040	AF460	460
315	415	T6H800 PR222MP In630	252-630	5040	AF460	460
355	451	T6H800 PR222MP In630	252-630	5670	AF580	580

(*) за пуск тежък режим настройте класа на изключване на електронния защитен блок на клас 30

(**) в случай на пуск нормален режим използвайте AF300

3 Защита на електрическото оборудване

Таблица 15: 690V 50kA DOL (директен линеен пуск) Нормален режим T_{un} 2
(T_{max} – контактор – TOR)

1SDC010108F0201

Двигател		Прекъсвач в лят корпус		Контактор	Токов трансформатор		Защитен блок от термично претоварване		
P _e	I _e	T _{un}	I _z	T _{un}	KORK	Брой навитки в първичната намотка на токовия трансформатор	T _{un}	Настройка на тока	
[kW]	[A]		[A]					min.	max.
								[A]	[A]
0.37	0.6	T2L160 MF 1	13	A9			TA25DU0.63	0.4	0.63
0.55	0.9	T2L160 MF 1	13	A9			TA25DU1	0.63	1
0.75	1.1	T2L160 MF1. 6	21	A9			TA25DU1. 4	1	1.4
1.1	1.6	T2L160 MF1. 6	21	A9			TA25DU1. 8	1.3	1.8
1.5	2	T2L160 MF2. 5	33	A9			TA25DU2. 4	1.7	2.4
2.2	2.9	T2L160 MF3. 2	42	A9			TA25DU3.1*	2.2	3.1
3	3.8	T2L160 MF 4	52	A9			TA25DU4*	2.8	4
4	5	T2L160 MF 5	65	A9			TA25DU5*	3.5	5
5.5	6.5	T2L160 MF6. 5	84	A9			TA25DU6.5*	4.5	6.5
		T4L250 PR221-I In 100	150	A95	4L185R/ 4	13**	TA25DU2. 4	6	8.5
7.5	8.8	T4L250 PR221-I In 100	150	A95	4L185R/ 4	10**	TA25DU2. 4	7. 9	11.1
11	13	T4L250 PR221-I In 100	200	A95	4L185R/ 4	7**	TA25DU2. 4	11.2	15.9
15	18	T4L250 PR221-I In 100	250	A95	4L185R/ 4	7**	TA25DU3. 1	15.2	20.5
18.5	21	T4L250 PR221-I In 100	300	A95	4L185R/ 4	6	TA25DU3. 1	17.7	23.9
22	25	T4L250 PR221-I In 100	350	A95	4L185R/ 4	6	TA25DU4	21.6	30.8
30	33	T4L250 PR221-I In 100	450	A145	4L185R/ 4	6	TA25DU5	27	38.5
37	41	T4L250 PR221-I In 100	550	A145	4L185R/ 4	4	TA25DU4	32.4	46.3
45	49	T4L250 PR221-I In 100	700	A145	4L185R/ 4	4	TA25DU5	40.5	57.8
55	60	T4L250 PR221-I In 100	800	A145	4L185R/ 4	3	TA25DU5	54	77.1
75	80	T4L250 PR221-I In 160	1120	A145			E200DU200	65	200
90	95	T4L250 PR221-I In 160	1280	A145			E200DU200	65	200
110	115	T4L250 PR221-I In 250	1625	A145			E200DU200	65	200
132	139	T4L250 PR221-I In 250	2000	A185			E200DU200	65	200
160	167	T4L250 PR221-I In 250	2250	A185			E200DU200	65	200
200	202	T5L400 PR221-I In 320	2720	A210			E320DU320	105	320
250	242	T5L400 PR221-I In 400	3400	A300			E320DU320	105	320
290	301	T5L630 PR221-I In 630	4410	AF400			E500DU500	150	500
315	313	T5L630 PR221-I In 630	4410	AF400			E500DU500	150	500
355	370	T5L630 PR221-I In 630	5355	AF580			E500DU500***	150	500

Повече информация за KORK можете да намерите в каталога “Брошура KORK 1GB00-04”.

(*) Координация T_{un} 1

(**) Сечение на кабела равно на 4 mm²

(***) Не се предлага набор за свързване. За да използвате набора за свързване е необходима смяна със защитен блок E800DU800.

3 Защита на електрическото оборудване

Таблица 16: 690V 50kA DOL (директен линеен пуск) Тежък режим Тип 2
(Tmax – контактор – TOR)

1SDC010109F0201

Двигател		Прекъсвач 8 лят корпус		Контактор	Защитен блок от термично претоварване			
P _e [kW]	I _r [A]	Тип	I _з [A]	Тип	Тип	Брой на първичните навивки	Настройка на тока min. [A]	max. [A]
0.37	0.6	T2L160 MF 1	13	A9	TA25DU0.63(X)		0.4	0.63
0.55	0.9	T2L160 MF 1	13	A9	TA25DU1(X)		0.63	1
0.75	1.1	T2L160 MF1. 6	21	A9	TA25DU1.4(X)		1	1.4
1.1	1.6	T2L160 MF1. 6	21	A9	TA25DU1.8(X)		1.3	1.8
1.5	2	T2L160 MF2. 5	33	A9	TA25DU2.4(X)		1.7	2.4
2.2	2.9	T2L160 MF3. 2	42	A9	TA25DU3.1 *(X)		2.2	3.1
3	3.8	T2L160 MF 4	52	A9	TA25DU4 *(X)		2.8	4
4	5	T2L160 MF 5	65	A9	TA25DU5 *(X)		3.5	5
5.5	6.5	T2L160 MF6. 5	84	A9	TA25DU6.5 *(X)		4.5	6.5
		T4L250 PR221-I In 100	150	A95	TA450SU60	7**	5.7	8.6
7.5	8.8	T4L250 PR221-I In 100	150	A95	TA450SU60	5**	8	12
11	13	T4L250 PR221-I In 100	200	A95	TA450SU60	4**	10	15
15	18	T4L250 PR221-I In 100	250	A95	TA450SU60	3**	13	20
18.5	21	T4L250 PR221-I In 100	300	A95	TA450SU80	3	18	27
22	25	T4L250 PR221-I In 100	350	A95	TA450SU60	2	20	30
30	33	T4L250 PR221-I In 100	450	A145	TA450SU80	2	27.5	40
37	41	T4L250 PR221-I In 100	550	A145	TA450SU60		40	60
45	49	T4L250 PR221-I In 100	700	A145	TA450SU60		40	60
55	60	T4L250 PR221-I In 100	800	A145	TA450SU80		55	80
75	80	T4L250 PR221-I In 160	1120	A145	TA450SU105		70	105
90	95	T4L250 PR221-I In 160	1280	A145	TA450SU105		70	105
110	115	T4L250 PR221-I In 250	1625	A185	TA450SU140		95	140
132	139	T4L250 PR221-I In 250	2000	A210	E320DU320		105	320
160	167	T4L250 PR221-I In 250	2250	A210	E320DU320		105	320
200	202	T5L400 PR221-I In 320	2720	A260	E320DU320		105	320
250	242	T5L400 PR221-I In 400	3400	AF400	E500DU500		150	500
290	301	T5L630 PR221-I In 630	4410	AF400	E500DU500		150	500
315	313	T5L630 PR221-I In 630	4410	AF460	E500DU500		150	500
355	370	T5L630 PR221-I In 630	5355	AF580	E500DU500***		150	500

(*) Координация Тип 1

(**) Сечение на кабела 4 mm²

(***) Не се предлага набор за свързване. За да използвате набора за свързване е необходима смяна със защитен блок E800DU800.

(X) Осигурете шунтиращ контактор по време на пуска на двигателя

3 Защита на електрическото оборудване

**Таблица 17: 690V 50kA Звезда/Триъгълник Нормален режим Тип 2
(Тmax – контактор – CT – TOR)**

1SDC010110F0201

Двигател		Прекъсвач в лят корпус		Контактор			Токов трансформатор		Защитен блок от термично претоварване	
P _e [kW]	I _r [A]	Тип	I _z [A]	Линейн	Триъгълн	Звезда	KORK	Брой на поръчните навишки	Тип	Настройка на тока [A]
5.5	6.5*	T4L250PR221-I In100	150	A95	A95	A26	4L185R/4* *	13	TA25DU2.4**	6-8. 5
7.5	8.8*	T4L250PR221-I In100	150	A95	A95	A26	4L185R/4* *	10	TA25DU2.4**	7.9-11. 1
11	13*	T4L250PR221-I In100	200	A95	A95	A26	4L185R/4* *	7	TA25DU2.4**	11.2-15. 9
15	18*	T4L250PR221-I In100	250	A95	A95	A26	4L185R/4* *	7	TA25DU3.1**	15.2-20. 5
18.5	21	T4L250PR221-I In100	300	A95	A95	A30	4L185R/4* *	6	TA25DU3.1**	17.7-23. 9
22	25	T4L250PR221-I In100	350	A95	A95	A30	4L185R/4* *	6	TA25DU4* *	21.6-30. 8
30	33	T4L250PR221-I In100	450	A145	A145	A30	4L185R/4* *	6	TA25DU5* *	27-38. 5
37	41	T4L250PR221-I In100	550	A145	A145	A30			TA75DU52* *	36-52
45	49	T4L250PR221-I In100	650	A145	A145	A30			TA75DU52* *	36-52
55	60	T4L250PR221-I In100	800	A145	A145	A40			TA75DU52* *	36-52
75	80	T4L250PR221-I In160	1120	A145	A145	A50			TA75DU52	36-52
90	95	T4L250PR221-I In160	1280	A145	A145	A75			TA75DU63	45-63
110	115	T4L250PR221-I In160	1600	A145	A145	A75			TA75DU80	60-80
132	139	T4L250PR221-I In250	1875	A145	A145	A95			TA200DU110	80-110
160	167	T4L250PR221-I In250	2125	A145	A145	A110			TA200DU110	80-110
200	202	T4L320PR221-I In320	2720	A185	A185	A110			TA200DU135	100-135
250	242	T5L400PR221-I In400	3200	AF400	AF400	A145			E500DU500	150 -500
290	301	T5L400PR221-I In400	4000	AF400	AF400	A145			E500DU500	150 -500
315	313	T5L630PR221-I In630	4410	AF400	AF400	A185			E500DU500	150 -500
355	370	T5L630PR221-I In630	5040	AF400	AF400	A210			E500DU500	150 -500
400	420	T5L630PR221-I In630	5670	AF460	AF460	A210			E500DU500	150 -500
450	470	T5L630PR221-I In630	6300	AF460	AF460	A260			E500DU500	150 -500

Повече информация за KORK можете да намерите в каталога "Брошура KORK 1GB00-04".

(*) Сечение на кабела равно на 4 mm²

(**) Свържете релето за претоварване преди възела линия/триъгълник по посока на захранването

3 Защита на електрическото оборудване

Таблица 18: 690V 50kA DOL (директен линеен пуск) Нормален и тежък режим Tun 2 (Tmax с МР защитен блок – контактор)

1SDC010114F0201

Двигател		Прекъсвач 8 лят корпус			Контактор	Група
P _e [kW]	I _r [A]	T _{un}	I ₁ * range [A]	I ₃ [A]	T _{un}	[A]
45	49	T4L250 PR222MP In100	40-100	600	A145	100
55	60	T4L250 PR222MP In100	40-100	600	A145	100
75	80	T4L250 PR222MP In100	40-100	800	A145	100
90	95	T4L250 PR222MP In160	64-160	960	A145	120
110	115	T4L250 PR222MP In160	64-160	1120	A145	120
132	139	T4L250 PR222MP In160	64-160	1440	A185	160
160	167	T4L250 PR222MP In200	80-200	1600	A185	170
200	202	T5L400 PR222MP In320	128-320	1920	A210	210
250	242	T5L400 PR222MP In320	128-320	2240	A300	280
290	301	T5L400 PR222MP In400	160-400	2800	AF400	350
315	313	T5L400 PR222MP In400	160-400	3200	AF400	350

(*) за пуск тежък режим настройте класа на изключване на електронния защитен блок на клас 30

3 Защита на електрическото оборудване

Пример:

За пуск звезда/триъгълник нормален режим Тип 2 на трифазен асинхронен двигател с накъсо съединен ротор със следните характеристики:

номинално напрежение $U_r = 400 \text{ V}$

ток на късо съединение $I_k = 50 \text{ kA}$

номинална мощност на двигателя $P_e = 200 \text{ kW}$

от Таблица 5 в съответния ред може да се намери следната информация:

- I_r (номинален ток): 349 A;
- устройство за защита от късо съединение: прекъсвач T5S630 PR221-I In630;
- стойност на изключване на защитата от к.с.: $I_3 = 4410 \text{ A}$;
- линеен контактор: A210;
- контактор триъгълник: A210;
- контактор звезда: A185;
- защитен блок от претоварване E320DU320, обхват за настройване: $100 \div 320 \text{ A}$; (да се настрои на $\frac{I_r}{\sqrt{3}} = 202 \text{ A}$).

За пуск DOL (директен линеен пуск) тежък режим Тип 2 с МР защита на трифазен асинхронен двигател с накъсо свързан ротор със следните характеристики:

номинално напрежение $U_r = 400 \text{ V}$

ток на късо съединение $I_k = 55 \text{ kA}$

номинална мощност на двигателя $P_e = 55 \text{ kW}$

от Таблица 6 в съответния ред може да се намери следната информация:

- I_r (номинален ток): 98 A;
- устройство за защита от късо съединение: прекъсвач T4S250 PR222MP* In160;
- стойност на изключване на защитата от к.с.: $I_3 = 960 \text{ A}$;
- контактор: A145.

* за пуск тежък режим настройте класа на изключване на електронния защитен блок на клас 30

3 Защита на електрическото оборудване

3.4 Защита и пускане на трансформатори

Общи положения

Трансформаторите се използват за променяне на захранващото напрежение в зависимост от нуждите на консуматорите както в средно, така и в ниско напрежение.

При избора на защитни устройства трябва да се отчита явлението “преходен процес”, по време на който токът може да достигне стойности по-високи от номиналния ток при пълно натоварване; процесът преминава за няколко секунди.

Кривата, която представя тези преходни явления във графиката време-ток, наричана “пусков ток I_0 ”, зависи от размера на трансформатора и може да бъде представена със следната формула (мощността на късо съединение на мрежата е приета за безкрайност)

$$I_0 = \frac{K \cdot I_{r1} \cdot e^{(-t/\tau)}}{\sqrt{2}}$$

където:

K частното на стойността на максималния върхов пусков ток (I_0) и номиналния ток на трансформатора (I_{r1}): ($K = I_0 / I_{r1}$);

τ времева константа на пусковия ток;

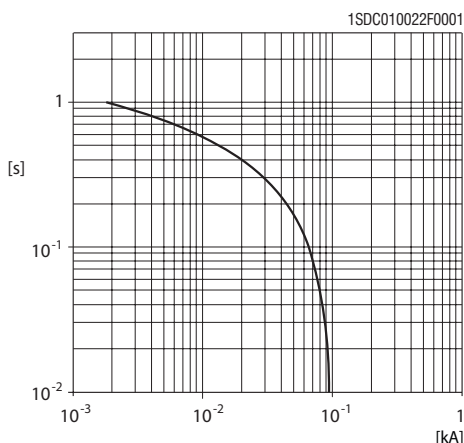
I_{r1} номиналният ток на първичната намотка;

t времето.

В таблицата по-долу са дадени някои основни стойности за t и K параметрите, отнасящи се за номиналната мощност S_r за маслени трансформатори.

S_r [kVA]	50	100	160	250	400	630	1000	1600	2000
$K = I_0 / I_{r1}$	15	14	12	12	12	11	10	9	8
τ [s]	0.10	0.15	0.20	0.22	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45

В допълнение на изложеното по-горе следващата графика показва пусковия ток за 20/0,4kV на трансформатор 400kVA. В съвсем началните моменти този трансформатор има пусков ток равен на 8 пъти номиналния ток; този преходен процес завършва след около няколко десети от секундата.



3 Защита на електрическото оборудване

Устройството за защита на трансформатора трябва да гарантира също така, че в случай на късо съединение трансформаторът не може да работи над точката на максимално термично претоварване; тази точка се определя на време-токовата диаграма като функция на тока на късо съединение, който може да премине през трансформатора за времето от 2 секунди (както е определено в стандарта IEC 60076-5). Токът на късо съединение (I_k), протичащ при повреда с нисък импеданс на клемите НН(ниско напрежение) на трансформатора може да се изчисли по следната формула:

$$I_k = \frac{U_r}{\sqrt{3} \cdot (Z_{Net} + Z_t)} \quad [A] \quad (1)$$

където:

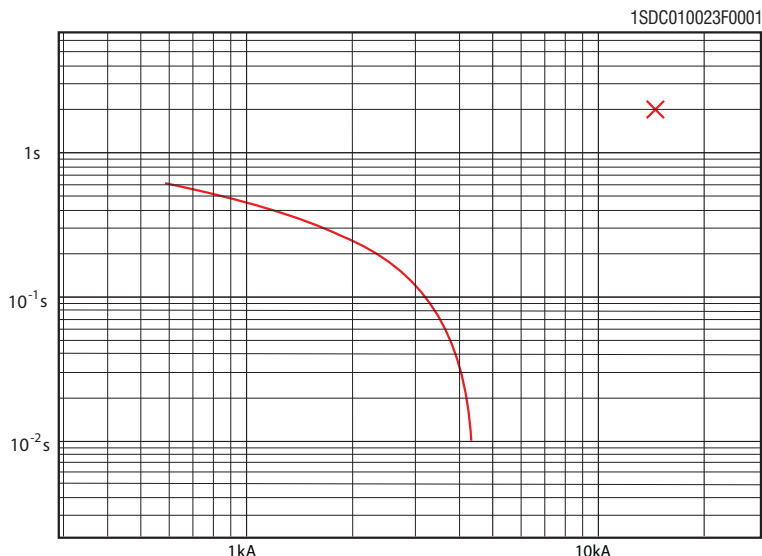
- U_r е номиналното напрежение на трансформатора [V];
- Z_{Net} е импедансът на късо съединение на мрежата [Ω];
- Z_t е импедансът на късо съединение на трансформатора; от номиналната мощност на трансформатора (S_r [VA]) и процентното напрежение на късо съединение ($u_k\%$) се получава:

$$Z_t = \frac{u_k \%}{100} \cdot \frac{U_r^2}{S_r} \quad [\Omega] \quad (2)$$

Приемайки мощността на късо съединение на мрежата преди точката на захранване да има стойност равна на безкрайност ($Z_{Net} = 0$), формула (1) става:

$$I_k = \frac{U_r}{\sqrt{3} \cdot (Z_t)} = \frac{U_r}{\sqrt{3} \cdot \left(\frac{u_k \%}{100} \cdot \frac{U_r^2}{S_r} \right)} = \frac{100 S_r}{\sqrt{3} \cdot u_k \% \cdot U_r} \quad [A] \quad (3)$$

На следващата фигурата е показана графиката на пусковия ток за трансформатор 20/0,4 kV; 400 kVA ($u_k\%=4\%$) и точката, отнасяща се до термичната устойчивост на ток на късо съединение (I_k ; 2 s).



3 Защита на електрическото оборудване

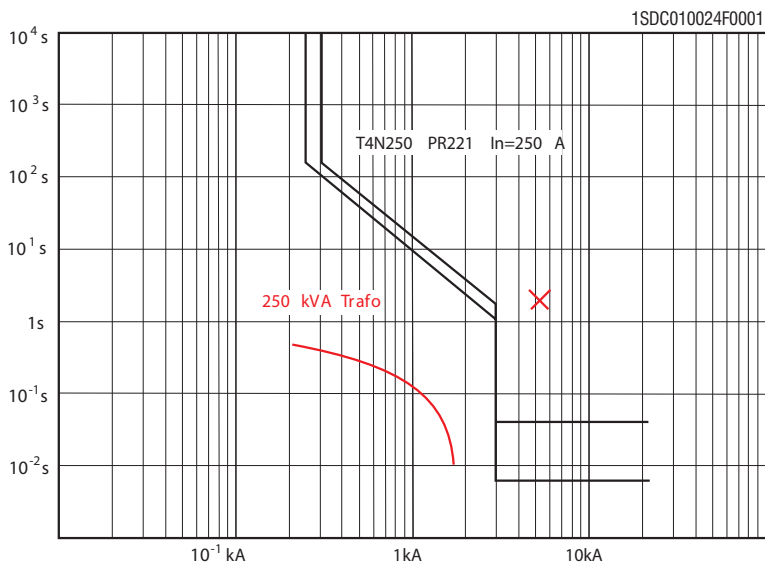
Като обобщение: За правилната защита на трансформаторите и за избягване на нежеланите изключения, характеристиката на изключване на защитното устройство трябва да се намира над кривата на пусковия ток на съответния трансформатор и под точката на термичното му претоварване.

Избиране на прекъсвачи за първичната намотка на трансформатор НН/НН

Трансформаторите от този вид се използват основно за захранване на управляващи и спомагателни вериги, тъй като те често изискват по-ниски напрежения в сравнение с веригите за електроразпределение.

По отношение на избора и настройките на прекъсвача от страна на захранването на първичната намотка, необходимо е да се вземе предвид както процеса “пусков ток”, така и максималната краткотрайна термична устойчивост на трансформатора, както е описано в предните страници.

На следващата фигура е показано възможното разположение на характеристиката на изключване на прекъсвача на първичната намотка на трансформатор 250 kVA при 690V/400V с $u_k=4\%$.



Следващите страници съдържат няколко таблици, показващи подходящите за съответните трансформатори прекъсвачи по отношение на номиналното напрежение на първичната намотка.

Що се отнася до версията на прекъсвача, необходимо е да се използва устройство със стойност на I_{cu} по-голяма от тока на късо съединение в точката на инсталиране.

Необходимо е избраният прекъсвач да се настрои правилно, за да се получи защита на трансформатора както е показано на диаграмата по-горе и съгласно всичко казано до тук.

3 Защита на електрическото оборудване

V_{1n}=400

Трансформатор		Прекъсвач ABB SACE			
S _r [kVA]	I _r на трансформатора [A]	Прекъсвач с термоманитен защитен блок		Прекъсвач с електронен защитен блок	
		T _{up}	In [A]	T _{up}	In [A]
1 x 63	91	T1B-C-N	125	T2N-S-H-L-V	160
1 x 100	144	T3N-S	200	T4N-S-H-L-V	250
1 x 125	180	T3N-S	250	T4N-S-H-L-V	250
1 x 160	231	T3N-S	250	T4N-S-H-L-V	250
1 x 200	289	T5N-S-H-L-V	320	T4N-S-H-L-V	320
1 x 250	361	T5N-S-H-L-V	400	T5N-S-H-L-V	400
1 x 315	455	T5N-S-H-L-V	500	T5N-S-H-L-V	630
1 x 400	577	T6N-S-H-L	630	T5N-S-H-L-V	630
1 x 500	722	T6N-S-H-L	800	T6N-S-H-L	800
1 x 630	909	-	-	T7S-H-L-V/ X1B-N	1000
1 x 800	1155	-	-	T7S-H-L-V/ X1B-N	1250
1 x 1000	1443	-	-	T7S-H-L / X1B-N	1600
1 x 1250	1804	-	-	E2B-N-S	2000
1 x 1600	2309	-	-	E3N-S-H-V	2500
1 x 2000	2887	-	-	E3N-S-H-V	3200

V_{1n}=440

Трансформатор		Прекъсвач ABB SACE			
S _r [kVA]	I _r на трансформатора [A]	Прекъсвач с термоманитен защитен блок		Прекъсвач с електронен защитен блок	
		T _{up}	In [A]	T _{up}	In [A]
1 x 63	83	T1B-C-N	125	T2N-S-H-L-V	160
1 x 100	131	T3N-S	200	T4N-S-H-L-V	250
1 x 125	164	T3N-S	200	T4N-S-H-L-V	250
1 x 160	210	T3N-S	250	T4N-S-H-L-V	250
1 x 200	262	T5N-S-H-L-V	320	T4N-S-H-L-V	320
1 x 250	328	T5N-S-H-L-V	400	T5N-S-H-L-V	400
1 x 315	413	T5N-S-H-L-V	500	T5N-S-H-L-V	630
1 x 400	526	T6N-S-H-L	630	T5N-S-H-L-V	630
1 x 500	656	T6N-S-H-L	800	T6N-S-H-L	800
1 x 630	827	-	-	T7S-H-L-V-X1B-N	1000
1 x 800	1050	-	-	T7S-H-L-V/ X1B-N	1250
1 x 1000	1312	-	-	T7S-H-L / X1B-N	1600
1 x 1250	1640	-	-	E2B-N-S	2000
1 x 1600	2099	-	-	E3N-S-H-V	2500
1 x 2000	2624	-	-	E3N-S-H-V	3200

3 Защита на електрическото оборудване

Vn=690

Трансформатор		Прекъсвач ABB SACE			
S _r [kVA]	Trafo I _r [A]	Прекъсвач с термомагнитен защитен блок		Прекъсвач с електронен защитен блок	
		Type	In [A]	Type	In [A]
1 x 63	53	T1B-C-N	80	T2N-S-H-L-V	80
1 x 100	84	T1B-C-N	125	T2N-S-H-L-V	160
1 x 125	105	T1B-C-N	125	T2N-S-H-L-V	160
1 x 160	134	T1B-C-N	160	T2N-S-H-L-V	160
1 x 200	168	T3N-S	200	T4N-S-H-L-V	250
1 x 250	209	T3N-S	250	T4N-S-H-L-V	250
1 x 315	264	T5N-S-H-L-V	320	T4N-S-H-L-V	320
1 x 400	335	T5N-S-H-L-V	400	T5N-S-H-L-V	400
1 x 500	419	T5N-S-H-L-V	500	T5N-S-H-L-V	630
1 x 630	528	T6N-S-H-L	630	T5N-S-H-L-V	630
1 x 800	670	T6N-S-H-L	800	T6N-S-H-L	800
1 x 1000	838	-	-	T7S-H-L-V/ X1B-N	1000
1 x 1250	1047	-	-	T7S-H-L-V/ X1B-N	1250
1 x 1600	1340	-	-	T7S-H-L / X1B-N	1600
1 x 2000	1676	-	-	E2B-N-S	2000

Критерии за избор на защитни устройства

За защита откъм страна НН на трансформатори СрН/НН трябва да се вземе предвид следното при избиране на защитни устройства:

- номиналният ток от страна НН на защитения трансформатор (тази стойност е референтната стойност за номиналния ток на прекъсвача и настройката на защитите);
- максималният ток на късо съединение в точката на инсталиране (тази стойност определя минималната изключвателна способност (I_{cu}/I_{cs}) на защитното устройство).

Блок СрН/НН с единичен трансформатор

Номиналният ток от страна НН на трансформатора (I_r) се определя по следната формула:

$$I_r = \frac{1000 \cdot S_r}{\sqrt{3} \cdot U_{r20}} \text{ [A]} \quad (4)$$

където:

- S_r е номиналната мощност на трансформатора [kVA];
- U_{r20} е номиналното напрежение от страна НН без товар на трансформатора [V].

3 Защита на електрическото оборудване

Трифазният ток на късо съединение (I_k) на изводите НН на трансформатора може да се изрази по следния начин (ако приемем, че мощността на късо съединение на мрежата има стойност равна на безкрайност):

$$I_k = \frac{100 \cdot I_r}{u_k \%} \quad [A] \quad (5)$$

където:

- $u_k\%$ е напрежението на късо съединение на трансформатора в %.

Прекъсвачът, реализиращ защитата, трябва да има: (*)

$$I_n \geq I_r;$$

$$I_{cu} (I_{cs}) \geq I_k.$$

Ако мощността на късо съединение на мрежата от страна на захранването не е безкрайно голяма и има кабелни или шинни връзки, възможно е да се получи по-точна стойност за I_k по формулата (1), където Z_{Net} е сумата от импеданса на мрежата и импеданса на връзката.

Подстанции СрН/НН с повече от един трансформатор в паралел

За изчисляването на номиналния ток на трансформатора се използва горната формула (4).

Исключателната способност на всеки прекъсвач от страна НН трябва да бъде по-голяма от сумарния ток на късо съединение, който от своя страна е равен на тока на късо съединение, на който и да е от еднравните трансформатори умножен по броя им минус едно.

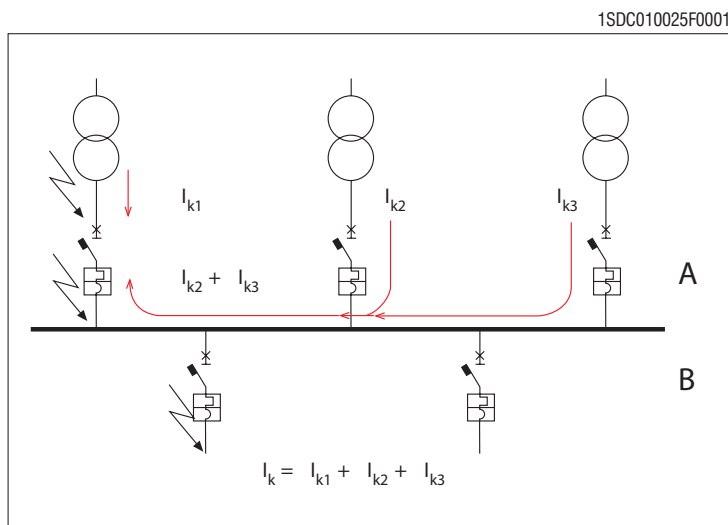
Както може да се види от схемата по-долу, в случай на повреда след прекъсвача защитаващ трансформатора (прекъсвач А), токът на късо съединение, който протича през прекъсвача е равен на тока на късо съединение получаващ от един трансформатор. В случай на повреда от страната на трансформатора преди прекъсвача, токът на късо съединение, който протича през прекъсвача е равен на сумата от токовете на другите два трансформатора в паралел.

(*) За да се реализира правилната защита от претоварване е препоръчително да се използва термометрично оборудване или други защитни устройства, способни да следят температурата вътре в трансформаторите.

3 Защита на електрическото оборудване

За правилното оразмеряване трябва да се избере прекъсвач с изключвателна способност по-голяма от два пъти тока на късо съединение на един от трансформаторите (ако приемем, че всички трансформатори са еднакви и товарите са пасивни).

Прекъсвачът, разположен на изходящите захранващи линии (прекъсвач В), трябва да има изключвателна способност по-голяма от сумата на токовете на късо съединение на трите трансформатора, съгласно хипотезата, че мощността на късо съединение на мрежата от страна на захранването е 750 MVA и товарите са пасивни.



3 Защита на електрическото оборудване

Избор на прекъсвач

В следващите таблици са показани някои възможности за избор на прекъсвачи ABB SACE в зависимост от характеристиките на трансформаторите, за които е предназначена защитата.

Таблица 1: Защита и пускане на трансформатори 230 V

Трансформатор				Прекъсвач "А" (от страна НН)												
S _r [kVA]	u _k [%]	I _n на трансформатора [A]	I _b на събирателната шина [A]	I _n на захранващата линия на трансформатора [kA]	Прекъсвач ABB SACE	Защитен блок		I _b на събирателната шина [kA]								
						Стройност I _n [A]	Минимална настройка		32 A	63 A	125 A	160 A	250 A	400 A		
1 x 63	4	158	158	3.9	T1B160*	160	1	3.9	S200	T1B160						
2 x 63		158	316	3.9	T1B160*	160	1	7.9	S200	T1B160			T3N250			
1 x 100		251	251	6.3	T4N320	320	0.79	6.3	S200	T1B160						
2 x 100	4	251	502	6.2	T4N320	320	0.79	12.5	S200	T1B160			T3N250	T5N400		
1 x 125		314	314	7.8	T5N400	400	0.79	7.8	S200	T1B160			T3N250			
2 x 125		314	628	7.8	T5N400	400	0.79	15.6	S200	T1B160			T3N250	T5N400		
1 x 160	4	402	402	10.0	T5N630	630	0.64	10.0	S200	T1B160			T3N250			
2 x 160		402	803	9.9	T5N630	630	0.64	19.9	S200	T1B160			T3N250	T5N400		
1 x 200		502	502	12.5	T5N630	630	0.8	12.5	S200	T1B160			T3N250	T5N400		
2 x 200	4	502	1004	12.4	T5N630	630	0.8	24.8	T1B160				T3N250	T5N400		
1 x 250		628	628	15.6	T5N630	630	1	15.6	S200	T1B160			T3N250	T5N400		
2 x 250		628	1255	15.4	T5N630	630	1	30.9	T1C160				T3N250	T5N400		
1 x 315	4	791	791	19.6	T6N800	800	1	19.6	T1B160				T3N250	T5N400		
2 x 315		791	1581	19.4	T6N800	800	1	38.7	T1C160				T3N250	T5N400		
1 x 400		1004	1004	24.8	T7S1250/X1B1250**	1250	0.81	24.8	T1B160				T3N250	T5N400		
2 x 400	4	1004	2008	24.5	T7S1250/X1B1250**	1250	0.81	48.9	T1N160				T3N250	T5N400		
1 x 500		1255	1255	30.9	T7S1600/X1B1600**	1600	0.79	30.9	T1C160				T3N250	T5N400		
2 x 500		1255	2510	30.4	T7S1600/X1B1600**	1600	0.79	60.7	T2N160				T3S250	T5N400		
1 x 630	4	1581	1581	38.7	T7S1600/X1B1600**	1600	1	38.7	T1C160				T3N250	T5N400		
2 x 630		1581	3163	37.9	T7S1600/X1B1600**	1600	1	75.9	T2S160				T3S250	T5S400		
3 x 630		1581	4744	74.4	T7S1600/E2S1600	1600	1	111.6	T2L160				T4L250	T5L400		
1 x 800	5	2008	2008	39.3	E3N2500	2500	0.81	39.3	T1C160				T3N250	T5N400		
2 x 800		2008	4016	38.5	E3N2500	2500	0.81	77.0	T2S160				T3S250	T5S400		
3 x 800		2008	6025	75.5	E3H2500	2500	0.81	113.2	T2L160				T4L250	T5L400		
1 x 1000	5	2510	2510	48.9	E3N3200	3200	0.79	48.9	T1N160				T3N250	T5N400		
2 x 1000		2510	5020	47.7	E3N3200	3200	0.79	95.3	T2H160				T4H250	T5H400		
3 x 1000		2510	7531	93.0	E3H3200	3200	0.79	139.5	T4L250				T4L250	T5L400		
1 x 1250	5	3138	3138	60.7	E3N3200	3200	1	60.7	T2N160				T3S250	T5N400		
2 x 1250		3138	6276	58.8	E3N3200	3200	1	117.7	T2L160				T4L250	T5L400		
3 x 1250		3138	9413	114.1	E4V3200	3200	1	171.2	T4L250				T4L250	T5L400		

* За това приложение могат да се използват и прекъсвачи от серията Tmax, оборудвани с електронни защитни блокове

** За това приложение могат да се използват Tmax мул Е1

3 Защита на електрическото оборудване

1SDC010035F0201

Прекъсвач "В" (прекъсвач на захранващата линия)								
Тип и номинален ток на прекъсвача на захранващата линия								
630 A	800 A	1000 A	1250 A	1600 A	2000 A	2500 A	3200 A	4000 A
T5N630								
T5N630								
T5N630								
T5N630	T6N800/X1B800							
T5N630								
T5N630	T6N800/X1B800	T7S1000/X1B1000	T7S1250/X1B1250					
T5N630	T6N800/X1B800							
T5N630	T6N800/X1N800	T7S1000/X1N1000	T7S1250/X1N1250	T7S1600/X1N1600				
T5N630	T6N800/X1B800							
T5N630	T6N800/X1N800	T7S1000/X1N1000	T7S1250/X1N1250	T7S1600/X1N1600	E2N200 0			
T5N630	T6N800/X1B800	T7S1000/X1B1000	T7S1250/X1B1250					
T5S630	T6S800/E2S800	T7S1000/E2S1000	T7S1250/E2S1250	T7S1600/E2S1600	E2S2000	E3H250 0		
T5L630	T6L800/E3V800	T7L1000/E3V1250	T7L1250/E3V1250	T7L1600/E3V1600	E3V2000	E3V2500	E3V320 0	
T5N630	T6N800/X1B800	T7S1000/X1B1000	T7S1250/X1B1250	T7S1600/X1B1600				
T5S630	T6L800/E2S800	T7S1000/E2S1000	T7S1250/E2S1250	T7S1600/E2S1600	E2S2000	E3H250 0	E3H3200	
T5L630	T6L800/E3V800	T7L1000/E3V1250	T7L1250/E3V1250	T7L1600/E3V1600	E3V2000	E3V2500	E4V320 0	E4V4000
T5N630	T6N800/X1N800	T7S1000/X1N1000	T7S1250/X1N1250	T7S1600/X1N1600	E2N200 0			
T5H630	T6H800/E3H800	T7H1000/E3H1000	T7H1250/E3H1250	T7H1600/E3H1600	E3H200 0	E3H250 0	E3H3200	E4H4000
T5L630	T6L800	T7L1000	T7L1250	T7L1600	E4V3200	E4V3200	E4V320 0	E4V400 0
T5N630	T6N800/X1N800	T7S1000/X1N1000	T7S1250/X1N1250	T7S1600/X1N1600	E2N200 0	E3N250 0		
T5L630	T6L800/E3V800	T7L1000/E3V1250	T7L1250/E3V1250	T7L1600/E3V1600	E3V2000	E3V2500	E3V320 0	E4V400 0
T5L630	T6L800	T7L1000	T7L1250	T7L1600				

3 Защита на електрическото оборудване

Таблица 2: Защита и пускане на трансформатори 400 V

Трансформатор				Прекъсвач "А" (от страна НН)				I _n на събирателната шина						
S _r	u _k	I _n на трансформатора	I _b на събирателната шина	I _k на захранващата линия на трансформатора	Прекъсвач ABB SACE	Защитен блок		I _n на събирателната шина	32 A	63 A	125 A	160 A	250 A	400 A
[kVA]	[%]	[A]	[A]	[kA]		Стойност в [A]	Минимална настройка	[kA]						
1 x 63	4	91	91	2.2	T1B *	100	0.92	2.2	S200					
2 x 63		91	182	2.2	T1B *	100	0.92	4.4	S200	T1B160				
1 x 100	4	144	144	3.6	T1B *	160	0.91	3.6	S200	T1B160				
2 x 100		144	288	3.6	T1B *	160	0.91	7.2	S200	T1B160				
1 x 125	4	180	180	4.5	T3N250*	200	0.73	4.5	S200		T1B160			
2 x 125		180	360	4.4	T3N250*	200	0.73	8.8	S200		T1B160			
1 x 160	4	231	231	5.7	T3N250*	250	0.93	5.7	S200		T1B160			
2 x 160		231	462	5.7	T3N250*	250	0.93	11.4	S200M		T1B160		T3N250	
1 x 200	4	289	289	7.2	T4N320	320	0.91	7.2	S200		T1B160		T3N250	
2 x 200		289	578	7.1	T4N320	320	0.91	14.2	S200M		T1B160		T3N250	TSN400
1 x 250	4	361	361	8.9	TSN400	400	0.91	8.9	S200		T1B160		T3N250	
2 x 250		361	722	8.8	TSN400	400	0.91	17.6		T1C160			T3N250	TSN400
1 x 315	4	455	455	11.2	TSN630	630	0.73	11.2	S200M		T1B160		T3N250	TSN400
2 x 315		455	910	11.1	TSN630	630	0.73	22.2		T1C160			T3N250	TSN400
1 x 400	4	577	577	14.2	TSN630	630	0.92	14.2	S200M		T1B160		T3N250	TSN400
2 x 400		577	1154	14	TSN630	630	0.92	28		T1N160			T3N250	TSN400
1 x 500	4	722	722	17.7	T6N800	800	0.91	17.7		T1C160			T3N250	TSN400
2 x 500		722	1444	17.5	T6N800	800	0.91	35.9		T1N160			T3N250	TSN400
1 x 630	4	909	909	22.3	T7S1000/X1B1000* *	1000	0.91	22.3		T1C160			T3N250	TSN400
2 x 630		909	1818	21.8	T7S1000/X1B1000* *	1000	0.91	43.6		T2S160			T3S250	T5S400
3 x 630	5	909	2727	42.8	T7S1000/X1N1000* *	1000	0.91	64.2		T2H160			T4H250	TSH400
1 x 800		1155	1155	22.6	T7S1250/X1B1250* *	1250	0.93	22.6		T1C160			T3N250	TSN400
2 x 800	5	1155	2310	22.1	T7S1250/X1B1250* *	1250	0.93	44.3		T2S160			T3S250	T5S400
3 x 800		1155	3465	43.4	T7S1250/X1N1250* *	1250	0.93	65		T2H160			T4H250	TSH400
1 x 1000	5	1443	1443	28.1	T7S1600/X1B1600* *	1600	0.91	28.1		T1N160			T3N250	TSN400
2 x 1000		1443	2886	27.4	T7S1600/X1B1600* *	1600	0.91	54.8		T2H160			T4H250	TSH400
3 x 1000	5	1443	4329	53.5	T7H1600/E2N1600	1600	0.91	80.2		T2L160			T4L250	TSL400
1 x 1250		1804	1804	34.9	E2B2000	2000	0.91	34.9		T1N160			T3N250	TSN400
2 x 1250	5	1804	3608	33.8	E2B2000	2000	0.91	67.7		T2H160			T4H250	TSH400
3 x 1250		1804	5412	65.6	E2S2000	2000	0.91	98.4		T4L250			T4L250	TSL400
1 x 1600	6.25	2309	2309	35.7	E3N2500	2500	0.93	35.7		T1N160			T3N250	TSN400
2 x 1600		2309	4618	34.6	E3N2500	2500	0.93	69.2		T2H160			T4H250	TSH400
3 x 1600	6.25	2309	6927	67	E3S2500	2500	0.93	100.6		T4L250			T4L250	TSL400
1 x 2000		2887	2887	44.3	E3N3200	3200	0.91	44.3		T2S160			T3S250	T5S400
2 x 2000	6.25	2887	5774	42.6	E3N3200	3200	0.91	85.1		T4L250			T4L250	TSL400
3 x 2000		2887	8661	81.9	E3H3200	3200	0.91	122.8		T4V250			T4V250	TSV400
1 x 2500	6.25	3608	3608	54.8	E4S4000	4000	0.91	54.8		T2H160			T4H250	TSH400
1 x 3125		4510	4510	67.7	E6H5000	5000	0.91	67.7		T2H160			T4H250	TSH400

* За това приложение могат да се използват и прекъсвачи от серията Tmax, оборудвани с електронни защитни блокове

** За това приложение могат да се използват Emax тип E1

3 Защита на електрическото оборудване

1SDC010036F0201

Прекъсвач "В" (прекъсвач на захранващата линия)								
Тип и номинален ток на прекъсвача на захранващата линия								
630 A	800 A	1000 A	1250 A	1600 A	2000 A	2500 A	3200 A	4000 A
T5N630								
T5N630								
T5N630								
T5N630	T6N800/X1B800							
T5N630	T6N800/X1B800							
T5S630	T6S800/X1N800	T7S1000/X1N1000	T7S1250/X1N1250					
T5H630	T6H800/X1N800	T7H1000/X1N1000	T7H1250/X1N1250	T7H1600/X1N1600				
T5N630	T6N800/X1B800	T7S1000/X1B1000						
T5S630	T6S800/X1N800	T7S1000/X1N1000	T7S1250/X1N1250	T7S1600/X1N1600				
T5H630	T6H800/X1N800	T7H1000/X1N1000	T7H1250/X1N1250	T7H1600/X1N1600	E2N2000	E3N2500		
T5N630	T6N800/X1B800	T7S1000/X1B1000	T7S1250/X1B1250					
T5H400	T6H800/X1N800	T7H1000/X1N1000	T7H1250/X1N1250	T7H1600/X1N1600	E2N2000			
T5L630	T6L800/E2S800	T7L1000/E2S1000	T7L1250/E2S1250	T7L1600/E2S1600	E2S2000	E3H2500	E3H3200	
T5N630	T6N800/X1B800	T7S1000/X1B1000	T7S1250/X1B1250	T7S1600/X1B1600				
T5H630	T6H800/E2S800	T7H1000/E2S1000	T7H1250/E2S1250	T7H1600/E2S1600	E2S2000	E3S2500	E3S3200	
T5L630	T6L800/E3H800	T7L1000/E3H1000	T7L1250/E3H1250	T7L1600/E3H1600	E3H2000	E3H2500	E3H3200	E4H4000
T5N630	T6N800/X1B800	T7S1000/X1B1000	T7S1250/X1B1250	T7S1600/X1B1600				
T5H630	T6H800/E2S800	T7H1000/E2S1000	T7H1250/E2S1250	T7H1600/E2S1600	E2S2000	E3S2500	E3S3200	E4S4000
T5L630	T7L800/E3V800	T7L1000/E3V1250	T7L1250/E3V1250	T7L1600/E3V1600	E3V2000	E3V2500	E3V3200	E4V4000
T5S630	T6S800/X1N800	T7S1000/X1N1000	T7S1250/X1N1250	T7S1600/X1N1600	E2N2000			
T5L630	T6L800/E3H800	T7L1000/E3H1000	T7L1250/E3H1250	T7L1600/E3H1600	E3H2000	E3H2500	E3H3200	E4H4000
T5V630	T7V800/E3V800	T7V1000/E3V1000	T7V1250/E3V1250	E3V1600	E3V2000	E3V2500	E3V3200	E4V4000
T5H630	T6H800/X1N800	T7H1000/X1N1000	T7H1250/X1N1250	T7H1600/X1N1600	E2N2000	E3N2500	E3N3200	
T5H630	T6H800/E2S800	T7H1000/E2S1000	T7H1250/E2S1250	T7H1600/E2S1600	E2S2000	E3S2500	E3S3200	E4S4000

3 Защита на електрическото оборудване

Таблица 4: Защита и пускане на трансформатори 690 V

Трансформатор				Прекъсвач "А" (от страна НН)											
S _r	u _k	I _n на трансформатора	I _n на събирателната шина	I _k на захранващата линия на трансформатора	Прекъсвач ABB SACE	Защитен блок		I _n на събирателната шина							
						Стройност In [A]	Минимална настройка		[kA]	32A	63A	125A	160 A	250 A	400 A
[kVA]	[%]	[A]	[A]	[kA]				[kA]							
1 x 63	4	53	53	1.3	T1B *	63	0.84	1.3	T1B160						
2 x 63		53	105	1.3	T1B *	63	0.84	2.6	T1B160						
1 x 100	4	84	84	2.1	T1B *	100	0.84	2.1	T1B160						
2 x 100		84	167	2.1	T1B *	100	0.84	4.2	T1N160						
1 x 125	4	105	105	2.6	T1B *	125	0.84	2.6	T1B160						
2 x 125		105	209	2.6	T1B *	125	0.84	5.2	T1N160						
1 x 160	4	134	134	3.3	T1C *	160	0.84	3.3	T1C160						
2 x 160		134	268	3.3	T1C *	160	0.84	6.6	T2S160						
1 x 200	4	167	167	4.2	T3N250*	200	0.84	4.2	T1N160						
2 x 200		167	335	4.1	T3N250*	200	0.84	8.3	T2L160				T4N250		
1 x 250	4	209	209	5.2	T3S250*	250	0.84	5.2	T1N160						
2 x 250		209	418	5.1	T3S250*	250	0.84	10.3	T4N250				T4N250		
1 x 315	4	264	264	6.5	T4N320	320	0.82	6.5	T2S160						
2 x 315		264	527	6.5	T4N320	320	0.82	12.9	T4N250				T4N250	T5N400	
1 x 400	4	335	335	8.3	T5N400	400	0.84	8.3	T2L160				T4N250		
2 x 400		335	669	8.2	T5N400	400	0.84	16.3	T4N250				T4N250	T5N400	
1 x 500	4	418	418	10.3	T5N630	630	0.66	10.3	T4N250				T4N250		
2 x 500		418	837	10.1	T5N630	630	0.66	20.2	T4S250				T4S250	T5S400	
1 x 630	4	527	527	12.9	T5N630	630	0.84	12.9	T4N250				T4N250	T5N400	
2 x 630		527	1054	12.6	T5N630	630	0.84	25.3	T4H250				T4H250	T5H400	
3 x 630	5	527	1581	24.8	T5S630	630	0.84	37.2	T4H250				T4H250	T5H400	
1 x 800		669	669	13.1	T6N800	800	0.84	13.1	T4N250				T4N250	T5N400	
2 x 800	5	669	1339	12.8	T6N800	800	0.84	25.7	T4H250				T4H250	T5H400	
3 x 800		669	2008	25.2	T6L800	800	0.84	37.7	T4H250				T4H250	T5H400	
1 x 1000	5	837	837	16.3	T7S1000/X1B1000**	1000	0.84	16.3	T4N250				T4N250	T5N400	
2 x 1000		837	1673	15.9	T7S1000/X1B1000**	1000	0.84	31.8	T4H250				T4H250	T5H400	
3 x 1000	5	837	2510	31.0	T7H1000/X1B1000**	1000	0.84	46.5	T4L250				T4L250	T5L400	
1 x 1250		1046	1046	20.2	T7S1250/X1B1250**	1250	0.84	20.2	T4S250				T4S250	T5S400	
2 x 1250	5	1046	2092	19.6	T7S1250/X1B1250**	1250	0.84	39.2	T4H250				T4H250	T5H400	
3 x 1250		1046	3138	38.0	T7H1250/X1B1250**	1250	0.84	57.1	T4L250				T4L250	T5L400	
1 x 1600	6.25	1339	1339	20.7	T7S1600/X1B1600**	1600	0.84	20.7	T4S250				T4S250	T5S400	
2 x 1600		1339	2678	20.1	T7S1600/X1B1600**	1600	0.84	40.1	T4L250				T4L250	T5L400	
3 x 1600	6.25	1339	4016	38.9	T7H1600/X1B1600**	1600	0.84	58.3	T4L250				T4L250	T5L400	
1 x 2000		1673	1673	25.7	E2B2000	2000	0.84	25.7	T4H250				T4H250	T5H400	
2 x 2000	6.25	1673	3347	24.7	E2B2000	2000	0.84	49.3	T4L250				T4L250	T5L400	
3 x 2000		1673	5020	47.5	E2N2000	2000	0.84	71.2	T4V250				T4V250	T5V400	
1 x 2500	6.25	2092	2092	31.8	E3N2500	2500	0.84	31.8	T4H250				T4H250	T5H400	
1 x 3125		2615	2615	39.2	E3N3200	3200	0.82	39.2	T4H250				T4H250	T5H400	

* За това приложение могат да се използват и прекъсвачи от серията Tmax, оборудвани с електронни защитни блокове

** За това приложение могат да се използват Emax тип E1

3 Защита на електрическото оборудване

1SDC010038F0201

Прекъсвач "В" (прекъсвач на захранващата линия)								
Тип и номинален ток на прекъсвача на захранващата линия								
630 A	800 A	1000 A	1250 A	1600 A	2000 A	2500 A	3200 A	4000 A
T5S630								
T5H630								
T5H630	T7H800/X1B800	T7H1000/X1B1000	T7H1250/X1B1250					
T5H630	T6L800/X1B800							
T5H630	T7H800/X1N800	T7H1000/X1N1000	T7H1250/X1N1250	T7H1600/X1N1600				
T5N630								
T5H630	T7H800/X1B800	T7H1000/X1B1000	T7H1250/X1B1250					
T5L630	T7L800/X1N80 0	T7L1000/X1N1000	T7L1250/X1N125 0	T7L1600/X1N1600	E2N2000			
T5S630	T6S800/X1B800							
T5H630	T7H800/X1B800	T7H1000/X1B1000	T7H1250/X1B1250	T7H1600/X1N1600				
T5L630	T7V800/E2S800	T7V1000/E2S1000	T7V1250/ES21250	E2S1600	E2S2000			
T5S630	T6S800/X1B800	T7S1000/X1B1000						
T5L630	T7H800/X1B800	T7H1000/X1B1000	T7H1250/X1B1250	T7H1600/X1B1600	E2B2000			
T5L630	T7V800/E2S800	T7V1000/X1B1000	T7V1250/ES21250	E2S1600	E2S2000	E3N2500	E3N3200	
T5H630	T6L800/X1N80 0	T7S1000/E2S1000	T7S1250/X1N125 0					
T5L630	T7L800/X1N80 0	T7L1000/X1N1000	T7L1250/X1N125 0	T7L1600/X1N1600	E2N2000	E3N2500		
T5V630	E3S1000		E3S1250	E3S1600	E3S2000	E3S250 0	E3S3200	E4S400 0
T5H630	T7H800/X1B800	T7H1000/X1B1000	T7H1250/X1B1250	T7H1600/X1B1600				
T5H630	T7H800/X1B800	T7H1000/X1B1000	T7H1250/X1B1250	T7H1600/X1B1600	E2B2000			

3 Защита на електрическото оборудване

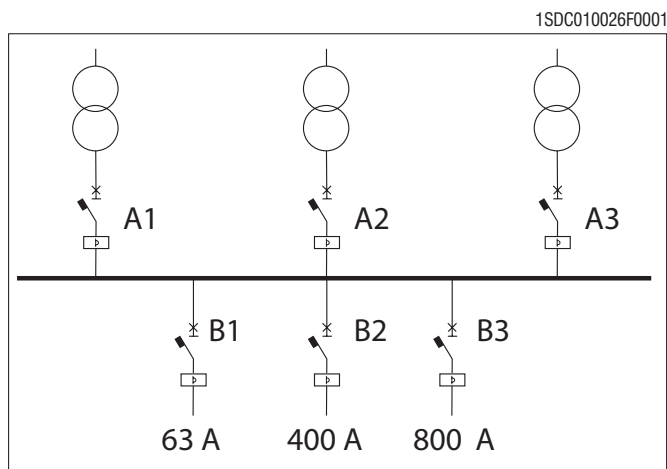
ЗАБЕЛЕЖКА

Таблиците се отнасят за определените преди това условия; информацията за избора на прекъсвачи е дадена само по отношение на тока в приложението и вероятния ток на късо съединение. За правилния избор трябва да се вземат под внимание също така и други фактори, като селективност, каскадиране, дали да се използват токоограничаващи прекъсвачи и т.н. Затова е от съществено значение инженерите-проектанти да извършват прецизни проверки.

Трябва да се отбележи също така, че дадените токове на късо съединение са определени въз основа на хипотезата, че мощността на мрежата от страна на захранването е 750 MVA, без да се отчитат импедансите на събирателните шини или връзките към прекъсвачите.

Пример:

Трябва да се оразмерят прекъсвачите A1/A2/A3 от страна НН на три трансформатора 630 kVA, 20/0,4 kV с $u_k\% = 4\%$ и прекъсвачи на изходящата захранваща линия B1/B2/B3, съответно 63-400-800 A:



3 Защита на електрическото оборудване

От Таблица 2, 6 реда за трансформатори 3х630 kVA може да се определи, че:

Прекъсвачи ниво А (страна НН на трансформатора)

- I_r (909 A) - е токът на трансформатора, който протича през прекъсвача защитаващ трансформатора;
- I_b (2727 A) - е максималния ток на шината, който трансформаторите могат да захранят;
- I_k (42,8 kA) - е стойността на тока на късо съединение на захранващата линия на трансформатора, която трябва да се вземе предвид при избор на изключвателна способност на всеки един от прекъсвачите;
- T7S1000 или X1N1000 е типа на прекъсвача на трансформатора;
- I_n (1000 A) е номиналният ток на прекъсвача на трансформатора (електронен защитен блок, избран от потребителя);
- Минималната стойност 0,91 показва минималната настройка на L функцията на електронните защитни блокове за прекъсвачи T7S1000 и X1N1000.

Прекъсвачи ниво В (изходяща захранваща линия)

- I_k (64,2 kA) е стойността на тока на късо съединение на шината, получена от трите трансформатора;
- За 63 A, вижте прекъсвач В1 Tmax T2N160;
- За 400 A, вижте прекъсвач В2 Tmax T5N400;
- За 800 A, вижте прекъсвач В3 Tmax T6N800 или Etmax X1N800.

При направения избор не се вземат предвид изискванията за селективност / каскадиране. Вижте съответните глави за отделните случаи.

4 Корекция на фактора на мощността

4.1 Общи аспекти

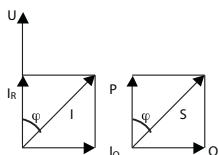
В променливотоковите вериги изразходеният от консуматора ток може да бъде представен чрез две компоненти:

- активната компонента I_R , във фаза със захранващото напрежение, е директно зависима от товара (следователно една част от електрическата енергия се трансформира в друг вид енергия: обикновено в механична, светлинна и/или топлинна);

- реактивната компонента I_Q , изоставаща на 90° от напрежението, се използва за генериране на електрическо или магнитно поле необходимо за преобразуване на енергията. Без него не би имало енергиен поток, както е при магнитопровода на трансформатора или във въздушната междина на електродвигателите.

В най-общия случай при наличието на омично-индуктивни товари ток (I) изостава в сравнение с активната компонента I_R .

В електрическите инсталации е необходимо да се генерира и пренася освен активната мощност P и определена реактивна мощност Q , която има съществено значение за преобразуването на електрическата енергия, но не се ползва от потребителя. Съвкупността от генерирани и пренесени мощности представлява привидната мощност S .



Факторът на мощността ($\cos\varphi$) се дефинира като съотношението между активната компонента I_R и общата стойност на тока I ; φ е фазовото отместване между напрежението U и тока I .

Получава се:

$$\cos\varphi = \frac{I_R}{I} = \frac{P}{S} \quad (1)$$

Коефициентът на реактивност ($\tan\varphi$) е съотношението между реактивната мощност и активната мощност:

$$\tan\varphi = \frac{Q}{P} \quad (2)$$

4 Корекция на фактора на мощността

4.1 Общи аспекти

В Таблица 1 са показани някои типични стойности на факторите на мощността

Таблица 1: Типични стойности на фактора на мощността

Товар	cos фактор на мощност	tg коэффициент на реактивност
Трансформатори (условия без товар)	$0,1 \div 0,15$	$9,9 \div 6,6$
Двигател (пълн товар)		
Двигател (без товар)		
Металообработващи машини:		
- Електродъгово заваряване		
- Компенсирано електродъгово заваряване		
- Електросъпротивително заваряване		
- Електродъгова топилна пещ		
Флуоресцентни лампи		
- с компенсация		
- без компенсация		
Лампи с живачни пари		
Лампи с натриеви пари		
АС/DC преобразуватели		
Постояннотокови задвижвания		
Променивотокови задвижвания		
Съпротивителни товари		

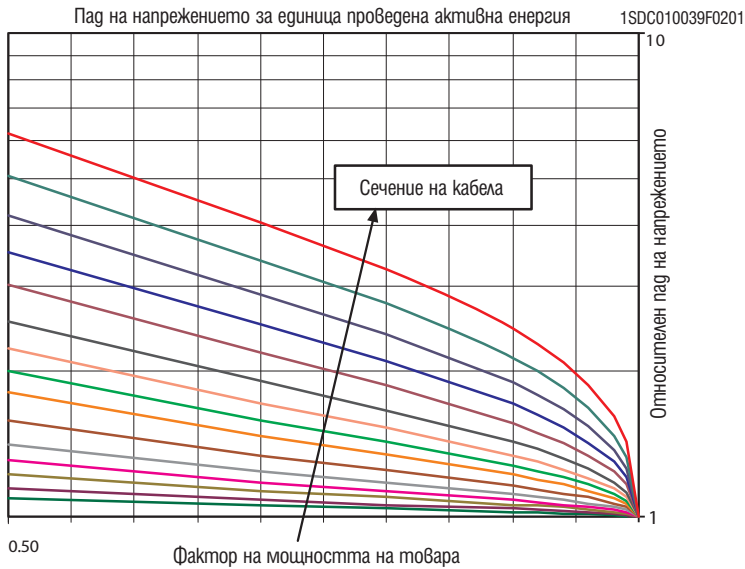
Корекцията на фактора на мощността е действие, водещо до увеличаване стойността му в определена част от инсталацията чрез локално набавяне на необходимата реактивна енергия, така че да се намали големината на тока до стойности удовлетворяващи дадените мощности и следователно да са намали и общата стойност на консумираната енергия. По този начин и линията и захранващият генератор могат да бъдат оразмерени за по-ниска стойност на привидната мощност, изисквана за товара.

И по-точно, както е показано на Фигура 1 и Фигура 2, увеличаването на фактора на мощността на товара:

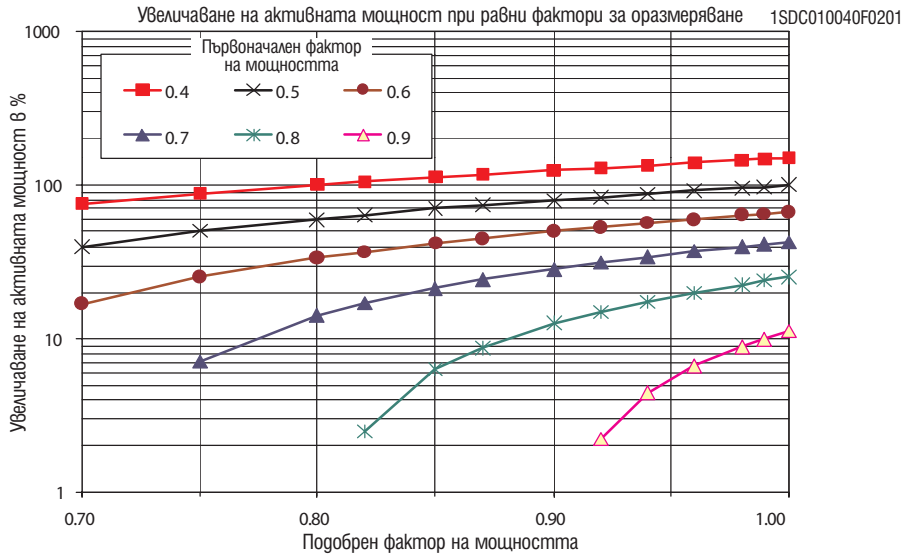
- намалява относителния пад на напрежението и гр за единица проведена активна мощност;
- увеличава проводимата активна мощност и намалява загубите при запазване на останалите параметри.

4 Корекция на фактора на мощността

Фигура 1: Относителен пад на напрежението



Фигура 2: Проводима активна мощност



4 Корекция на фактора на мощността

Електроразпределителното дружество отговаря за производството и преноса на реактивната мощност, необходима за потребителските инсталации и поради това има редица допълнителни неудобства, които могат да бъдат обобщени по следния начин:

- преоразмеряване на проводниците и компонентите на преносните линии;
- по-големи загуби от ефекта на Джаул и по-големи падове на напрежението в компонентите и линиите.

Същите неудобства съществуват и в разпределителните инсталации на крайните потребители. факторът на мощността е отличен показател за размера на добавените разходи и затова се използва от електроразпределителните дружества за определяне на продажната цена на енергията за крайните потребители.

Идеалната ситуация би била да имаме $\cos\Phi$ малко по-висок от зададената референтна стойност, така че да се избегне плащането на юридически санкции и в същото време да не се поема риска при $\cos\Phi$ твърде близко до единица да имаме изпреварващ фактор на мощността, когато устройството с коригиран фактор на мощността работи с малък товар.

Електроразпределителните дружества не позволяват на групи да доставят реактивна енергия в мрежата, поради възможността от неочаквани пренапрежения.

В случая на синусоидална форма на вълната, реактивната мощност, необходима за преминаване от един фактор на мощността $\cos\Phi_1$ към друг фактор на мощността $\cos\Phi_2$, се получава по формулата:

$$Q_C = Q_2 - Q_1 = P \cdot (\tan\Phi_1 - \tan\Phi_2) \quad (3)$$

където:

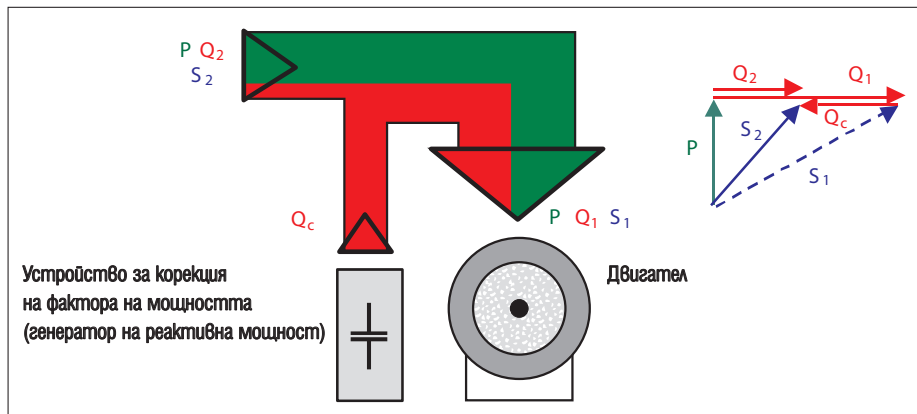
P е активната мощност;

Q_1 , Φ_1 са реактивната мощност и фазовото отместване преди корекцията на фактора на мощността;

Q_2 , Φ_2 са реактивната мощност и фазовото отместване след корекцията на фактора на мощността;

Q_C е реактивната мощност, необходима за корекцията на фактора на мощността.

1SDC010041F0201



4 Корекция на фактора на мощността

В Таблица 2 е показана стойността на отношението:

$$K_c = \frac{Q_c}{P} = \tan\varphi_1 - \tan\varphi_2 \quad (4)$$

за различни стойности на фактора на мощността преди и след корекцията.

Таблица 2: Коефициент K_c

K_c	$\cos\varphi_2$												
$\cos\varphi_1$	0.80	0.85	0.90	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	1
0.60	0.583	0.714	0.849	0.878	0.907	0.938	0.970	1.005	1.042	1.083	1.130	1.191	1.333
0.61	0.549	0.679	0.815	0.843	0.873	0.904	0.936	0.970	1.007	1.048	1.096	1.157	1.299
0.62	0.515	0.646	0.781	0.810	0.839	0.870	0.903	0.937	0.974	1.015	1.062	1.123	1.265
0.63	0.483	0.613	0.748	0.777	0.807	0.837	0.870	0.904	0.941	0.982	1.030	1.090	1.233
0.64	0.451	0.581	0.716	0.745	0.775	0.805	0.838	0.872	0.909	0.950	0.998	1.058	1.201
0.65	0.419	0.549	0.685	0.714	0.743	0.774	0.806	0.840	0.877	0.919	0.966	1.027	1.169
0.66	0.388	0.519	0.654	0.683	0.712	0.743	0.775	0.810	0.847	0.888	0.935	0.996	1.138
0.67	0.358	0.488	0.624	0.652	0.682	0.713	0.745	0.779	0.816	0.857	0.905	0.966	1.108
0.68	0.328	0.459	0.594	0.623	0.652	0.683	0.715	0.750	0.787	0.828	0.875	0.936	1.078
0.69	0.299	0.429	0.565	0.593	0.623	0.654	0.686	0.720	0.757	0.798	0.846	0.907	1.049
0.70	0.270	0.400	0.536	0.565	0.594	0.625	0.657	0.692	0.729	0.770	0.817	0.878	1.020
0.71	0.242	0.372	0.508	0.536	0.566	0.597	0.629	0.663	0.700	0.741	0.789	0.849	0.992
0.72	0.214	0.344	0.480	0.508	0.538	0.569	0.601	0.635	0.672	0.713	0.761	0.821	0.964
0.73	0.186	0.316	0.452	0.481	0.510	0.541	0.573	0.608	0.645	0.686	0.733	0.794	0.936
0.74	0.159	0.289	0.425	0.453	0.483	0.514	0.546	0.580	0.617	0.658	0.706	0.766	0.909
0.75	0.132	0.262	0.398	0.426	0.456	0.487	0.519	0.553	0.590	0.631	0.679	0.739	0.882
0.76	0.105	0.235	0.371	0.400	0.429	0.460	0.492	0.526	0.563	0.605	0.652	0.713	0.855
0.77	0.079	0.209	0.344	0.373	0.403	0.433	0.466	0.500	0.537	0.578	0.626	0.686	0.829
0.78	0.052	0.183	0.318	0.347	0.376	0.407	0.439	0.474	0.511	0.552	0.599	0.660	0.802
0.79	0.026	0.156	0.292	0.320	0.350	0.381	0.413	0.447	0.484	0.525	0.573	0.634	0.776
0.80		0.130	0.266	0.294	0.324	0.355	0.387	0.421	0.458	0.499	0.547	0.608	0.750
0.81		0.104	0.240	0.268	0.298	0.329	0.361	0.395	0.432	0.473	0.521	0.581	0.724
0.82		0.078	0.214	0.242	0.272	0.303	0.335	0.369	0.406	0.447	0.495	0.556	0.698
0.83		0.052	0.188	0.216	0.246	0.277	0.309	0.343	0.380	0.421	0.469	0.530	0.672
0.84		0.026	0.162	0.190	0.220	0.251	0.283	0.317	0.354	0.395	0.443	0.503	0.646
0.85			0.135	0.164	0.194	0.225	0.257	0.291	0.328	0.369	0.417	0.477	0.620
0.86			0.109	0.138	0.167	0.198	0.230	0.265	0.302	0.343	0.390	0.451	0.593
0.87			0.082	0.111	0.141	0.172	0.204	0.238	0.275	0.316	0.364	0.424	0.567
0.88			0.055	0.084	0.114	0.145	0.177	0.211	0.248	0.289	0.337	0.397	0.540
0.89			0.028	0.057	0.086	0.117	0.149	0.184	0.221	0.262	0.309	0.370	0.512
0.90				0.029	0.058	0.089	0.121	0.156	0.193	0.234	0.281	0.342	0.484

4 Корекция на фактора на мощността

Пример

Необходима е промяна на фактора на мощността на трифазна инсталация от 0,8 до 0,93 ($U_f = 400\text{ V}$), която консумира средна мощност 300 kW. В Таблица 2, от пресечната точка на колоната, съответстваща на крайния фактор на мощността (0,93) и реда, съответстващ на началния фактор на мощността (0,8), може да се определи стойността на K_c (0,355). Реактивната мощност Q_c , която трябва да се генерира локално, трябва да бъде:

$$Q_c = K_c \cdot P = 0.355 \cdot 300 = 106.5 \text{ Kvar}$$

Вследствие на ефекта на корекцията на фактора на мощността, изразходеният ток намалява от 540 A на 460 A (намаляние от приблизително 15%).

Характеристики на кондензаторните батерии за корекция на фактора на мощността

Най-икономичното средство за увеличаване на фактора на мощността, особено за съществуващи инсталации, е инсталирането на кондензатори.

Кондензаторите имат следните предимства:

- ниски разходи в сравнение със синхронните компенсатори и електронните силови конвертори;
- лесна инсталация и поддръжка;
- намалени загуби (по-малко от 0,5 W/kvar при ниско напрежение);
- възможност за покриване на широк обхват от мощности и различни профили на товарите, като просто се захранват паралелно различни комбинации от компоненти, всяка със сравнително малка мощност. Недостатъците са чувствителност към пренапрежения и наличие на нелинейни товари.

Приложимите стандарти за корекцията на фактора на мощността са следните:

- IEC 60831-1 „Паралелни силови кондензатори от самовъзстановяващ се тип за системи с променливо напрежение до и включително 1000 V – Част 1: Общи положения – Работни характеристики, изпитване и номинални данни – Изисквания за безопасност – Ръководство за монтаж и експлоатация“;
- IEC 60931-1 „Паралелни силови кондензатори от несамовъзстановяващ се тип за системи с променливо напрежение до и включително 1000 V – Част 1: Общи положения – Работни характеристики, изпитване и номинални данни – Изисквания за безопасност – Ръководство за монтаж и експлоатация“;

4 Корекция на фактора на мощността

Характеристиките на кондензаторите, указани на етикета с номиналните данни, са:

- Номинално напрежение U_r , на което кондензаторът трябва да издържа безкрайно;
- Номинална честота f_r (обикновено равна на честотата на мрежата);
- Номинална мощност Q_c , изразявана най-общо в kvar (реактивната мощност на кондензаторната батерия).

От тези данни е възможно да се намерят характеристиките за оразмеряване на кондензаторите чрез следните формули (5):

1SDC010005F0901

	Еднофазно свързване	Трифазно свързване звезда	Трифазно свързване триъгълник
Капацитет на кондензаторната батерия	$C = \frac{Q_r}{2\pi f_r \cdot U_r^2}$	$C = \frac{Q_r}{2\pi f_r \cdot U_r^2}$	$C = \frac{Q_r}{2\pi f_r \cdot U_r^2 \cdot 3}$
Номинален ток на компонентите	$I_r = 2\pi f_r \cdot C \cdot U_r$	$I_r = 2\pi f_r \cdot C \cdot U_r / \sqrt{3}$	$I_r = 2\pi f_r \cdot C \cdot U_r$
Ток на линията	$I_l = I_r$	$I_l = I_r$	$I_l = I_r \cdot \sqrt{3}$

U_r = линейното напрежение на мрежата

За трифазните системи, захранени с една и съща реактивна мощност, при свързване тип „звезда“ е необходим кондензатор с три пъти по-голям капацитет от капацитета на кондензатора при свързване тип „триъгълник“.

Освен това кондензаторът при свързване тип „звезда“ е подложен на напрежение $\sqrt{3}$ пъти по-малко и ток $\sqrt{3}$ по-голям от кондензатора при свързване тип „триъгълник“.

Кондензаторите обикновено се доставят със свързани разрядни съпротивления, изчислени така, че да се намали остатъчното напрежение в изводите до 75V за 3 минути, както е указано в съответния стандарт.

4.2 Методи на корекция на фактора на мощността

Индивидуална корекция на фактора на мощността

Индивидуалната корекция на фактора на мощността се извършва чрез свързване на кондензатор с коректна стойност директно към клемите на устройството, което потребява реактивна мощност.

Инсталирането е просто и икономично: кондензаторите и товарът могат да използват обща защита от претоварване и късо съединение и се включват и изключват едновременно.

Коригирането на $\cos\varphi$ е постоянно и автоматично и носи полза не само за електроразпределителното дружество, но също така и за цялата вътрешна разпределителна система на потребителя.

Този вид корекция на фактора на мощността е препоръчителен за големи консуматори с постоянен товар и фактор на мощността включени за дълго време.

Индивидуалната корекция на фактора на мощността обикновено се прилага за двигатели и флуоресцентни лампи. Към товарите директно се свързват кондензаторни устройства или малки кондензатори.

4 Корекция на фактора на мощността

Индивидуална корекция на фактора на мощността за двигатели

Типичните схеми на свързване са показани в следващата фигура:

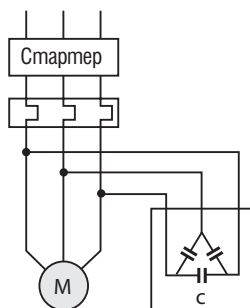


Схема 1

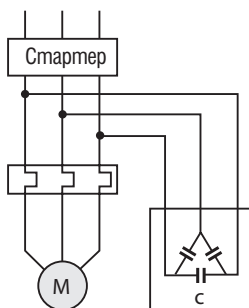


Схема 2

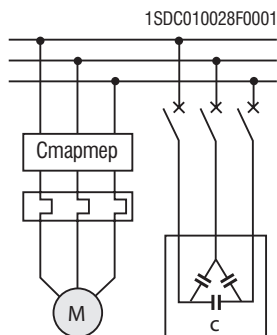


Схема 3

При директното свързване (схеми 1 и 2) съществува риск след прекъсване на захранването двигателят да продължи да се върти (остатъчна кинетична енергия) и да се самовъзбуди чрез реактивната енергия, доставена от кондензаторната батерия, действайки като асинхронен генератор. В този случай се поддържа напрежение на комутационното и управляващото устройство от страната на товара и има риск от опасни пренапрежения със стойности до два пъти по-големи от стойността на номиналното напрежение.

За да се избегне този риск, нормалната процедура в случая (схема 3) е кондензаторната батерия за корекция на фактора на мощността да се включва към двигателя само докато той работи и да се изключва преди прекъсването на захранването на двигателя.

Като общо правило се препоръчва за двигател с мощност P_r да се използва корекция на фактора на мощността с реактивна мощност Q_c под 90% от реактивната мощност Q_0 , изразходена от двигател без товар при номинално напрежение U_r за да се избегне изпреварващ фактор на мощността.

Отчитайки, че при условия без товар изразходваният ток I_0 [A] е чисто реактивен, получаваме:

$$Q_c = 0.9 \cdot Q_0 = 0.9 \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot U_r \cdot I_0}{1000} \text{ [kvar]} \quad (6)$$

Токът I_0 обикновено се намира от документацията, предоставена от производителя на двигателя.

4 Корекция на фактора на мощността

В Таблица 3 са показани стойностите на реактивната мощност за корекция на фактора на мощността на някои двигатели ABB в зависимост от мощността и броя на полюсите.

Таблица 3: Реактивна мощност за корекция на фактора на мощността двигатели

P _r [kW]	Q _c [kvar]	Преди корекцията		След корекцията	
		на фактора на мощността cosφ _r	I _r [A]	на фактора на мощността cosφ ₂	I ₂ [A]
400 V / 50 Hz / 2 полюса / 3000 об./мин.					
7.5	2.5	0.89	13.9	0.98	12.7
11	2.5	0.88	20	0.95	18.6
15	5	0.9	26.5	0.98	24.2
18.5	5	0.91	32	0.98	29.7
22	5	0.89	38.5	0.96	35.8
30	10	0.88	53	0.97	47.9
37	10	0.89	64	0.97	58.8
45	12.5	0.88	79	0.96	72.2
55	15	0.89	95	0.97	87.3
75	15	0.88	131	0.94	122.2
90	15	0.9	152	0.95	143.9
110	20	0.86	194	0.92	181.0
132	30	0.88	228	0.95	210.9
160	30	0.89	269	0.95	252.2
200	30	0.9	334	0.95	317.5
250	40	0.92	410	0.96	391.0
315	50	0.92	510	0.96	486.3
400 V / 50 Hz / 4 полюса / 1500 об./мин.					
7.5	2.5	0.86	14.2	0.96	12.7
11	5	0.81	21.5	0.96	18.2
15	5	0.84	28.5	0.95	25.3
18.5	7.5	0.84	35	0.96	30.5
22	10	0.83	41	0.97	35.1
30	15	0.83	56	0.98	47.5
37	15	0.84	68	0.97	59.1
45	20	0.83	83	0.97	71.1
55	20	0.86	98	0.97	86.9
75	20	0.86	135	0.95	122.8
90	20	0.87	158	0.94	145.9
110	30	0.87	192	0.96	174.8
132	40	0.87	232	0.96	209.6
160	40	0.86	282	0.94	257.4
200	50	0.86	351	0.94	320.2
250	50	0.87	430	0.94	399.4
315	60	0.87	545	0.93	507.9

4 Корекция на фактора на мощността

Пример

За трифазен асинхронен двигател, 110 kW (400 V – 50 Hz – 4 полюса), предложената в таблицата корекция на фактора на мощността е 30 kvar.

Индивидуална корекция на фактора на мощността за трифазни трансформатори

Трансформаторите са електрически устройства от особена важност, които поради системните изисквания често трябва да работят непрекъснато.

Препоръчително е особено в инсталации, съставени от няколко трансформаторни подстанции, да се извършва корекция на фактора на мощността директно на трансформатора.

По принцип добавената мощност за корекция на фактора на мощността Q_c на трансформатор с номинална мощност S_r [kVA] не бива да превишава реактивната мощност, необходима при условия на минимален референтен товар.

Използвайки стойностите от етикетите с номиналните данни на трансформатора, процентната стойност на тока без товар $I_0\%$, процентната стойност на напрежението на късо съединение $U_k\%$, загубите в желязото P_{fe} и загубите в медта P_{cu} [kW], необходимата мощност за корекция на фактора на мощността е приблизително:

$$Q_c = \sqrt{\left(\frac{I_0\%}{100} \cdot S_r\right)^2 - P_{fe}^2} + K_L^2 \cdot \sqrt{\left(\frac{U_k\%}{100} \cdot S_r\right)^2 - P_{cu}^2} \approx \left(\frac{I_0\%}{100} \cdot S_r\right) + K_L^2 \cdot \left(\frac{U_k\%}{100} \cdot S_r\right) \quad [\text{kvar}] \quad (7)$$

където K_L е коефициентът на натоварване, дефиниран като отношението между минималния референтен товар и номиналната мощност на трансформатора.

Пример

Необходима е корекция на фактора на мощността на маслен разпределителен трансформатор 630 kVA захранващ товар, който е по-малко от 60% от номиналната му мощност.

От табелката с номинални данни на трансформатора:

$$I_0\% = 1,8\%$$

$$U_k\% = 4\%$$

$$P_{cu} = 8,9 \text{ kW}$$

$$P_{fe} = 1,2 \text{ kW}$$

Мощността за корекция на фактора на мощността на кондензаторната батерия свързана към трансформатора е:

$$Q_c = \sqrt{\left(\frac{I_0\%}{100} \cdot S_r\right)^2 - P_{fe}^2} + K_L^2 \cdot \sqrt{\left(\frac{U_k\%}{100} \cdot S_r\right)^2 - P_{cu}^2} = \sqrt{\left(\frac{1,8\%}{100} \cdot 630\right)^2 - 1,2^2} + 0,6^2 \cdot \sqrt{\left(\frac{4\%}{100} \cdot 630\right)^2 - 8,9^2} = 19,8 \text{ kvar}$$

докато, използвайки опростената формула резултатът е:

$$Q_c = \left(\frac{I_0\%}{100} \cdot S_r\right) + K_L^2 \cdot \left(\frac{U_k\%}{100} \cdot S_r\right) = \left(\frac{1,8\%}{100} \cdot 630\right) + 0,6^2 \cdot \left(\frac{4\%}{100} \cdot 630\right) = 20,4 \text{ kvar}$$

4 Корекция на фактора на мощността

В Таблица 4 е показана реактивната мощност на кондензаторна батерия Qc [kvar], която трябва да се свърже към вторичната намотка на трансформатор АBB в съответствие с различните минимални предвиждани нива на товара.

Таблица 4: Реактивна мощност за корекция на фактора на мощността за трансформатори АBB

S _r [kVA]	u _k % [%]	I ₀ % [%]	P _{fe} [kW]	P _{cu} [kW]	Коефициент на натоварване KL				
					0	0.25	0.5	0.75	1
Маслен разпределителен трансформатор СрН - НН									
50	4	2.9	0.25	1.35	1.4	1.5	1.8	2.3	2.9
100	4	2.5	0.35	2.30	2.5	2.7	3.3	4.3	5.7
160	4	2.3	0.48	3.20	3.6	4	5	6.8	9.2
200	4	2.2	0.55	3.80	4.4	4.8	6.1	8.3	11
250	4	2.1	0.61	4.50	5.2	5.8	7.4	10	14
315	4	2	0.72	5.40	6.3	7	9.1	13	18
400	4	1.9	0.85	6.50	7.6	8.5	11	16	22
500	4	1.9	1.00	7.40	9.4	11	14	20	28
630	4	1.8	1.20	8.90	11	13	17	25	35
800	6	1.7	1.45	10.60	14	16	25	40	60
1000	6	1.6	1.75	13.00	16	20	31	49	74
1250	6	1.6	2.10	16.00	20	24	38	61	93
1600	6	1.5	2.80	18.00	24	30	47	77	118
2000	6	1.2	3.20	21.50	24	31	53	90	142
2500	6	1.1	3.70	24.00	27	37	64	111	175
3150	7	1.1	4.00	33.00	34	48	89	157	252
4000	7	1.4	4.80	38.00	56	73	125	212	333
Разпределителен трансформатор залят със смола СрН - НН									
100	6	2.3	0.50	1.70	2.2	2.6	3.7	5.5	8
160	6	2	0.65	2.40	3.1	3.7	5.5	8.4	12
200	6	1.9	0.85	2.90	3.7	4.4	6.6	10	15
250	6	1.8	0.95	3.30	4.4	5.3	8.1	13	19
315	6	1.7	1.05	4.20	5.3	6.4	9.9	16	24
400	6	1.5	1.20	4.80	5.9	7.3	12	19	29
500	6	1.4	1.45	5.80	6.8	8.7	14	23	36
630	6	1.3	1.60	7.00	8	10	17	29	45
800	6	1.1	1.94	8.20	8.6	12	20	35	56
1000	6	1	2.25	9.80	9.7	13	25	43	69
1250	6	0.9	3.30	13.00	11	15	29	52	85
1600	6	0.9	4.00	14.50	14	20	38	67	109
2000	6	0.8	4.60	15.50	15	23	45	82	134
2500	6	0.7	5.20	17.50	17	26	54	101	166
3150	8	0.6	6.00	19.00	18	34	81	159	269

Пример

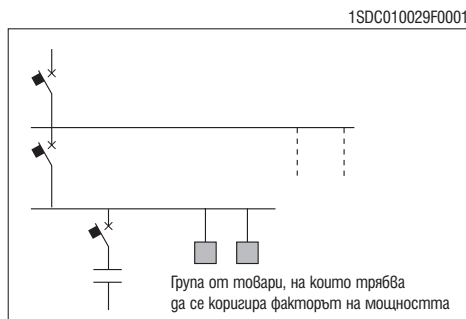
За маслен разпределителен трансформатор 630 kVA с коефициент на натоварване 0,5, необходимата мощност за корекция на фактора на мощността е 17 kvar.

4 Корекция на фактора на мощността

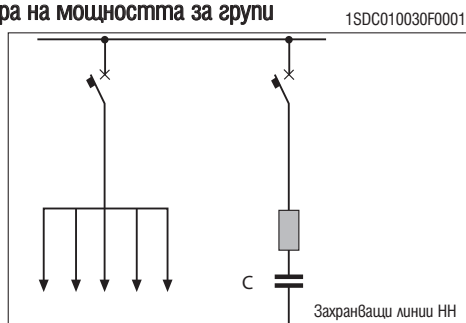
Корекция на фактора на мощността за групи

Тук се касае за локална корекция на фактора на мощността на група товари с подобни функционални характеристики чрез инсталиране на предназначена за това кондензаторна батерия.

С този метод се постига компромис между икономическото решение и правилната работа на инсталацията, тъй като линията в посока след точката на инсталиране на кондензаторната батерия не се експлоатира правилно.



Корекция на фактора на мощността за групи



Дневният профил на натоварване е от особена важност за избора на най-подходящия начин за корекция на фактора на мощността.

В инсталации, в които не всички товари функционират едновременно или само някои товари се включват за няколко часа дневно, решението за използване на индивидуална система за корекция на фактора на мощността се оказва неподходяща, тъй като много от инсталираните кондензатори биха могли да стоят неизползвани за дълги периоди от време.

За инсталации с голям брой товари и голяма инсталираната мощност, но пък при които средното консумиране на мощност от товарите работещи едновременно е ниско, използването на индивидуална система за корекция на фактора на мощността на инсталацията осигурява забележително намаляване на общата мощност на кондензаторите.

4 Корекция на фактора на мощността

Централизираната корекция на фактора на мощността обикновено използва автоматични устройства с кондензаторни батерии, разделени на няколко стъпала, директно инсталирани в главното разпределително устройство; използването на непрекъснато включена кондензаторна батерия е възможно само, ако изразходването на реактивна енергия е равномерно през геня.

Основният недостатък на централизираната корекция на фактора на мощността е, че разпределителните линии на инсталацията след устройството за корекция, трябва да бъдат оразмерени при отчитане на пълната реактивна мощност необходима за товарите.

4.3 Прекъсвачи за защита и превключване на кондензаторни батерии

Прекъсвачите за защита и превключване на кондензаторните батерии за НН трябва:

1. да издържат преходните токове, които възникват при включване и изключване на батериите. В частност моментните магнитни и електронни защитни блокове трябва да не изключват вследствие на тези върхови токове;

2. да издържат на периодични или постоянни свръхтокове вследствие на хармоници в напрежението и на толеранса (+15%) спрямо номиналната стойност на капацитета;

3. да изпълняват голям брой операции под товар и без товар, също така с голяма честота;

4. да са координирани с всички външни устройства (контактори).

Освен това, включвателната и изключвателната способност на прекъсвача трябва да съответства на стойностите на тока на късо съединение на инсталацията.

В стандарта IEC 60831-1 и 60931-1 е определено, че:

- кондензаторите трябва да функционират нормално с ефективна стойност на тока до 130% от техния номинален ток I_{rc} (поради възможно наличие на хармоници в мрежата);

- допустим е толеранс от +15% от стойността на капацитета.

Максималният ток, който може да бъде изразходен от кондензаторната батерия I_{cmax} , е:

$$I_{cmax} = 1.3 \cdot 1.15 \cdot \frac{Q_c}{\sqrt{3} \cdot U_r} \approx 1.5 \cdot I_{rc} \quad (8)$$

Затова:

- номиналният ток на прекъсвача трябва да бъде по-голям от $1.5 \cdot I_{rc}$;

- настройката за защита от претоварване трябва да бъде равна на $1.5 \cdot I_{rc}$.

Включването на кондензаторната батерия е подобно на операцията за пускане при условия на късо съединение, свързано е с преходни токове с висока честота ($1 \div 15$ kHz), с кратка продължителност ($1 \div 3$ ms) и с висока върхова стойност ($25 \div 200 I_{rc}$).

Затова:

- прекъсвачът трябва да има съответната включвателна способност;

- настройката на мигновата защита от късо съединение не трябва да причинява нежелателни изключвания.

4 Корекция на фактора на мощността

Второто условие се спазва най-общо:

• за защитните блокове от претоварване и к.с. (термомагнитни), защита от к.с. трябва да бъде настроена на стойност, не по-малка от $10 \cdot I_{\text{сmax}}$

$$I_3 \geq 10 \cdot I_{\text{сmax}} = 15 \cdot I_{\text{rc}} = 15 \cdot \frac{Q_{\text{r}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{r}}} \quad (9)$$

• за електронни защитни блокове мигновената защита от късо съединение трябва да бъде деактивирана ($I_3 = \text{OFF}$).

По-надолу е дадена таблица за избиране на прекъсвачи: за определяне на вида в зависимост от необходимата изключвателна способност.

В таблиците са използвани следните символи (те се отнасят за максималните стойности):

- I_{ncb} = номинален ток на защитния блок [A];
- I_{rc} = номинален ток на включената кондензаторна батерия [A];
- Q_{c} = мощност на кондензаторната батерия, която може да бъде включена [kvar] при указаното

напрежение и честота 50 Hz;

- N_{mech} = брой на механичните операции;

- f_{mech} = честота на механичните операции [операции/час];

- N_{el} = брой на електрическите операции при напрежение 415 V за прекъсвачи в лят корпус Tmax (Таблица 5), и за напрежение 440 V за прекъсвачи Emax (Таблица 6);

- f_{el} = честота на електрическите операции [операции/час].

Таблица 5: Таблица за избор на прекъсвачи в лят корпус Tmax

CB Type	I_{ncb}	I_{rc}	Q_{c} [kvar]				N_{mech}	f_{mech}	N_{el}	f_{el}
	[A]	[A]	400V	440V	500V	690V		[op/h]		[op/h]
T1 B-C-N 160	160	107	74	81	92	127	25000	240	8000	120
T2 N-S-H-L 160*	160	107	74	81	92	127	25000	240	8000	120
T3 N-S 250*	250	166	115	127	144	199	25000	240	8000	120
T4 N-S-H-L-V 250	250	166	115	127	144	199	20000	240	8000	120
T4 N-S-H-L-V 320	320	212	147	162	184	254	20000	240	6000	120
T5 N-S-H-L-V 400	400	267	185	203	231	319	20000	120	7000	60
T6 N-S-H-L-V 630	630	421	291	302	364	502	20000	120	7000	60
T6 N-S-H-L 800	800	533	369	406	461	637	20000	120	5000	60
T7 S-H-L 1000	1000	666	461	507	576	795	10000	60	2000	60
T7 S-H-L 1250	1250	833	577	634	721	994	10000	60	2000	60
T7 S-H-L- 1600	1600	1067	739	813	924	1275	10000	60	2000	60

* за версии с щепселно свързване максималната мощност на кондензаторната батерия се намалява с 10%

4 Корекция на фактора на мощността

Таблица 6: Таблица за избор на въздушни прекъсвачи SACE Emax

CB Type	I_{nCB}	I_{rc}	Q_C [kvar]				N_{mech}	f_{mech}	N_{el}	f_{el}
	(A)	(A)	400V	440V	500V	690V		(op/h)		(op/h)
X1 B-N	630	421	291	320	364	502	12500	60	6000	30
X1 B-N	800	533	369	406	461	637	12500	60	6000	30
X1 B-N	1000	666	461	507	576	795	12500	60	4000	30
X1 B-N	1250	834	578	636	722	997	12500	60	4000	30
X1 B-N	1600	1067	739	813	924	1275	12500	60	3000	30
E1 B N	800	533	369	406	461	637	25000	60	10000	30
E1 B N	1000	666	461	507	576	795	25000	60	10000	30
E1 B N	1250	834	578	636	722	997	25000	60	10000	30
E1 B N	1600	1067	739	813	924	1275	25000	60	10000	30
E2 B-N-S	800	533	369	406	461	637	25000	60	15000	30
E2 B-N-S	1000	666	461	507	576	795	25000	60	15000	30
E2 B-N-S	1250	834	578	636	722	997	25000	60	15000	30
E2 B-N-S	1600	1067	739	813	924	1275	25000	60	12000	30
E2 B-N-S	2000	1334	924	1017	1155	1594	25000	60	10000	30
E3 N-S-H-V	800	533	369	406	461	637	20000	60	12000	20
E3 N-S-H-V	1000	666	461	507	576	795	20000	60	12000	20
E3 N-S-H-V	250	834	578	636	722	997	20000	60	12000	20
E3 N-S-H-V	1600	1067	739	813	924	1275	20000	60	10000	20
E3 N-S-H-V	2000	1334	924	1017	1155	1594	20000	60	9000	20
E3 N-S-H-V	2500	1667	1155	1270	1444	1992	20000	60	8000	20
E3 N-S-H-V	3200	2134	1478	1626	1848	2550	20000	60	6000	20
E4 S-H-V	3200	2134	1478	1626	1848	2550	15000	60	7000	10
E6 H-V	3200	2134	1478	1626	1848	2550	12000	60	5000	10

5 Защита на хората

5.1 Общи положения: въздействие на електрическия ток върху човека

Контактът на хора с обекти под напрежение представлява опасност поради протичане на електрически ток през човешкото тяло. Въздействията са следните:

- **тетанизация:** поразените от протичащия ток мускули се свиват неконтролируемо и отделянето от токопроводящи части е трудно. Забележка: много високия ток обикновено не предизвиква мускулни спазми, тъй като когато тялото докосне такъв ток, свиването на мускулите е толкова силно, че най-често изхвърлят човека далеч от проводящата част;

- **спиране на дихателната дейност:** ако токът протича през мускулите, които контролират белите дробове, неволните контракции на тези мускули влияят на нормалния респираторен процес и засегнатият човек може да умре вследствие на задушаване или да получи увреждания, причинени от асфиксията;

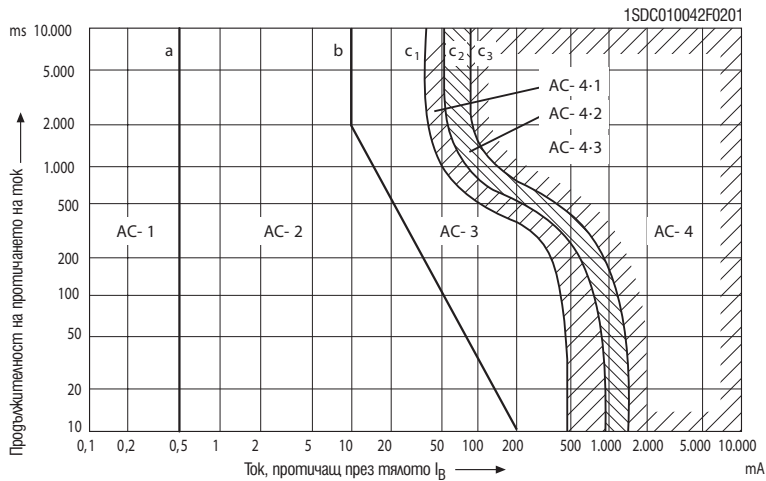
- **вентрикуларни фибрилации:** най-опасният ефект се причинява от наслагването на външните токове с физиологическите, което води до генериране на неконтролируеми контракции и причинява промени в сърдечния цикъл. Тази аномалия може да се превърне в необратимо явление, тъй като тя продължава действието си и след отстраняване на причинителя;

- **изгаряния:** дължат се на нагряването, в следствие на ефекта на Джаул от преминаващия през човешкото тяло ток.

Стандартът IEC 60479-1 "Ефекти на електрическия ток върху хората и животните" е ръководство за въздействията на тока, преминаващ през човешкото тяло, което трябва да се използва при определяне на изискванията за електрическа безопасност. Чрез „време–токовата“ диаграма Стандартът показва четирите зони, в които са разделени физиологическите въздействия от променлив ток (15 до 100 Hz), преминаващ през човешкото тяло.

5 Защита на хората

Фигура 1: Зони в графиката време-ток на въздействието на променливия ток върху човешкото тяло



Означение на зоната	Граници на зоната	Физиологическо въздействие
AC-1	До 0,5 mA крива a	Обикновено няма реакция.
AC-2	0,5 mA до крива b*	Обикновено няма вредно физиологическо въздействие.
AC-3	от крива b до крива c ₁	Обикновено не се очаква увреждане на органите. Вероятност за мускулни контракции, подобни на спазми и затруднение в дишането при протичане на ток за повече от 2 секунди. Обратими смущения от образуване и провеждане на импулси в сърцето, включително предсърдно мъждене и преходно спиране на сърдечната дейност без камерни фибрилации, увеличават се с нарастване на тока и продължителността.
AC-4	над крива c ₁	Освен описаните за зона 3 могат да настъпят и нарастващи с големината на тока и времето опасни физиологични въздействия като спиране на сърдечната дейност, спиране на дихателната дейност и тежки изгаряния.
AC-4.1	c ₁ - c ₂	Вероятност от камерни фибрилации, нарастващи до около 5%.
AC-4.2	c ₂ - c ₃	Вероятност от камерни фибрилации до около 50%.
AC-4.3	над крива c ₃	Вероятност от камерни фибрилации над 50%.

* продължителност на протичането на ток под 10 ms, границата за тока през човешкото тяло за крива b остава константна със стойност 200 mA.

В този стандарт се съдържа също така и съответна диаграма за постоянен ток.

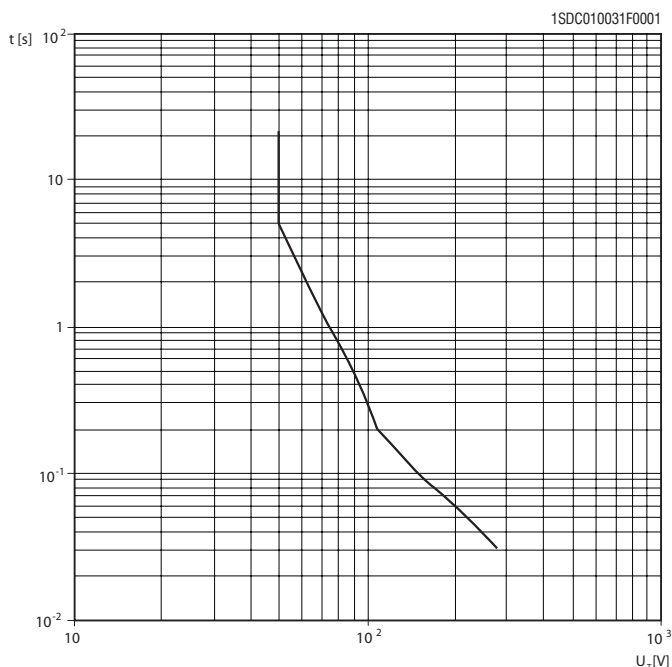
Чрез прилагане на закона на Ом е възможно да се определи крива на безопасност за допустимите напрежения, след като се изчисли импеданса на човешкото тяло. Електрическият импеданс на човешкото тяло зависи от много фактори. В цитирания по-горе стандарт са дадени различни стойности на импеданса като функция на допирното напрежение и пътя на тока.

5 Защита на хората

В стандарта IEC 60479-1 са приети благоприятни от гледна точка на сигурността стойности за импеданса, показани на диаграмата, така че да се получи кривата на безопасност „време-напрежение“ (Фигура 2). Тя се отнася за напрежението на допир U_T (т.е. напрежението, което се получава в следствие на повреда в изолацията, между проводяща част и достатъчно отдалечена точка от земята с нулев потенциал).

Това е максималната стойност на напрежението на допир без товар; така е разгледана възможно най-неблагоприятната ситуация за постигане на максимална безопасност.

Фигура 2: Характеристика на безопасност



От характеристиката на безопасност се получава, че за всички стойности на напрежението под 50 V допустимото време е безкрайно дълго; при 50 V допустимото време е 5 секунди. Кривата, показана на фигурата, се отнася за местоположения с най-често срещаните случаи; на някои местоположения съпротивлението на допир на човешкото тяло спрямо земята се променя и в резултат стойностите на допустимото напрежение за безкрайно време трябва да бъдат по-ниски от 25 V.

Поради това, че защитата от индиректен контакт се осъществява чрез прекъсване на веригата, е необходимо да се осигури това действие да се извърши в съответствие с изискванията за безопасност на разпределителната система.

5 Защита на хората

5.2 Типове разпределителни мрежи

Разновидностите на земните съединения и последствията от контакта с части под напрежение са тясно зависими от разположението на неутралния проводник и на достъпните проводящи части.

За да се избере правилно защитното устройство е необходимо да се знае какъв тип е разпределителната мрежа (система) на инсталацията.

В IEC 60364-1 разпределителните системи са класифицирани с две букви.

Първата буква съответства на свързването на електрическата система към земята:

- T: директно свързване на една точка към земята, в променливотокови системи най-често неутралната точка;
- I: всички части под напрежение са изолирани от земята, в променливотокови системи най-често неутралната точка се свързва към земята чрез импеданс.

Втората буква съответства на свързването на достъпните токопроводящи части на инсталацията към земята:

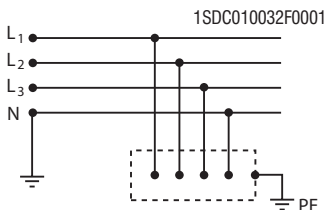
- T: директно свързване на достъпните токопроводящи части към земята;
- N: директно свързване на достъпните токопроводящи части към заземената точка на електрическата система.

Следващите букви, ако има такива, съответстват на изпълнението на неутралния и защитния проводник:

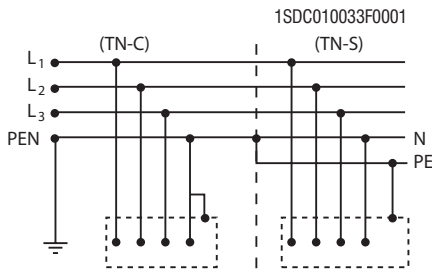
- S: защитната функция е реализирана чрез проводник, различен от неутралния;
- C: функцията на неутралата и защитния проводник са комбинирани в един проводник (PEN проводник).

Разгледани са три типа разпределителни мрежи:

TT система

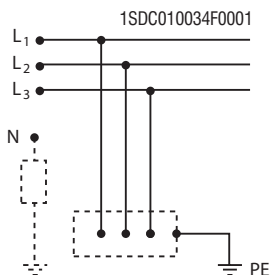


TN система



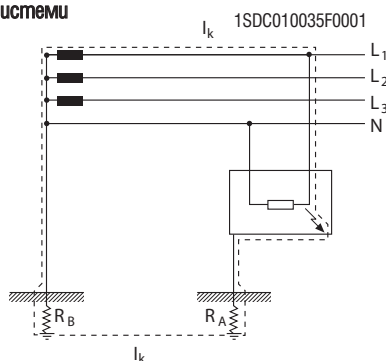
5 Защита на хората

TT система



В **TT** мрежите неутралният проводник и достъпните проводящи части са свързани електрически независимо към заземителните електроди; токът на повреда протича към неутралната точка на електрическата система през земята (Фигура 1):

Фигура 1: Земно съединение в TT системи



В **TT** инсталациите неутралният проводник е свързан към звездния център на захранването и обикновено формира фазовото напрежение (230 V) за еднофазовите товари. Достъпните токопроводящи части поотделно или заедно са локално свързани към земята.

TT системите обикновено се използват за инсталации на граждански обекти.

TN мрежите обикновено се използват, когато електрозахранването е разпределено към консуматори, които имат свои собствени подстанции. Неутралният проводник е директно заземен в подстанцията; достъпните токопроводящи части са свързани към същата точка на заземяване на неутралния проводник, а могат да бъдат и локално заземени.

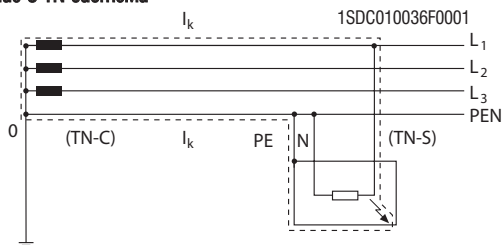
В зависимост от схемата на неутралния и защитния проводник се разглеждат три вида **TN** системи:

1. **TN-C** неутралната и защитната функция са комбинирани в един проводник (PEN проводник);
2. **TN-S** неутралната и защитната функция са винаги отделно;
3. **TN-C-S** неутралната и защитната функция са комбинирани в един проводник в част от системата (PEN) и са отделно в останалата част (PE + N).

5 Защита на хората

В **TN** системите токът на повреда протича към неутралната точка на електрическата система през твърда метална връзка, на практика без използване на заземителния електрод (Фигура 2).

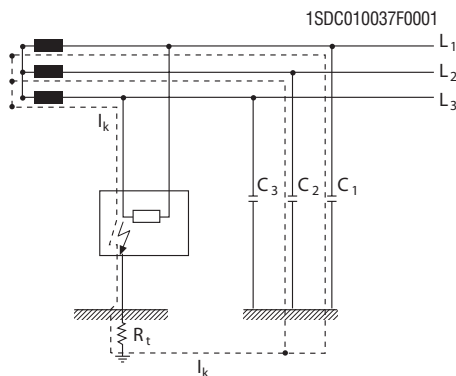
Фигура 2: Земно съединение в TN системи



IT системите нямат части под напрежение свързани директно към земята, но те могат да бъдат заземени чрез достатъчно голям импеданс. Достъпните токопроводящи части трябва да бъдат заземени поотделно, в групи или общо към независим заземителен електрод.

Токът на земното съединение протича към неутралната точка на електрическата система през заземителния електрод и капацитета на линейния проводник (Фигура 3).

Фигура 3: Земно съединение в IT системи



Тези разпределителни системи се използват за специални инсталации, при които непрекъснатостта на захранването е фундаментално изискване, където прекъсване в захранването може да причини опасност за хората или значителни икономически загуби, или където се изисква ниска стойност на първото земно съединение. В тези случаи трябва да се осигури устройство за мониторинг на изолацията или акустична сигнализация за възможни земни съединения или дефектиране на захранването оборудване.

5 Защита на хората

5.3 Защита от директен и от индиректен контакт

Контактите на човек с части под напрежение могат да се разделят на две категории:

- директни контакти;
- индиректни контакти.

При директен контакт част от човешкото тяло докосва част от инсталацията, която нормално е под напрежение (неизолирани проводници, клеми и др.).

При индиректен контакт част от човешкото тяло докосва достъпна проводяща част, която при нормални условия не е под напрежение, но в конкретния момент е под напрежение поради повреда или износване на изолационните материали.

Средствата за защита от **директен контакт** са:

- изолиране на частите под напрежение с изолационен материал, който може да се отстрани само с разрушаване или разкъсване (например изолация на кабел);
- бариери или корпуси: частите под напрежение трябва да бъдат инсталирани в корпуси или зад бариери, осигуряващи клас на защита поне IPXXD или IP2X
- препятствия: разполагането на препятствия между частите под напрежение и оператора предотвратяват само неволен контакт, но не и преднамерен след отстраняване на препятствието без специални инструменти;
- изнасяне извън обсега: едновременно достъпни части под различен потенциал не бива да бъдат в обсега на достигане с ръце.

Допълнителна защита срещу директен контакт може да се постигне чрез използване на дефектнотокови защиты (ДТЗ) с номинален работен остатъчен ток непревишаващ 30 mA. Трябва да се помни, че използването ДТЗ като средство за защита от директен контакт не замества необходимостта от прилагане на едно от гореописаните средства за защита.

Средствата за защита от **индиректен контакт** са:

- автоматично изключване на захранването: защитно устройство трябва да изключва захранването към веригата автоматично, така че допирът до частта под напрежение да не продължава толкова дълго, че да причини риск от вредно физиологическо въздействие за хората;
- допълнителна изолация или подсилена изолация, например чрез използване на компоненти от клас II;

5 Защита на хората

- непроводящи места: изолирани подове и стени със стойности на съпротивление $>50\text{ k}\Omega$ за $U_i \leq 500\text{ V}$; $>100\text{ k}\Omega$ за $U_i > 500\text{ V}$ и без защитни проводници вътре;
- електрическо отделяне, например чрез използване на изолиращ трансформатор за захранване на веригата;
- незаземено локално еквипотенциално свързване: места, където достъпните проводящи части са свързани заедно, но не са заземени.

И накрая, следните мерки осигуряват комбинирана защита от директен и индиректен контакт:

- SELV (Safety Extra Low Voltage – безопасно свръхниско напрежение) система и PELV (Protective Extra Low Voltage – защитено свръхниско напрежение) система;
- FELV (Functional Extra Low Voltage – функционално свръхниско напрежение) система.

Защитата от директен и индиректен контакт е осигурена, ако са изпълнени изискванията, определени в 411 от IEC 60364-4-41; в частност:

- номиналното напрежение не трябва да превишава 50 V променлив ток средноквадратична стойност и 120 V постоянен ток без пулсации;
- захранването трябва да бъде от SELV или PELV източник;
- трябва да са изпълнени всички изисквания за инсталацията, определени за такъв тип електрически вериги.

SELV веригите имат следните характеристики:

- 1) Захранват се от независим източник или от безопасен източник. Независими източници са батериите или дизеловите генератори. Безопасни източници са захранванията, получени чрез изолиращ трансформатор;
- 2) Нямаат точки на заземяване. Забранено е заземяването както на достъпните проводящи части, така и на частите под напрежение на SELV веригите;
- 3) Трябва да бъдат отделени от другите електрически системи. Отделянето на SELV веригите от другите вериги трябва да бъде гарантирано за всички компоненти; за тази цел проводниците на SELV веригите могат да бъдат част от многожилни кабели или могат да бъдат в допълнителна изолационна обвивка.

За PELV системите се изискват същите предписания както за SELV с изключение на забраната за заземените точки; действително, в PELV веригите винаги поне една точка е заземена.

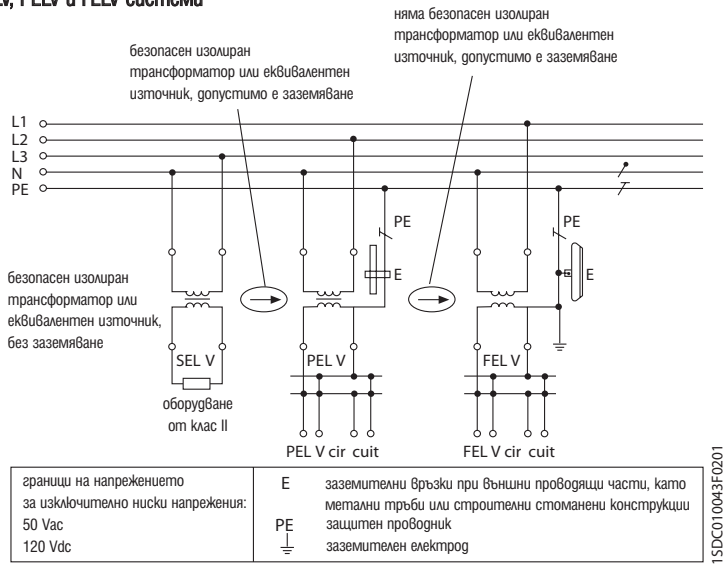
5 Защита на хората

FELV вериги се използват, когато поради функционални причини изискванията за SELV или PELV вериги не могат да бъдат изпълнени; те изискват изпълнение на следните правила:

- а) Трябва да бъде осигурена защита от директен контакт чрез:
 - бариери или корпуси със степен на защита в съответствие с описаното по-горе (в мерките за защита от директен контакт);
 - изолация, съответстваща на минималното тестово напрежение, определено за първичната верига. Ако не е правено такова изпитване, изолацията на достъпните непроводящи части на оборудването трябва да бъде подсилена по време на монтажа, така че да издържа тестово напрежение от 1500 Vac средноквадратична стойност в продължение на 1 минута;
- б) Трябва да бъде осигурена защита от индиректен контакт чрез:
 - свързване на достъпните проводящи части на оборудването на FELV системата към защитния проводник на първичната верига, при условие, че той е защитен чрез някоя от мерките описани в защитата от директен контакт;
 - свързване на проводник под напрежение от FELV веригата към защитния проводник на първичната верига, при условие, че като защитна мярка е осигурено автоматично прекъсване на захранването;
- в) Щепселите на FELV системите трябва да не могат да влизат в гнездата на контактите на мрежи с други напрежения, и щепселите на мрежи с други напрежения трябва да не могат да влизат в гнездата на контактите на FELV системите.

На Фигура 1 са показани основните характеристики на SELV, PELV и FELV системите.

Фигура 1: SELV, PELV и FELV системи



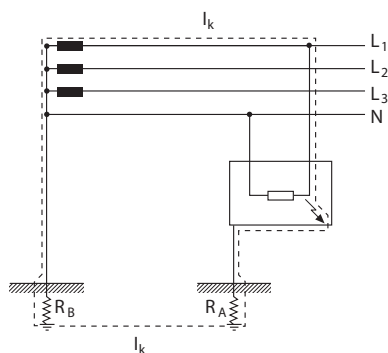
ЗАБЕЛЕЖКА 1: На тази фигура не са показани устройства за защита от надноминален ток.

5 Защита на хората

5.4 ТТ разпределителни мрежи

На Фигура 1 е показана веригата на една ТТ система със земно съединение:

Фигура 1: Земно съединение в ТТ система



1SDC010035F0001

Токът на повреда засяга вторичната намотка на трансформатора, фазовия проводник, съпротивлението на повреда, защитния проводник и съпротивлението на заземителния електрод (заземителна система на инсталацията (R_A) и заземителна система, в която неутралата е свързана към (R_B)).

Съгласно изискванията на IEC 60364-4 защитните устройства трябва да бъдат координирани със заземителната система, за да може бързо да се изключи захранването, ако напрежението на допир достигне вредящи на човешкото тяло стойности.

Приемайки 50 V (25 V за определени места) за гранична стойност на напрежението, условието, което трябва да бъде изпълнено, за да се ограничи напрежението на достъпните проводящи части под тази гранична стойност, е:

$$R_t \leq \frac{50}{I_a} \quad \text{или} \quad R_t \leq \frac{50}{I_{\Delta n}}$$

където:

R_t е общото съпротивление, равно на сумата от съпротивленията на заземителния електрод (R_A) и защитния проводник за достъпните проводящи части [Ω];

I_a е токът, който до 5 секунди задейства автоматично операцията по отваряне устройството за защита от наднормален ток, отчетен от кривата му на изключване [A];

$I_{\Delta n}$ е номиналният остатъчен работен ток до 1 секунда на прекъсвача [A].

5 Защита на хората

От горното се вижда, че стойността R_t съществено се различава, когато се използват автоматични прекъсвачи вместо дефектнотокови защиты.

Действително, при първите е необходимо да се получат много ниски стойности на заземителното съпротивление (обикновено по-ниски от 1Ω), тъй като за повреди, които продължават 5 секунди, токът на изключване обикновено е голям, докато при вторите е възможно да се реализират заземителни системи със стойности на съпротивлението от хиляди омове, което е по-лесно за изпълнение.

В Таблица 1 са показани максималните стойности на земното съпротивление, което може да се получи чрез дефектнотокови защиты, за относително стандартни местоположения (50 V):

Таблица 1: Стойности на земното съпротивление

$I_{\Delta n}$ [A]	R_t [Ω]
0.01	5000
0.03	1666
0.1	500
0.3	166
0.5	100
3	16
10	5
30	1.6

Пример:

Да се осигури защита чрез автоматичен прекъсвач Tmax T1B160 In125, за който стойността на тока на изключване за по-малко от 5 секунди, отчетена от характеристиката на изключване, е около 750 A, при стартиране от студено състояние (най-лошият случай за защитите от претоварване и k.c.).

Така:

$$R_t \leq \frac{50}{750} = 0.06 \Omega$$

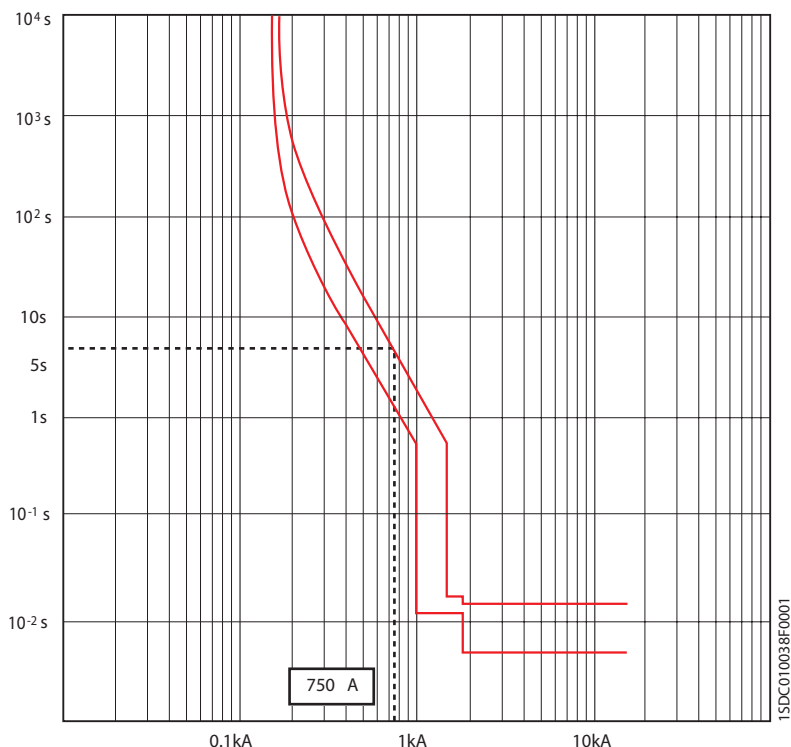
За да се осигури изискваната защита, трябва да се изгради заземителна система със заземително съпротивление $R_t \leq 0,06 \Omega$, стойност, която не се получава лесно.

Обратно, при използване на същия прекъсвач с монтиран защитен блок за остатъчен ток RC221 на ABB SACE с номинален остатъчен работен ток $I_{\Delta n} = 0,03$ A, необходимата стойност на заземителното съпротивление е:

$$R_t \leq \frac{50}{0.03} = 1666.6 \Omega$$

която лесно може да се получи практически.

5 Защита на хората



В електрически инсталации с обща заземителна система и товари, защитени чрез устройства с различни токове на изключване, за постигане на координирани на всички товари със заземителната система трябва да се разгледа най-лошият случай, като се вземе устройството с най-висок ток на изключване.

В следствие на това, когато няколко захранващи линии имат устройства за защита от свръхток, а други – от остатъчен ток, всички предимства, произтичащи от използването на защитните блокове за остатъчен ток се анулират. Това е така, защото R_t трябва да се изчисли на базата $I_{\Delta S}$ на устройството за защита от свръхток, тъй като той е по-големият ток на изключване за тези два вида устройства.

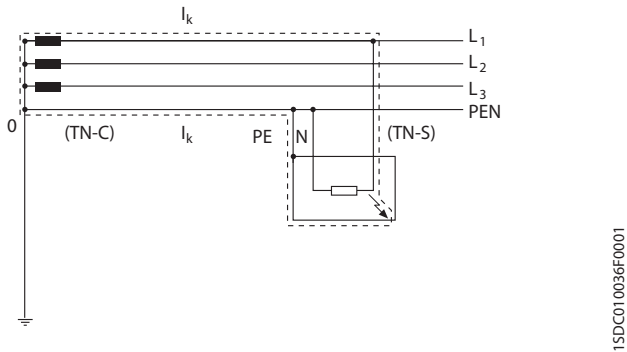
Затова се препоръчва защитата на всички товари в ТТ системите да се реализира чрез прекъсвачи за остатъчен ток – дефектнотокови защиты, координирани със заземителната система. Така може да се използват предимствата както от бързото прекъсване на веригата при възникне на повреда, така и от лесното изпълнение на заземителната система

5 Защита на хората

5.5 TN разпределителни мрежи

На Фигура 1 е показана веригата на една TN система със земно съединение:

Фигура 1: Земно съединение в TN системa



Контурът на повредата не засяга заземителната система и обикновено се образува от последователното свързване на фазовия и защитния проводник. За осигуряване на защита с автоматично прекъсване на веригата, съгласно предписанията на IEC 60364-4, трябва да бъде изпълнено следното условие:

$$Z_s \cdot I_a \leq U_0$$

където

Z_s е импедансът на веригата на повредата, обхващаща източника, проводника под напрежение до точката на повредата и защитния проводник между точката на повредата и източника [Ω];

U_0 е номиналното средноквадратично променливо напрежение спрямо земята [V];

I_a е токът, задействащ автоматичното изключващото защитно устройство в рамките на времето, указано в Таблица 1, като функция на номиналното напрежение U_0 . За разпределителните вериги е допустимо конвенционално време на изключване непревишаващо 5 секунди, [A]; ако защитата е реализирана чрез дефектнотоккови устройства, I_a е номиналният остатъчен работен ток $I_{\Delta n}$.

Таблица 1: Максимални времена на изключване за TN системи

U_0 [V]	Време на изключване [s]
120	0.8
230	0.4
400	0.2
> 400	0.1

5 Защита на хората

В TN инсталации земното съединение с нисък импеданс, което възниква от страна НН, причинява ток на късо съединение с доста висока стойност поради ниските параметри на веригата в точката на повредата. Защитата от индиректен контакт може да се реализира с автоматичен прекъсвач: необходимо е да се провери, дали работният ток в определеното време е по-нисък от тока на късо съединение.

Използването на дефектнотокови защити подобрява условията за защита, особено когато импеданса на повредата не е с ниска стойност, ограничавайки по този начин тока на късо съединение; този ток може да се задържи за доста дълго време като причини прегряване на проводниците и риск от пожар.

И накрая, важно е да се подчертае факта, че дефектнотоковите защити не могат да се използват в TN-C системи, тъй като там неутралната и защитната функция се изпълняват от един проводник, вследствие на тази конфигурация дефектнотоковата защита не може да работи.

Пример:

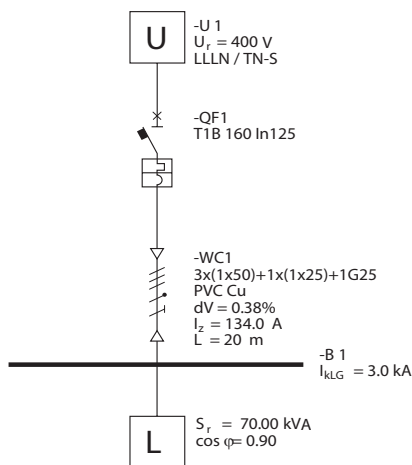
В инсталацията, представена на Фигура 2, токът на земно съединение е:

$$I_{kLG} = 3 \text{ kA}$$

Номиналното напрежение спрямо земята е 230 V, следователно, съгласно Таблица 1, трябва да се провери, че:

$$I_a (0.4 \text{ s}) \leq \frac{U_0}{Z_s} = I_{kLG} = 3 \text{ kA}$$

Фигура 2

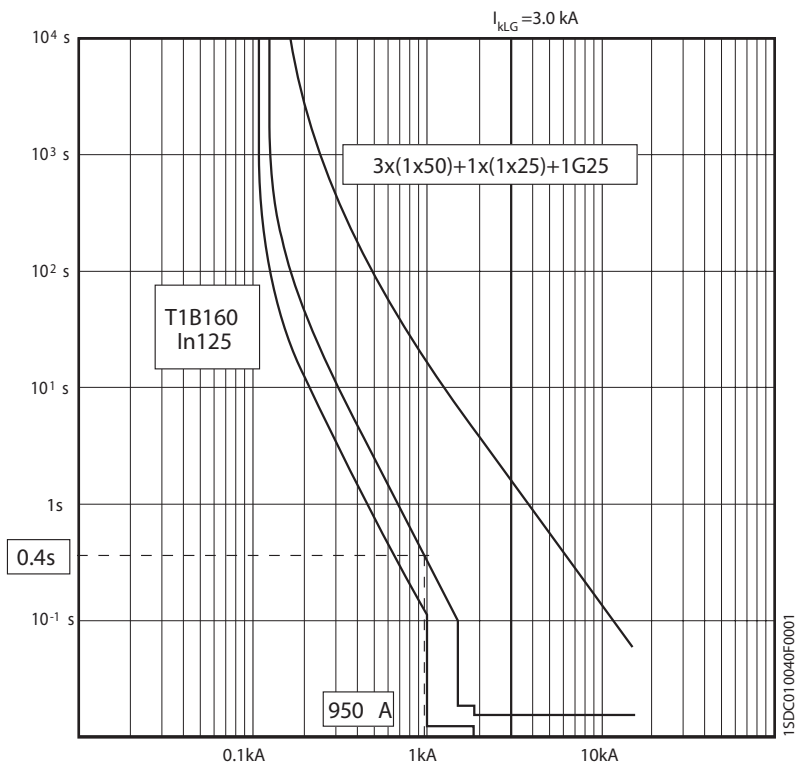


15DC010039F0001

5 Защита на хората

От характеристиката на изключване (Фигура 3) е ясно, че прекъсвачът изключва до 0,4 секунди за стойност на тока, по-ниска от 950 A. В резултат на това, защитата от индиректен контакт се осигурява от същия прекъсвач, който реализира защита на кабела от късо съединение и претоварване, без да е необходимо да се използва допълнителна дефектнотокова защита.

Фигура 3: LG времетокови криви на изключване

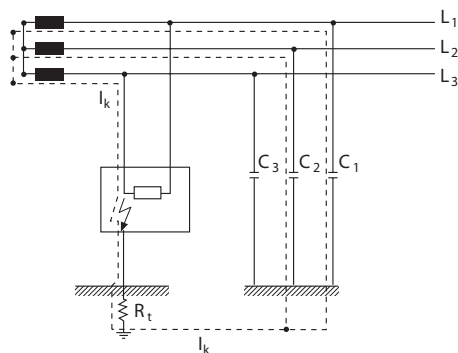


5 Защита на хората

5.6 IT разпределителна мрежа

Както е показано на Фигура 1, токът на земно съединение в IT системите протича през капацитета на линейния проводник до неутралната точка на електрическото захранване. По тази причина първото земно съединение се характеризира с толкова ниска стойност на тока, че защитите от свръхток не могат да изключат; произтичащото от допир напрежение е много ниско.

Фигура 1: Земно съединение в IT съединение



1SDC010037F0001

Съгласно IEC 60364-4 автоматичното прекъсване на веригата в случай на първо земно съединение не е необходимо, само ако е изпълнено следното условие:

$$R_t \cdot I_d \leq U_L$$

където:

R_t е съпротивлението на заземителния електрод за достъпните проводящи части [Ω];

I_d е токът на повреда, при първата повреда импедансът между фазовия проводник и достъпна проводяща част е пренебрежим [A];

U_L е 50 V за относително стандартни местоположения (25 V за специални).

Ако това условие е изпълнено, след първата повреда напрежението при докосване на достъпните проводящи части е по-ниско от 50 V, допустимо за човешкото тяло за безкрайно време, както се вижда от характеристиката на безопасност (виж Глава 5.1 "Общи положения: Въздействие на електрическия ток хората").

В IT системите трябва да бъде осигурено устройство за мониторинг на izolацията за индикация на

5 Защита на хората

възникване на първото земно съединение; в случай на втора повреда, захранването трябва да бъде прекъснато съгласно следните варианти:

- а) когато достъпните проводящи части са заземени в групи или индивидуално, условията за защита са същите както при ТТ системите (вижте Глава 5.4 “ТТ системи”);
- б) когато достъпните проводящи части са свързани със защитен проводник и заземени общо, в сила са условията за TN системи; в частност, трябва да са изпълнени следните условия:
без наличие на неутралата:

$$Z_s \leq \frac{U_r}{2 \cdot I_a}$$

при наличие на неутралата:

$$Z'_s \leq \frac{U_0}{2 \cdot I_a}$$

където:

- U_0 е номиналното напрежение между фаза и неутрала [V];
- U_r е номиналното напрежение между фазите [V];
- Z_s е импедансът на контура на повреда, обхващаща фазовия и защитния проводник на веригата [Ω];
- Z'_s е импедансът на контура на повреда, обхващаща неутралния и защитния проводник на веригата [Ω];
- I_a е работният ток на защитното устройство в рамките на времето на изключване, определено в Таблица 1, или в рамките на 5 секунди за разпределителни мрежи.

Таблица 1: Максимални времена на изключване в IT системи

Номинално напрежение U_0/U_r [V]	Време на изключване [s]	
	Без неутрала	С неутрала
120/240	0.8	5
230/400	0.4	0.8
400/690	0.2	0.4
580/1000	0.1	0.2

В IEC 60364-4 е определено, че ако споменатите в точка б) изисквания не могат да бъдат изпълнени чрез устройство за защита от свръхток, трябва на всеки захранван товар да се осигури защита чрез устройство за остатъчен ток.

Големината на устройството за защита от остатъчен ток трябва да бъде избрана внимателно, за да се избегне нежелано изключване, дължащо се и на конкретния път на тока на първата повреда през капацитета на линейния проводник до неутралната точка на електрическото захранване (вместо линията с повреда при по-висока стойност на тока на повреда е възможно да бъде засегната друга изправна линия с по-висок капацитет).

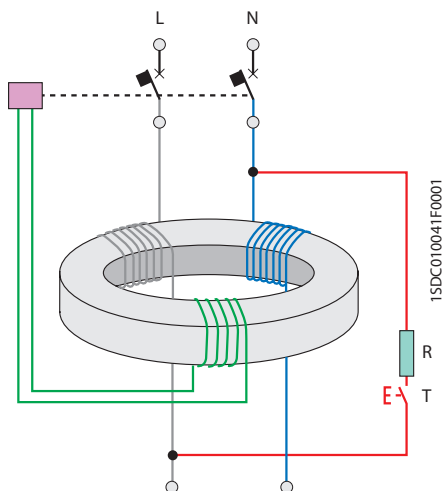
5 Защита на хората

5.7 Дефектнотоккови защиты

Общи характеристики на дефектнотокковите защиты

Принципът на действие на дефектнотокковите защиты или защитните блокове за остатъчен ток е установяването на ток на земно съединение чрез тороиден трансформатор, който обхваща всички токопроводящи проводници, включително и неутралата, ако я има.

Фигура 1: Принцип на действие на дефектнотокковата защита



Когато няма земно съединение, векторната сума на токовете I_{Δ} е равна на нула. В случай на земно съединение, ако стойността на I_{Δ} надвиши номиналния работен остатъчен ток $I_{\Delta n}$, веригата на вторичната страна на тороида изпраща команден сигнал до специално предназначена за това изключваща bobина, която предизвиква изключването на прекъсвача.

Можем да направим класификация на дефектнотокковите защиты според типа на тока на повреда, който те могат да установят:

- тип AC: осигуряват изключване за остатъчни синусоидални променливи токове, независимо дали са внезапно възникващи или бавно нарастващи;

- тип A: осигуряват изключване за остатъчни синусоидални променливи токове и остатъчни пулсиращи постоянни токове, независимо дали са внезапно възникващи или бавно нарастващи;

- тип B: осигуряват изключване за остатъчни синусоидални променливи токове, за остатъчни постоянни токове и остатъчни пулсиращи постоянни токове, независимо дали са внезапно възникващи или бавно нарастващи.

Друга класификация според работното време-закъснение е:

- без закъснение;

- със закъснение от S-тип

5 Защита на хората

Дефектнотоковите защиты могат да бъдат свързани или не и с други устройства; възможно е да се направи следното разграничаване:

- RCCB – чиста дефектнотокова защита : те имат защитен блок само за остатъчен ток и могат да реализират защита само от земно съединение. Те трябва да бъдат свързани със защита от претоварване и к.с. (термомагнитни прекъсвачи) или стопяеми предпазители за да се реализира защита от термични и динамични натоварвания;
- RCBO – дефектнотокова защита, комбинирана със защита от надноминален ток (свръхток): те представляват комбинация на защита от претоварване и к.с. и дефектнотокова защита; поради тази причина те осъществяват защита както срещу свръхток, така и срещу ток на земно съединение;
- Дефектнотокова защита с външен тороид: те се използват в промишлени инсталации с високи токове. Съставени са от защитен блок, свързан с външен тороид с намотка за установяване на остатъчен ток; в случай на земно съединение се изпраща команда към отварящия механизъм на прекъсвач или линеен контактор.

Освен $I_{\Delta n}$, работния остатъчен ток, друг много важен параметър за дефектнотоковите защиты е остатъчният ток на незадействане. Той представлява максималната стойност на остатъчния ток, която не задейства изключването на прекъсвача; той е равен на $0,5 I_{\Delta n}$. Оттук може да се направи заключението, че:

- при $I_{\Delta} < 0,5 \cdot I_{\Delta n}$ дефектнотоковата защита няма да се задейства;
- при $0,5 \cdot I_{\Delta n} < I_{\Delta} < I_{\Delta n}$ дефектнотоковата защита би могла да се задейства;
- при $I_{\Delta} > I_{\Delta n}$ дефектнотоковата защита ще се задейства.

За избора на номинален работен остатъчен ток е необходимо да се вземе предвид освен координирането със заземителната система, също така и всички токове на утечка на инсталацията; тяхната векторна сума във всяка фаза не трябва да бъде по-голяма от $0,5 \cdot I_{\Delta n}$ за да се избегне нежелано изключване.

Селективност между дефектнотокови защиты

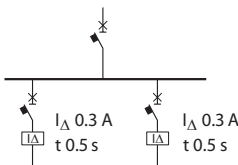
В стандарта IEC 60364-5-53 е определено, че може да се изисква селективност между дефектнотоковите защиты монтирани последователно, поради причини свързани с експлоатацията. Особено, когато се касае за безопасност, за осигуряване на непрекъснатост на захранването на части от инсталацията останали незасегнати от повредата, ако има такива. Тази селективност може да се постигне чрез избиране и инсталиране на дефектнотокови защиты така, че да се осигури разединяване от захранването чрез тази дефектнотоковата защита, която е най-близо стояща до повредата.

Има два вида селективност между дефектнотокови защиты:

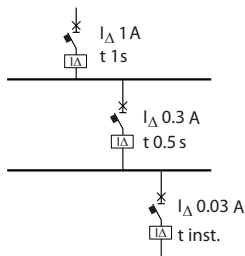
- хоризонтална селективност: осъществява защитата на всяка линия чрез използване на предназначена за това дефектнотокова защита; по този начин в случай на земно съединение се прекъсва само неизправната линия, тъй като останалите устройства за остатъчен ток не установяват наличие на ток на утечка. Необходимо е обаче да се вземат мерки за защита от индиректен контакт в частта на разпределителната уредба и в частта на инсталацията между дефектнотоковата защита и захранването (Фигура 1);
- вертикална селективност: реализира се чрез използване на свързани последователно дефектнотокови защиты (Фигура 2).

5 Защита на хората

Фигура 2: Хоризонтална селективност между устройства за остатъчен ток



Фигура 3: Вертикална селективност между устройства за остатъчен ток



Съгласно IEC 60364-5-53 за осигуряване на селективност между две последователно свързани дефектнотокови защиты, тези устройства трябва да удовлетворяват и двете условия описани по-долу:

- характеристиката „време-ток“ на незадействане на дефектнотоковата защита, разположена от страна на захранването, трябва да лежи над характеристика „време-ток“ на дефектнотоковата защита, разположена от страната към товара
- номиналният остатъчен работен ток на устройството, разположено от страна на захранването, трябва да бъде по-голям от този на устройството, разположено от страната към товара.

Характеристиката „време-ток на незадействане“ е кривата, показваща зависимостта между максималната стойност на времето, през което остатъчен ток по-голям от остатъчният ток на незадействане (равен на $0,5 I_{\Delta n}$) протича през дефектнотоковата защита без да причини изключването ѝ.

В заключение, селективност между две последователно свързани дефектнотокови защиты може да се получи:

- за дефектнотокова защита тип S (с време-закъснение) разположена от страна на захранването (в съответствие с IEC 61008-1 и IEC 61009), чрез избиране на защита от остатъчен ток от общ тип, разположена надолу по веригата с $I_{\Delta n}$ равен на една трета от $I_{\Delta n}$ на устройството от страна на захранването;
- за електронни защитни блокове за остатъчен ток (RC221/222/223, RCQ) чрез избиране на устройство от страна на захранването със стойности по време и ток по-големи от тези на устройството намиращо се след него по веригата, като се внимава за толерансите.

За защита от индиректен контакт в разпределителни вериги в ТТ системи максималното време на изключване при $I_{\Delta n}$ не трябва да превишава 1 секунда (IEC 60364-4-41, параграф 413.1).

5 Защита на хората

5.8 Максимална защитена дължина за защита на хора

Както е описано в предните глави, в стандартите са дадени указания за максималното време на изключване на защитните устройства за да се избегнат патологични въздействия върху хората, докоснали части под напрежение.

За защитата от индиректен контакт трябва да се провери, дали прекъсвачът изключва за време по-кратко от максималното време определено в стандарта; тази проверка се извършва чрез сравняване на минималния ток на късо съединение на достъпната проводяща част, която се защитава, с работния ток съответстващ на времето определено в стандарта.

Минималният ток на късо съединение е токът, който възниква при късо съединение между фазата и защитния проводник в най-отдалечената точка на защитения проводник.

За изчисляване на минималния ток на късо съединение може да се използва приблизителен метод:

- приема се 50% увеличаване стойността на съпротивлението на проводниците, отнесено към 20°C, вследствие на нагряване причинено от тока на късо съединение;
- разглежда се 80% намаляване стойността на захранващото напрежение като резултат от късото съединение;
- разглежда се реактивното съпротивление на проводника само за сечения, по-големи от 95 mm².

Формулата по-долу е получена чрез прилагане на закона на Ом за защитното устройство и точката на повреда.

Значение на символите и константите, използвани във формулата:

- 0,8 е коефициентът, представящ намаляване на напрежението;
- 1,5 е коефициентът, представящ увеличението на съпротивлението;
- U_f е номиналното напрежение между фазите;
- U_0 е номиналното напрежение между фаза и земя;
- S е сечението на фазовия проводник;
- S_N е сечението на неутралния проводник;
- S_{PE} е сечението на защитния проводник;
- ρ е специфичното съпротивление на проводника при 20°C;
- L е дължината на кабела;

- $m = \frac{S}{S_{PE}}$ е съотношението между общото сечение на фазовия проводник (сечението S на фазовия проводник, умножено с броя на паралелните проводници n) и сечението на защитния проводник S_{PE} , приемайки, че са направени от един и същ проводящ материал;

- $m_1 = \frac{S_N}{S_{PE}}$ е съотношението между общото сечение на неутралния проводник (единичното сечение на неутралния проводник S_N , умножено с броя на паралелните проводници n) и сечението на защитния проводник S_{PE} , приемайки, че са направени от един и същ проводящ материал;

- k_1 е корекционният коефициент, който отчита реактивното съпротивление на кабелите със сечение по-голямо от 95 mm², може да се вземе от следната таблица:

Сечение на фазовия проводник [mm ²]	120	150	185	240	300
k_1	0.90	0.85	0.80	0.75	0.72

5 Защита на хората

- k_2 е корекционният коефициент за проводници в паралел, получава се по следната формула:

$$k_2 = 4 \frac{n-1}{n}$$

където n е броят на проводниците в паралел за фаза.

- 1,2 е толеранса на защитата от късо съединение, разрешен от стандарта.

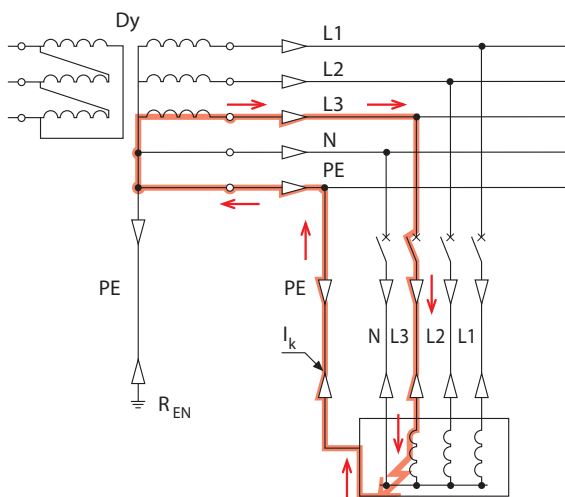
TN система

Формулата за оценяване на минималния ток на късо съединение е:

$$I_{k \min} = \frac{0.8 \cdot U_0 \cdot S}{1.5 \cdot 1.2 \cdot \rho \cdot (1 + m) \cdot L} \cdot k_1 \cdot k_2$$

и следователно:

$$L = \frac{0.8 \cdot U_0 \cdot S}{1.5 \cdot 1.2 \cdot \rho \cdot (1 + m) \cdot I_{k \min}} \cdot k_1 \cdot k_2$$



1SDC010043F0001

IT система

Формулите по-долу са в сила, когато втора повреда превърне IT системата в TN система.

Необходимо е да се проверяват поотделно инсталациите, в които няма инсталирана неутрала и тези в които има неутрала.

5 Защита на хората

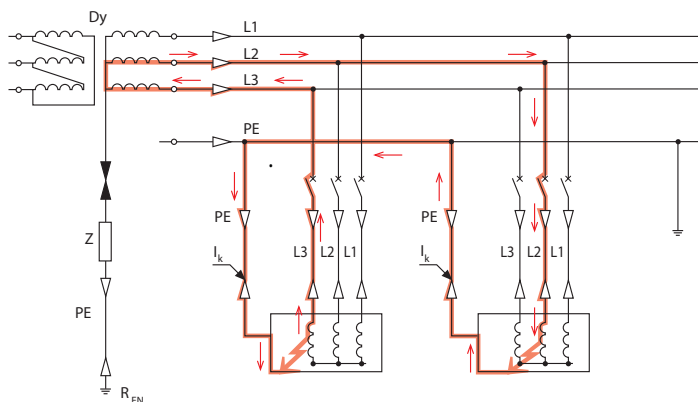
Инсталации без неутрала

Когато възникне втора повреда, формулата става:

$$I_{k \min} = \frac{0.8 \cdot U_r \cdot S}{2 \cdot 1.5 \cdot 1.2 \cdot \rho \cdot (1 + m) \cdot L} \cdot k_1 \cdot k_2$$

и следователно:

$$L = \frac{0.8 \cdot U_r \cdot S}{2 \cdot 1.5 \cdot 1.2 \cdot \rho \cdot (1 + m) \cdot I_{k \min}} \cdot k_1 \cdot k_2$$



1SDC010044F0001

Инсталации с неутрала

Случай А: трифазна верига в IT система с неутрала.

Формулата е:

$$I_{k \min} = \frac{0.8 \cdot U_0 \cdot S}{2 \cdot 1.5 \cdot 1.2 \cdot \rho \cdot (1 + m) \cdot L} \cdot k_1 \cdot k_2$$

и следователно:

$$L = \frac{0.8 \cdot U_0 \cdot S}{2 \cdot 1.5 \cdot 1.2 \cdot \rho \cdot (1 + m) \cdot I_{k \min}} \cdot k_1 \cdot k_2$$

Случай В: верига от три фази + неутрала в IT система с неутрала.

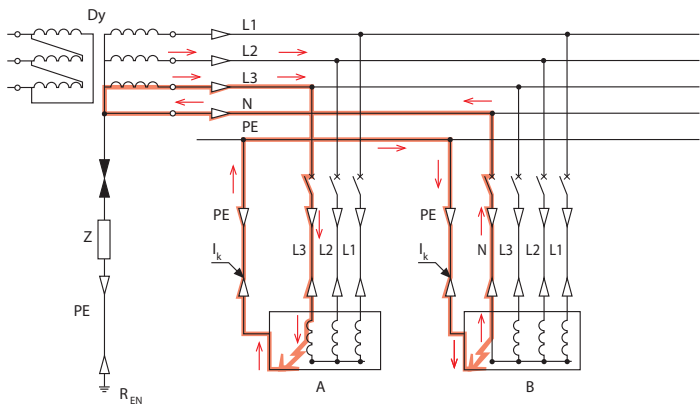
Формулата е:

$$I_{k \min} = \frac{0.8 \cdot U_0 \cdot S_N}{2 \cdot 1.5 \cdot 1.2 \cdot \rho \cdot (1 + m_1) \cdot L} \cdot k_1 \cdot k_2$$

и следователно:

$$L = \frac{0.8 \cdot U_0 \cdot S_N}{2 \cdot 1.5 \cdot 1.2 \cdot \rho \cdot (1 + m_1) \cdot I_{k \min}} \cdot k_1 \cdot k_2$$

5 Защита на хората



1SDCO10045F0001

Забележка относно ползването на таблиците

Таблиците, в които е показана максималната защитена дължина (MPL), са съставени при отчитане на следните условия:

- един кабел на фаза;
- номинално напрежение 400 V (трифазна система);
- медни кабели;
- без неутрала, само за IT системи;
- сечение на защитния проводник съгласно Таблица 1:

Таблица 1: Сечение на защитния проводник

Сечение на фазовия проводник S [mm ²]	Сечение на защитния проводник S_{PE} [mm ²]
$S \leq 16$	S
$16 < S \leq 35$	16
$S > 35$	$S/2$

Когато за определянето на максималната защитена дължина се използва функцията S (късо съединение със времезакъснение), е необходимо да се провери, че времето на изключване е по-малко от стойността на времето, указана в Глава 5.5 Таблица 1 за TN системи и Глава 5.6 Таблица 1 за IT системи.

6 Изчисляване тока на късо съединение

6.1 Общи положения

Късото съединение е повреда с пренебрежим импеданс между проводници под напрежение и с разлика в потенциалите при нормални работни условия.

6.2 Класификация на повредите

В трифазни вериги могат да възникнат следните видове повреди:

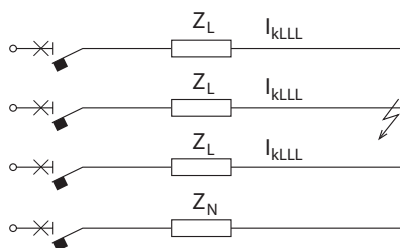
- трифазна повреда;
- двуфазна повреда;
- повреда фаза-неутрала;
- повреда фаза-РЕ.

Във формулите са използвани следните символи:

- I_k ток на късо съединение;
- U_r номинално напрежение;
- Z_L импеданс на фазовия проводник;
- Z_N импеданс на неутралния проводник;
- Z_{PE} импеданс на защитния проводник.

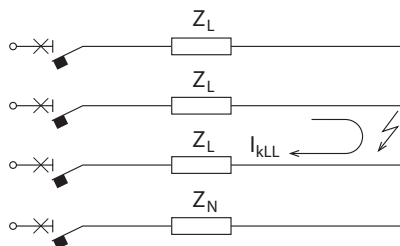
В следващата таблица са показани накратко вида на повредата и връзката между тока на късо съединение за симетрична повреда (три фази) и тока на късо съединение за асиметрични повреди (две фази и една фаза) на далечно разстояние от генераторите.

Трифазна повреда



$$I_{kLLL} = \frac{U_r}{\sqrt{3}Z_L}$$
$$Z_L = \sqrt{R_L^2 + X_L^2}$$

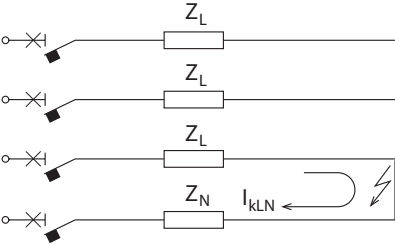
Двуфазна повреда



$$I_{kLL} = \frac{U_r}{2Z_L} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{kLLL} = 0.87 I_{kLLL}$$

6 Изчисляване тока на късо съединение

Повреда фаза-неутрала



$$I_{kLN} = \frac{U_r}{\sqrt{3}(Z_L + Z_N)}$$

Ако $Z_N = Z_L$ (сечението на неутралния проводник е равно на това на фазовия проводник):

$$I_{kLN} = \frac{U_r}{\sqrt{3}(Z_L + Z_N)} = \frac{U_r}{\sqrt{3}(2Z_L)} = 0.5 I_{kLLL}$$

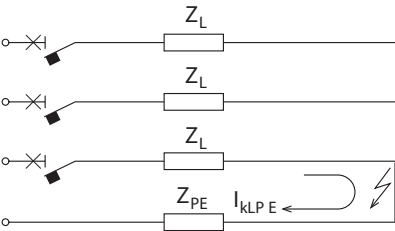
Ако $Z_N = 2Z_L$ (сечението на неутралния проводник е равно на половината от сечението на фазовия проводник):

$$I_{kLN} = \frac{U_r}{\sqrt{3}(Z_L + Z_N)} = \frac{U_r}{\sqrt{3}(3Z_L)} = 0.33 I_{kLLL}$$

Ако $Z_N \approx 0$ гранично условие:

$$I_{kLN} = \frac{U_r}{\sqrt{3}(Z_L + Z_N)} = \frac{U_r}{\sqrt{3}(Z_L)} = I_{kLLL}$$

Повреда фаза-РЕ



$$I_{kLPE} = \frac{U_r}{\sqrt{3}(Z_L + Z_{PE})}$$

Ако $Z_L = Z_{PE}$ (сечението на защитния проводник е равно на това на фазовия проводник):

$$I_{kLPE} = \frac{U_r}{\sqrt{3}(Z_L + Z_{PE})} = \frac{U_r}{\sqrt{3}(2Z_L)} = 0.5 I_{kLLL}$$

Ако $Z_{PE} = 2Z_L$ (сечението на защитния проводник е равно на половината от сечението на фазовия проводник):

$$I_{kLPE} = \frac{U_r}{\sqrt{3}(Z_L + Z_{PE})} = \frac{U_r}{\sqrt{3}(3Z_L)} = 0.33 I_{kLLL}$$

Ако $Z_N \approx 0$ гранични условие:

$$I_{kLPE} = \frac{U_r}{\sqrt{3}(Z_L + Z_{PE})} = \frac{U_r}{\sqrt{3}(Z_L)} = I_{kLLL}$$

Следващата таблица дава възможност бързо да се намери приблизителна стойност на тока на късо съединение.

Забелжка	Трифазно късо съединение I_{kLLL}	Двухазно късо съединение I_{kLL}	Късо съединение фаза-неутрала I_{kLN}	Късо съединение фаза-РЕ (TN система) I_{kLPE}
I_{kLLL}	-	$I_{kLL} = 0.87 I_{kLLL}$	$I_{LN} = 0.5 I_{kLLL} (Z_L = Z_N)$ $I_{LN} = 0.33 I_{kLLL} (Z_L = 0.5 Z_N)$ $I_{LN} = I_{kLLL} (Z_N \approx 0)$	$I_{LPE} = 0.5 I_{kLLL} (Z_L = Z_{PE})$ $I_{LPE} = 0.33 I_{kLLL} (Z_L = 0.5 Z_{PE})$ $I_{LPE} = I_{kLLL} (Z_{PE} \approx 0)$
I_{kLL}	$I_{kLLL} = 1.16 I_{kLL}$	-	$I_{kLN} = 0.58 I_{kLL} (Z_L = Z_N)$ $I_{kLN} = 0.38 I_{kLL} (Z_L = 0.5 Z_N)$ $I_{kLN} = 1.16 I_{kLL} (Z_N \approx 0)$	$I_{kLPE} = 0.58 I_{kLL} (Z_L = Z_{PE})$ $I_{kLPE} = 0.38 I_{kLL} (Z_L = 0.5 Z_{PE})$ $I_{kLPE} = 1.16 I_{kLL} (Z_{PE} \approx 0)$
I_{kLN}	$I_{kLLL} = 2 I_{kLN} (Z_L = Z_N)$ $I_{kLLL} = 3 I_{kLN} (Z_L = 0.5 Z_N)$ $I_{kLLL} = I_{kLN} (Z_N \approx 0)$	$I_{kLL} = 1.73 I_{kLN} (Z_L = Z_N)$ $I_{kLL} = 2.6 I_{kLN} (Z_L = 0.5 Z_N)$ $I_{kLL} = 0.87 I_{kLN} (Z_N \approx 0)$	-	

6 Изчисляване тока на късо съединение

6.3 Определяне на тока на късо съединение: „Метод на мощността на късо съединение“

Токът на късо съединение може да се пресметне като се използва „метода на мощността на късо съединение“. Този метод дава възможност да се определи приблизителния ток на късо съединение в дадена точка на инсталацията по прост начин; резултатът обикновено е приемлив. Този метод обаче не е консервативен и дава толкова по-точни резултати, колкото по-близки стойности имат факторите на мощността на разглежданите компоненти (мрежа, генератори, трансформатори, двигатели и големи кабелни участъци и др.).

При метода „мощност на късо съединение“ се изчислява тока на късо съединение I_k по формулата:

Трифазно късо съединение:
$$I_k = \frac{S_k}{\sqrt{3} \cdot U_r}$$

Двухфазно късо съединение:
$$I_k = \frac{S_k}{2 \cdot U_r}$$

където:

- S_k е привидната мощност на късото съединение в точката на повреда;
- U_r е номиналното напрежение.

За определяне на привидната мощност на късото съединение S_k трябва да се отчетат всички елементи на мрежата, които могат да бъдат:

- Елементи, които участват в създаването на тока на късо съединение: мрежа, генератори, двигатели;
- Елементи, които ограничават стойността на тока на късо съединение: проводници и трансформатори.

Процедурата за изчисляване на тока на късо съединение включва следните стъпки:

1. Изчисляване на мощността на късо съединение за различните елементи на инсталацията;
2. Изчисляване на мощността на късо съединение в точката на повреда;
3. Изчисляване на тока на късо съединение.

6.3.1 Изчисляване на мощността на късо съединение за различните елементи на инсталацията

Привидната мощност на късо съединение S_k трябва да се определи за всички компоненти, които са част от инсталацията:

Мрежа

Електрическата мрежа включва всичко, което е в посока захранването след точката на присъединяване.

6 Изчисляване тока на късо съединение

Обикновено, електроразпределителното дружество дава стойността на привидната мощност (S_{knet}) на късо съединение в точката на електрическото захранване. Ако обаче е известна стойността на тока на късо съединение I_{knet} , за трифазните системи стойността на мощността може да се получи по следната формула:

$$S_{knet} = \sqrt{3} U_r I_{knet}$$

където U_r е номиналното напрежение в точката на електрическо захранване.

Ако гореописаните данни липсват, може да се вземе за референтна стойност стойността на S_{knet} от долната таблица:

Нетно напрежение U_r [kV]	Мощност на късо съединение S_{knet} [MVA]
До 20	500
До 32	750
До 63	1000

Генератори

Мощността на късо съединение се получава от:

$$S_{kgen} = \frac{S_r \cdot 100}{X_{d\%}^*}$$

където $X_{d\%}^*$ е процентната стойност на свръхпреходното реактивно съпротивление (X''_d) или на преходното реактивно съпротивление (X'_d) или на синхронното реактивно съпротивление (X_d), в зависимост от момента, в който трябва да се оценява стойността на тока на късо съединение.

Най-често реактивните съпротивления се изразяват в проценти от номиналния импеданс на генератора (Z_d), определян чрез:

$$Z_d = \frac{U_r^2}{S_r}$$

където U_r и S_r са номиналните стойности на напрежението и мощността на генератора. Типични стойности са например:

- X''_d от 10% до 20%;
- X'_d от 15% до 40%;
- X_d от 80% до 300%.

Обикновено се разглежда най-лошия случай, този при свръхпреходно реактивно съпротивление. В следващата таблица са дадени приблизителните стойности на мощността на късо съединение на генератори ($X''_d = 12,5\%$):

S_r [kVA]	50	63	125	160	200	250	320	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3200	4000
S_{kgen} [MVA]	0.4	0.5	1.0	1.3	1.6	2.0	2.6	3.2	4.0	5.0	6.4	8.0	10.0	12.8	16.0	20.0	25.6	32.0

6 Изчисляване тока на късо съединение

Асинхронни трифазни двигатели

При условия на късо съединение електрическите двигатели могат да понесат повреда за кратко време (5-6 периода).

Мощността може да бъде изчислена от тока на късо съединение (I_k) на двигателя чрез следната формула:

$$S_{\text{kmot}} = \sqrt{3} \cdot U_r \cdot I_k$$

Типични стойности са:

$$S_{\text{kmot}} = 5 \div 7 S_{\text{mot}}$$

(I_k е около $5 \div 7 I_{\text{mot}}$: 5 за двигатели с малък размер, и 7 за по-големи двигатели).

Трансформатори

Мощността на късо съединение на трансформаторите (S_{ktrafo}) може да бъде изчислена чрез следната формула:

$$S_{\text{ktrafo}} = \frac{100}{u_k \%} \cdot S_r$$

В следващата таблица са дадени приблизителните стойности на мощността на късо съединение на трансформатори.

S_r [kVA]	50	63	125	160	200	250	320	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3200	4000
u_k %	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5	5	5	6	6	6	6	6
S_{ktrafo} [MVA]	1.3	1.6	3.1	4	5	6.3	8	10	12.5	15.8	16	20	25	26.7	33.3			

Кабели

Добро приближение за мощността на късо съединение на кабели е следното равенство:

$$S_{\text{kable}} = \frac{U_r^2}{Z_c}$$

където импедансът на кабела (Z_c) е:

$$Z_c = \sqrt{R_c^2 + X_c^2}$$

В следващата таблица са дадени приблизителните стойности на мощността на късо съединение на кабели при 50 и 60 Hz в зависимост от напрежението на захранването (дължина на кабела = 10 m):

6 Изчисляване тока на късо съединение

S [mm ²]	230 [V]	400 [V]	440 [V]	500 [V]	690 [V]	230 [V]	400 [V]	440 [V]	500 [V]	690 [V]
	S _{kable} [MVA] @50 Hz					S _{kable} [MVA] @60 Hz				
1.5	0.44	1.32	1.60	2.07	3.94	0.44	1.32	1.60	2.07	3.94
2.5	0.73	2.20	2.66	3.44	6.55	0.73	2.20	2.66	3.44	6.55
4	1.16	3.52	4.26	5.50	10.47	1.16	3.52	4.26	5.50	10.47
6	1.75	5.29	6.40	8.26	15.74	1.75	5.29	6.40	8.26	15.73
10	2.9	8.8	10.6	13.8	26.2	2.9	8.8	10.6	13.7	26.2
16	4.6	14.0	16.9	21.8	41.5	4.6	13.9	16.9	21.8	41.5
25	7.2	21.9	26.5	34.2	65.2	7.2	21.9	26.4	34.1	65.0
35	10.0	30.2	36.6	47.3	90.0	10.0	30.1	36.4	47.0	89.6
50	13.4	40.6	49.1	63.4	120.8	13.3	40.2	48.7	62.9	119.8
70	19.1	57.6	69.8	90.1	171.5	18.8	56.7	68.7	88.7	168.8
95	25.5	77.2	93.4	120.6	229.7	24.8	75.0	90.7	117.2	223.1
120	31.2	94.2	114.0	147.3	280.4	29.9	90.5	109.5	141.5	269.4
150	36.2	109.6	132.6	171.2	326.0	34.3	103.8	125.6	162.2	308.8
185	42.5	128.5	155.5	200.8	382.3	39.5	119.5	144.6	186.7	355.6
240	49.1	148.4	179.5	231.8	441.5	44.5	134.7	163.0	210.4	400.7
300	54.2	164.0	198.4	256.2	488.0	48.3	146.1	176.8	228.3	434.7

При п. паралелни кабела е необходимо стойността, дадена в таблицата, да се умножи с п. Ако дължината на кабела (L_{act}) е различна от 10 m, е необходимо стойността, дадена в таблицата, да се умножи със следния коефициент:

$$\frac{10}{L_{act}}$$

6.3.2 Изчисляване на мощността на късо съединение в точката на повреда

Правилото за определяне на мощността на късо съединение в точка на инсталацията в зависимост от мощността на късо съединение на различните елементи на веригата е аналогично на това за изчисляване на еквивалентната пълна проводимост. А именно:

- мощността на късо съединение на последователно свързаните елементи е равна на реципрочната стойност на сумата от реципрочните стойности на отделните мощности (както при успоредно свързани импеданси);

$$S_k = \frac{1}{\sum \frac{1}{S_i}}$$

- мощността на късо съединение на успоредно свързани елементи е равна на сумата на отделните мощности на късо съединение (както при последователно свързани импеданси).

$$S_k = \sum S_i$$

Елементите на веригата се считат за свързани последователно или успоредно, погледнати от точката на повреда.

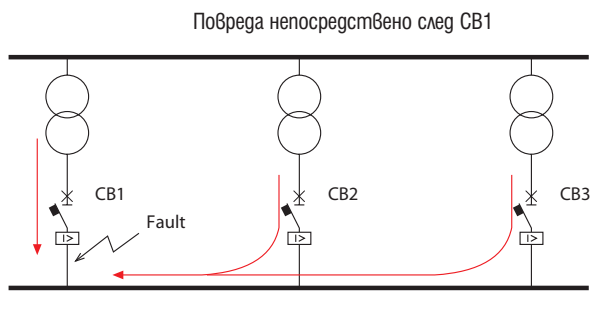
В случай на различни клонове свързани успоредно, разпределението на тока между различните клонове трябва да се изчисли след като се пресметне тока на късо съединение в точката на повредата. Това трябва да се направи за да се осигури правилния избор на защитно устройство в клоновете.

6 Изчисляване тока на късо съединение

6.3.3 Изчисляване тока на късо съединение

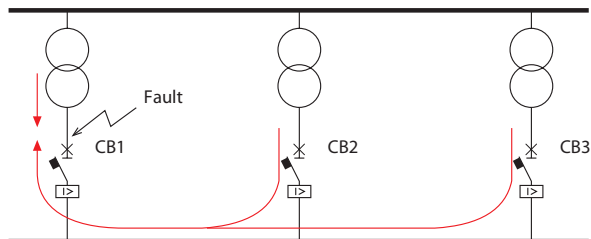
За да се определи тока на късо съединение в една инсталация трябва да се разгледат както точката на повреда, така и конфигурацията на системата. Трябва да се вземе предвид и участието на двигателите в тока на късо съединение в съответните случаи.

Да разгледаме схемите по-долу, за прекъсвача CB1 най-лоши условия възникват, когато повреда е точно над прекъсвача от страна на захранването. При определяне на изключвателната способност на прекъсвача трябва да се отчете участието в тока на късо съединение и на другите два успоредно свързани трансформатора.



1SDC010050F0001

Повреда непосредствено преди CB1 в посока на захранването
(най-неблагоприятния случай за CB1)



1SDC010051F0001

След като е определен еквивалента на мощността на късо съединение в точката на повреда, токът на късо съединение може да се изчисли по следната формула:

Трифазна верига:

$$I_k = \frac{S_k}{\sqrt{3} \cdot U_r}$$

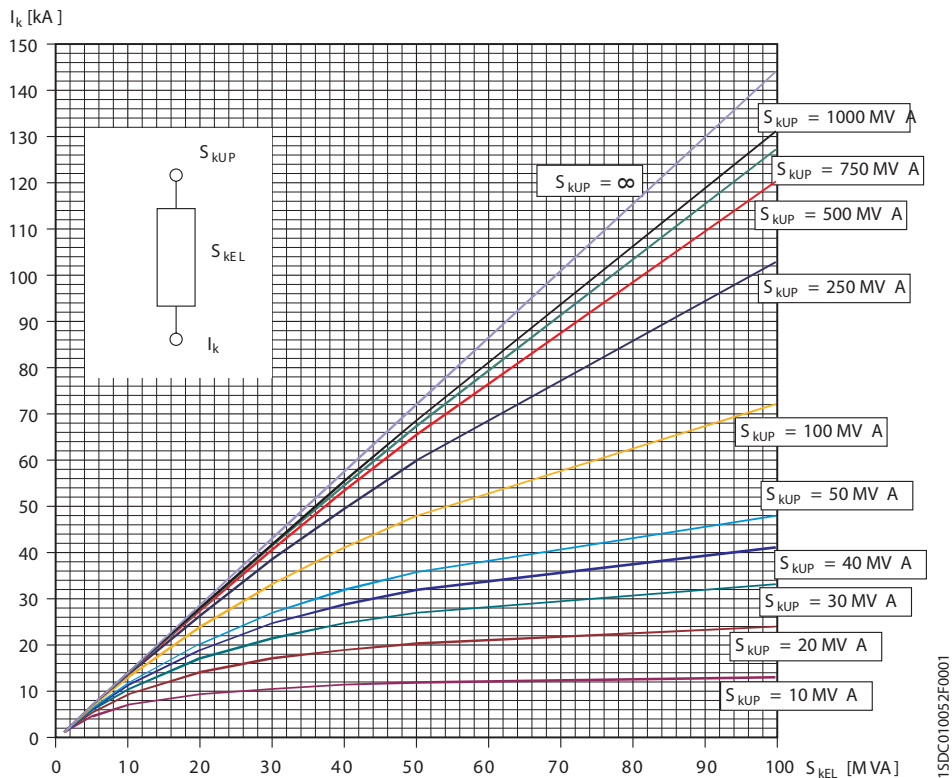
Двуфазна верига:

$$I_k = \frac{S_k}{2 \cdot U_r}$$

6 Изчисляване тока на късо съединение

Като първо приближение, чрез използване на следващата графика е възможно да се оцени трифазния ток на късо съединение в посока надолу по веригата след обект с известна мощност на късо съединение (S_{KEL}); в съответствие на тази стойност, познавайки мощността на късо съединение в посоката от обекта към захранването (S_{KUP}), стойността на I_k може да се отчете от осита y , изразена в kA при 400 V.

Фигура 1: Графика за изчисляване на ток на трифазно късо съединение при 400 V



1SDC010052F0001

6 Изчисляване тока на късо съединение

6.3.4 Примери

Следващите примери показват изчисляването на ток на късо съединение в няколко различни вида инсталации.

Пример 1

Мрежа от страна на захранването:

$$U_r = 20000 \text{ V}$$

$$S_{\text{knet}} = 500 \text{ MVA}$$

Трансформатор:

$$S_r = 1600 \text{ kVA}$$

$$U_{k\%} = 6\%$$

$$U_{1r} / U_{2r} = 20000/400$$

Двигател:

$$P_r = 220 \text{ kW}$$

$$I_{\text{kmot}} / I_r = 6,6$$

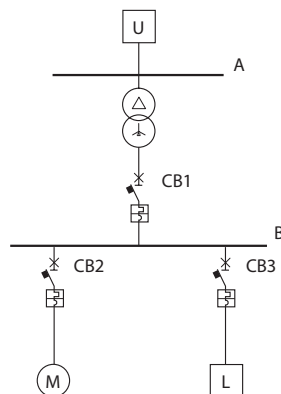
$$\cos \varphi_r = 0,9$$

$$\eta = 0,917$$

Обобщен товар:

$$I_{rL} = 1443,4 \text{ A}$$

$$\cos \varphi_r = 0,9$$



15DC010053F0001

Изчисляване на мощността на късо съединение на различните елементи

Мрежа:

$$S_{\text{knet}} = 500 \text{ MVA}$$

Трансформатор:

$$S_{\text{ktrafo}} = \frac{100}{u_k \%} S_r = 26.7 \text{ MVA}$$

Двигател:

$$S_{\text{rmot}} = \frac{P_r}{\eta \cos \varphi_r} = 267 \text{ kVA}$$

$$S_{\text{kmot}} = 6,6 \cdot S_{\text{rmot}} = 1,76 \text{ MVA} \text{ за първите 5-6 периода (при 50 Hz около 100 ms)}$$

Изчисляване на тока на късо съединение за избор на прекъсвачи

Избиране на прекъсвач CB1

За прекъсвача CB1 най-лошите условия възникват, когато повреда е веднага след прекъсвача в посока товара. В случай на повреда от страна на захранването, през прекъсвача ще премине само токът на повреда, идващ от двигателя, който е значително по-малък от тока на късо съединение на мрежата.

6 Изчисляване тока на късо съединение

Веригата, погледната от точката на повреда, се представя от последователно свързани мрежа и трансформатор. Съгласно посочените по-горе правила, мощността на късо съединение се определя чрез следната формула:

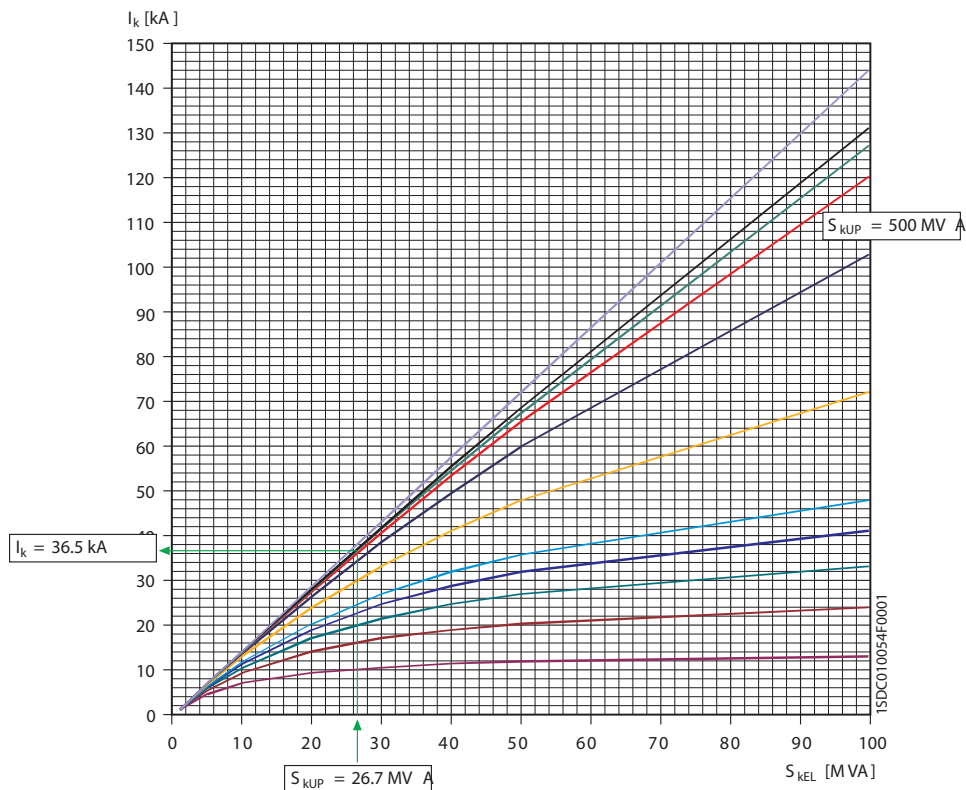
$$S_{kCB1} = \frac{S_{knet} \cdot S_{ktrafo}}{S_{knet} + S_{ktrafo}} = 25.35 \text{ MVA}$$

Максималният ток е:

$$I_{kCB1} = \frac{S_{kCB1}}{\sqrt{3} \cdot U_r} = 36.6 \text{ kA}$$

Номиналният ток от страна НН на трансформатора е равен на 2309 А; следователно прекъсвачът, който трябва да се избере е Етах Е3Н 2500 (виж таблица 2, гл. 3.4).

Използвайки графиката от Фигура 1 е възможно да се намери I_{kCB1} от кривата с $S_{kUP} = S_{knet} = 500 \text{ MVA}$, съответстващо на $S_{kEL} = S_{ktrafo} = 26,7 \text{ MVA}$:



6 Изчисляване тока на късо съединение

Избиране на прекъсвач СВ2

За прекъсвача СВ2 най-неблагоприятни условия са, когато повреда възникне веднага след прекъсвача от страната на товара. Веригата, погледната от точката на повреда, се представя от последователно свързани мрежа и трансформатор. Токът на късо съединение е същият като този за СВ1.

$$I_{кCB1} = \frac{S_{кCB1}}{\sqrt{3} \cdot U_r} = 36.6 \text{ kA}$$

Номиналният ток на двигателя е равен на 385 А; прекъсвачът, който трябва да се избере е Tmax T5H 400.

Избиране на прекъсвач СВ3

И за СВ3 най-неблагоприятни условия възникват, когато точката на повреда е веднага след прекъсвача от страната на товара.

Веригата, погледната от точката на повреда, се представя чрез два успоредни клона: двигателя и последователно свързаните мрежа и трансформатор. Съгласно посочените по-горе правила, мощността на късо съединение се определя чрез следната формула:

Двигател // (Мрежа + Трансформатор)

$$S_{кCB3} = S_{кmot} + \frac{1}{\frac{1}{S_{кnet}} + \frac{1}{S_{кtrafo}}} = 27.11 \text{ MVA}$$

$$I_{кCB3} = \frac{S_{кCB3}}{\sqrt{3} \cdot U_r} = 39.13 \text{ kA}$$

Номиналният ток на товара L е равен на 1443 А; прекъсвачът, който трябва да се избере е Tmax T 7S1600 или Tmax X1B1600.

Пример 2

Веригата, показана на схемата, се състои от захранване, два успоредно свързани трансформатора и три товара.

Мрежа от страната на захранването:

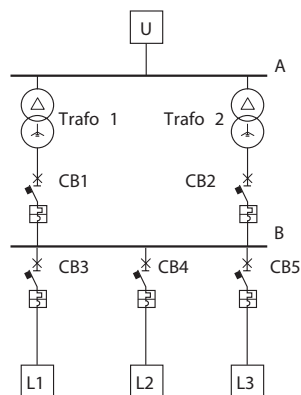
$U_{r1} = 20000 \text{ V}$
 $S_{кnet} = 500 \text{ MVA}$
 $S_r = 1600 \text{ kVA}$
 $u_k\% = 6\%$
 $U_{1r} / U_{2r} = 20000/400$

Трансформатори 1 и 2:

Товар L1: $S_r = 1500 \text{ kVA}$; $\cos \varphi = 0,9$;

Товар L2: $S_r = 1000 \text{ kVA}$; $\cos \varphi = 0,9$;

Товар L3: $S_r = 50 \text{ kVA}$; $\cos \varphi = 0,9$.



1SDC010055F0001

6 Изчисляване тока на късо съединение

Изчисляване на мощността на късо съединение на различните елементи:

Мрежа $S_{\text{knet}} = 500 \text{ MVA}$

Трансформатори 1 и 2 $S_{\text{ktrafo}} = \frac{S_r}{u_k \%} \cdot 100 = 26.7 \text{ MVA}$

Избиране на CB1 (CB2)

За прекъсвачите CB1 (CB2) най-неблагоприятните условия възникват, когато повреда е веднага след прекъсвача от страна на товара. Съгласно описаните по-горе правила, веригата погледната от точката на повреда е еквивалентен на паралелно свързани два трансформатора последователно с мрежата: Мрежа + (Трансформатор 1 // Трансформатор 2).

Полученият по този начин ток на късо съединение съответства на тока на късо съединение на събирателната шина. На базата на симетричността на веригата, този ток се разпределя равномерно в двата клона (наполовина във всеки). Токът, който протича през CB1 (CB2), следователно е равен на половината на този на събирателната шина.

$$S_{\text{kbusbar}} = \frac{S_{\text{knet}} (S_{\text{trafo1}} + S_{\text{ktrafo2}})}{S_{\text{knet}} + (S_{\text{ktrafo1}} + S_{\text{ktrafo2}})} = 48.2 \text{ MVA}$$

$$I_{\text{kbusbar}} = \frac{S_{\text{kbusbar}}}{\sqrt{3} U_r} = 69.56 \text{ kA}$$

$$I_{\text{kCB1(2)}} = \frac{I_{\text{kbusbar}}}{2} = 34.78 \text{ kA}$$

Прекъсвачите CB1/CB2, които трябва да бъдат избрани на базата на номиналния ток на трансформаторите, са Emax E3N 2500.

Избиране на CB3-CB4-CB5

За тези прекъсвачи най-неблагоприятните условия възникват, когато повреда стане веднага след прекъсвача от страна на товара. Следователно, токът на късо съединение, който трябва да се вземе под внимание, е този на събирателната шина:

$$I_{\text{kCB3}} = I_{\text{kbusbar}} = 69.56 \text{ kA}$$

Прекъсвачите, които трябва да се изберат на базата на токовете на товарите, са:

CB3: Emax E3S 2500

CB4: Emax E2S 1600

CB5: Tmax T2H 160

6 Изчисляване тока на късо съединение

6.4 Определяне на тока на късо съединение I_k по дължина на кабела като функция на този преди него

Таблицата по-долу дава възможност да се определи по консервативен път трифазния ток на късо съединение в точка на мрежа 400 V в посока надолу по веригата на еднополюсен меден кабел при температура 20°C. Известни стойности:

- трифазният ток на късо съединение в посока на захранването спрямо кабела;
- дължината и сечението на кабела.

Сечение на кабела [mm²]	Дължина [m]															
1.5	0.9 1.1 1.4 1.8 2.5 3.5 5.3 7 9.4 14															
2.5	0.9 1 1.2 1.5 1.8 2.3 2.9 4.1 5.9 8.8 12 16 24															
4	0.9 1.2 1.4 1.6 1.9 2.3 2.8 3.7 4.7 6.6 9.4 14 19 25 38															
6	0.8 1.1 1.4 1.8 2.1 2.5 2.8 3.5 4.2 5.6 7 10 14 21 28 38 56															
10	0.9 1.2 1.4 1.9 2.3 2.9 3.5 4.1 4.7 5.8 7 9.4 12 16 23 35 47 63 94															
16	0.9 1.1 1.5 1.9 2.2 3 3.7 4.7 5.6 6.5 7.5 9.3 11 15 19 26 37 56 75 100 150															
25	0.9 1.2 1.4 1.7 2.3 2.9 3.5 4.6 5.8 7.2 8.7 10 12 14 17 23 29 41 58 87 116 155 233															
35	1.2 1.6 2 2.4 3.2 4 4.8 6.4 8 10 12 14 16 20 24 32 40 56 80 121 161 216 324															
50	1.1 1.7 2.3 2.8 3.4 4.5 5.7 6.8 9 11 14 17 20 23 28 34 45 57 79 113 170 226 303 455															
70	0.8 1.5 2.3 3.1 3.8 4.6 6.2 7.7 9.2 12 15 19 23 27 31 38 46 62 77 108 154 231 308 413															
95	1 2 3 4 5 6 8 10 12 16 20 25 30 35 40 50 60 80 100 140 200 300 400															
120	1.2 2.4 3.6 4.8 6 7.2 10 12 14 19 24 30 36 42 48 60 72 96 120 168 240 360 481															
150	1.4 2.8 4.2 5.6 7 8.4 11 14 17 23 28 35 42 49 56 70 84 113 141 197 281 422															
185	1.6 3.2 4.8 6.4 8 10 13 16 19 26 32 40 48 56 64 80 96 128 160 224 320 480															
240	1.8 3.7 5.5 7.3 9.1 11 15 18 22 29 37 46 55 64 73 91 110 146 183 256 366 549															
300	2 4 6 8 10 12 16 20 24 32 40 50 60 70 80 100 120 160 200 280 400															
2x120	2.4 4.8 7.2 10 12 14 19 24 29 38 48 60 72 84 96 120 144 192 240 336 481															
2x150	2.8 5.6 8.4 11 14 17 23 28 34 45 56 70 84 98 113 141 169 225 281 394 563															
2x185	3.2 6.4 10 13 16 19 26 32 38 51 64 80 96 112 128 160 192 256 320 448															
3x120	3.6 7.2 11 14 18 22 29 36 43 58 72 90 108 126 144 180 216 288 360 505															
3x150	4.2 8.4 13 17 21 25 34 42 51 68 84 105 127 148 169 211 253 338 422															
3x185	4.8 10 14 19 24 29 38 48 58 77 96 120 144 168 192 240 288 384 480															

I_k по посока на захранването															
[kA]															
100	96	92	89	85	82	78	71	65	60	50	43	36	31	27	24
90	86	83	81	78	76	72	67	61	57	48	42	35	31	27	24
80	77	75	73	71	69	66	62	57	53	46	40	34	30	27	24
70	68	66	65	63	62	60	56	53	49	43	38	33	29	26	23
60	58	57	56	55	54	53	50	47	45	40	36	31	28	25	23
50	49	48	47	46	45	44	43	41	39	35	32	29	26	23	21
40	39	39	38	38	37	37	35	34	33	31	28	26	24	22	20
35	34	34	34	33	33	32	32	31	30	28	26	24	22	20	19
30	30	29	29	29	28	28	28	27	26	25	23	22	20	19	18
25	25	24	24	24	24	24	23	23	22	21	21	19	18	17	16
20	20	20	20	19	19	19	19	18	18	18	17	16	15	15	14
15	15	15	15	15	15	14	14	14	14	14	13	13	12	12	11
12	12	12	12	12	12	12	11	11	11	11	11	10	10	10	9.3
10	10	10	10	10	10	10	9.5	9.4	9.2	9.0	8.8	8.5	8.3	8.1	7.7
8.0	8.0	7.9	7.9	7.9	7.8	7.8	7.7	7.7	7.6	7.5	7.4	7.2	7.1	6.9	6.8
6.0	6.0	5.9	5.9	5.9	5.9	5.8	5.8	5.7	5.6	5.5	5.4	5.3	5.2	5.1	4.9
3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	2.9	2.9	2.9	2.9	2.8	2.8	2.7	2.7	2.6

I_k по посока на товара															
[kA]															
100	96	92	89	85	82	78	71	65	60	50	43	36	31	27	24
90	86	83	81	78	76	72	67	61	57	48	42	35	31	27	24
80	77	75	73	71	69	66	62	57	53	46	40	34	30	27	24
70	68	66	65	63	62	60	56	53	49	43	38	33	29	26	23
60	58	57	56	55	54	53	50	47	45	40	36	31	28	25	23
50	49	48	47	46	45	44	43	41	39	35	32	29	26	23	21
40	39	39	38	38	37	37	35	34	33	31	28	26	24	22	20
35	34	34	34	33	33	32	32	31	30	28	26	24	22	20	19
30	30	29	29	29	28	28	28	27	26	25	23	22	20	19	18
25	25	24	24	24	24	24	23	23	22	21	21	19	18	17	16
20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
8.0	8.0	7.9	7.9	7.9	7.8	7.8	7.7	7.7	7.6	7.5	7.4	7.2	7.1	6.9	6.8
6.0	6.0	5.9	5.9	5.9	5.9	5.8	5.8	5.7	5.6	5.5	5.4	5.3	5.2	5.1	4.9
3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	2.9	2.9	2.9	2.9	2.8	2.8	2.7	2.7	2.6

6 Изчисляване тока на късо съединение

Забележка:

• В случай, че I_k от страна на захранването и дължината на кабела не се съдържат в таблицата, трябва да се ползват:

- стойността вдясно над I_k от страна на захранването;
- стойността вдясно под дължината на кабела.

Тези приближения позволяват изчисленията да благоприятстват безопасността.

• В случай, че в таблицата не се съдържат паралелни кабели, дължината трябва да се раздели на броя на паралелните кабели.

Пример

Данни

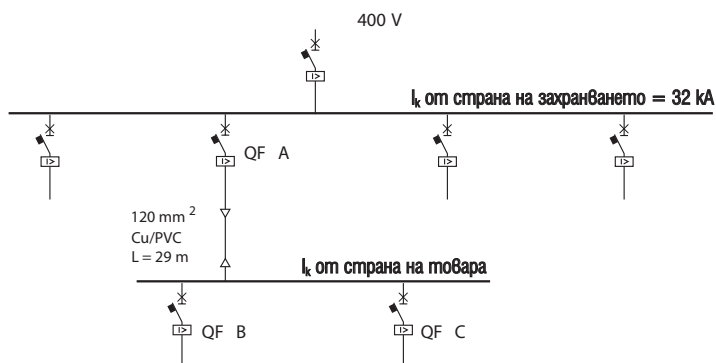
Номинално напрежение = 400 V

Сечение на кабела = 120 mm²

Проводник = меден

Дължина = 29 m

Ток на късо съединение от страна на захранването = 32 kA



Процедура

В реда, съответстващ на сечение на кабела 120 mm² в първата таблица, ако не може да се намери колона за дължина равна на 29 m се взима най-близката по-малка стойност, в случая 24m. В колоната за ток на късо съединение от страна на захранването във втората таблица, ако не може да се определи ред със стойност 32 kA се взима най-близката по-голяма стойност, в този случай 35 kA.

От пресичането на този ред (първоначална стойност 35kA) с определената преди това колона (дължина на кабела 24m) се получава стойността на тока на късо съединение надолу по веригата равна на 26 kA.

6 Изчисляване тока на късо съединение

6.5 Алгебра на последователностите

6.5.1 Общи положения

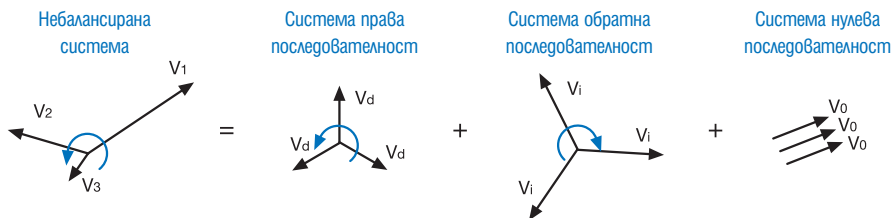
Възможно е симетричните, балансирани трифазни мрежи да се представят по един опростен начин чрез свеждане на трифазната мрежа до еднофазна такава със същата стойност на номинално напрежение каквото е напрежението линия-линия на трифазната система.

Асиметричните мрежи не могат да се сведат до представяне на еднофазна мрежа точно заради този дисбаланс. В този случай, тъй като не е възможно опростяване, е необходимо да се процедира съгласно аналитичните методи типични за пресмятане на електрически системи.

Техниката на моделиране, позволяваща изчисляването на асиметрична и дебалансирана мрежа чрез преобразуването ѝ в система от три балансиращи мрежи, всяка от които може да бъде представена чрез лесно решима еднофазова еквивалентна верига, представлява метода на симетричните компоненти.

Този метод произлиза от математически съждения, съгласно които всяка система от три фазора¹⁾ може да се разложи в три системи от фазори със следните характеристики:

- балансирана система, наречена права последователност, образувана от три фазора с еднаква величина, изместени на 120° и имащи същата фазова последователност като оригиналната система;
- балансирана система, наречена обратна последователност, образувана от три фазора с еднаква величина, изместени на 120° и имащи обратна фазова последователност спрямо оригиналната система;
- система, наречена нулева последователност, образувана от три фазора с еднаква величина във фаза.



1) Фазорът е векторно представяне на величина, която се променя във времето. Сигнал от вида

$$v(t) = \sqrt{2} \cdot V \cdot \cos(\omega \cdot t + \varphi) \quad \text{се представя чрез фазора} \quad \bar{v} = V \cdot e^{j\varphi}.$$

6 Изчисляване тока на късо съединение

6.5.2 Системи с права, обратна и нулева последователност

Следните съотношения* представляват връзката между величините на трифазна балансирана мрежа и системите с права, обратна и нулева последователност:

$$\begin{array}{llll}
 \bar{V}_0 = \frac{1}{3} (\bar{V}_1 + \bar{V}_2 + \bar{V}_3) & \bar{I}_0 = \frac{1}{3} (\bar{I}_1 + \bar{I}_2 + \bar{I}_3) & \bar{V}_1 = \bar{V}_0 + \bar{V}_d + \bar{V}_i & \bar{I}_1 = \bar{I}_0 + \bar{I}_d + \bar{I}_i \\
 \bar{V}_d = \frac{1}{3} (\bar{V}_1 + \alpha \cdot \bar{V}_2 + \alpha^2 \cdot \bar{V}_3) & \bar{I}_d = \frac{1}{3} (\bar{I}_1 + \alpha \cdot \bar{I}_2 + \alpha^2 \cdot \bar{I}_3) & \bar{V}_2 = \bar{V}_0 + \alpha^2 \cdot \bar{V}_d + \alpha \cdot \bar{V}_i & \bar{I}_2 = \bar{I}_0 + \alpha^2 \cdot \bar{I}_d + \alpha \cdot \bar{I}_i \\
 \bar{V}_i = \frac{1}{3} (\bar{V}_1 + \alpha^2 \cdot \bar{V}_2 + \alpha \cdot \bar{V}_3) & \bar{I}_i = \frac{1}{3} (\bar{I}_1 + \alpha^2 \cdot \bar{I}_2 + \alpha \cdot \bar{I}_3) & \bar{V}_3 = \bar{V}_0 + \alpha \cdot \bar{V}_d + \alpha^2 \cdot \bar{V}_i & \bar{I}_3 = \bar{I}_0 + \alpha \cdot \bar{I}_d + \alpha^2 \cdot \bar{I}_i
 \end{array}$$

* В тези формули компонентите на права, обратна и нулева последователност са означени с индекси "d", "i" и съответно "o".

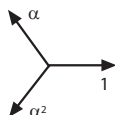
Комплексната константа $\alpha = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}$ е версор, който при умножаване с вектор завърта този вектор на 120° в положителна посока (обратно на часовниковата стрелка).

Комплексната константа $\alpha^2 = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}$ се използва за завъртане на -120° . Някои полезни характеристики на тази система от три вектора са следните:

$$1 + \alpha + \alpha^2 = 0$$

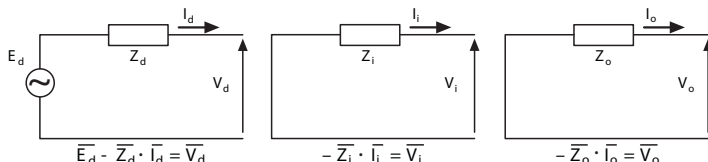
$$|\alpha^2 - \alpha| = \sqrt{3}$$

Фигура 2



Следователно, една реална трифазна мрежа може да се представи чрез три еднофазни мрежи, свързани с трите последователности - права, обратна и нулева, чрез заместване на всяка компонента със съответната еквивалентна верига. Ако генераторите могат да се приемат за симетрични, каквато е практиката и приемайки за права последователност тази, която те генерират, трите еднофазни мрежи се дефинират чрез следните вериги и уравнение:

Фигура 3



където:

- E_d е напрежението линия - неутрала ($E_d = \frac{U_{lr}}{\sqrt{3}}$) на частта между повредата и захранването;

- Z е импеданса на системата между повредата и захранването;

- V е напрежението, измерена на мястото на повредата.

6 Изчисляване тока на късо съединение

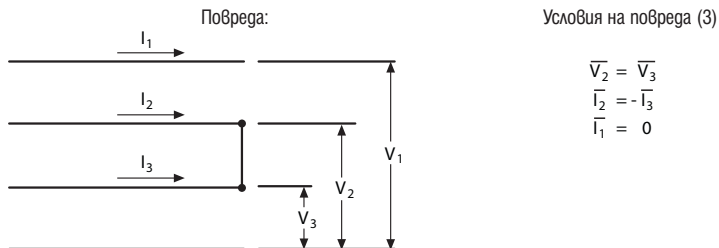
6.5.3 Изчисляване на ток на късо съединение чрез алгебра на последователностите

Без да навлизаме в теоретични подробности е възможно да покажем процедурата за опростяване и решаване на електрическата мрежа при предварително установени условия на повреда чрез пример.

Повреда фаза-фаза

Схемата на типологията на тази повреда и връзката между токовете и напреженията може да се представи по следния начин:

Фигура 4

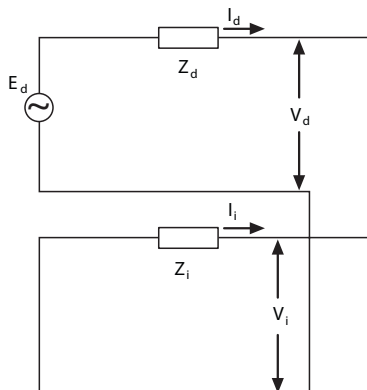


Използвайки дадените условия на повреда и формула 1) получаваме, че:

$$\begin{aligned}V_d &= V_i \\ I_d &= -I_i \\ I_o &= 0 \quad \text{следователно} \quad V_o = 0\end{aligned} \quad (4)$$

Тези съотношения, приложени към трите схеми на последователности от Фигура 3, водят до дефиниране на мрежа от последователности, еквивалентна на трифазната мрежа, която описва началните условия на повреда. Тази мрежа може да се представи по следния начин:

Фигура 5



6 Изчисляване на тока на късо съединение

Чрез решаване на тази проста мрежа (състояща се от последователно свързани елементи) във връзка с тока I_d се получава следното:

$$\bar{I}_d = \frac{\bar{E}_d}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_i} \quad (5)$$

Използвайки формулите (2), приложени за тока, и формулите (4), получаваме:

$$\bar{I}_2 = (\alpha^2 - \alpha) \cdot \bar{I}_d \quad \bar{I}_3 = (\alpha - \alpha^2) \cdot \bar{I}_d$$

Понеже $|\alpha^2 - \alpha|$ се получава равно на $\sqrt{3}$, стойността на тока на късо съединение линия-линия в двете фази, засегнати от повреда, може да се изрази по следния начин:

$$|\bar{I}_2| = |\bar{I}_3| = |\bar{I}_{k2}| = \sqrt{3} \left| \frac{\bar{E}_d}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_i} \right|$$

Използвайки формулите (2), приложени за напрежението и формулите (4), намерени преди това, получаваме следното:

$$\begin{aligned} \bar{V}_1 &= 2 \cdot \bar{V}_i & 6) \text{ за фазата, незасегната от повреда} \\ \bar{V}_2 &= \bar{V}_3 = (\alpha^2 + \alpha) \cdot \bar{V}_d = -\bar{V}_d & 7) \text{ за фазите, засегнати от повреда} \end{aligned}$$

Чрез схемата на обратна последователност отношението 6) може да се запише като:

$$\bar{V}_1 = -2 \cdot \bar{Z}_i \cdot \bar{I}_i$$

В продължение на казаното и тъй като $\bar{I}_d = -\bar{I}_i$, фазата, незасегната от повреда, ще бъде:

$$\bar{V}_1 = \frac{2 \cdot \bar{Z}_i}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_i} \cdot \bar{E}_d$$

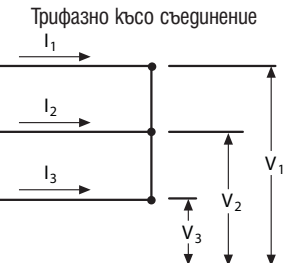
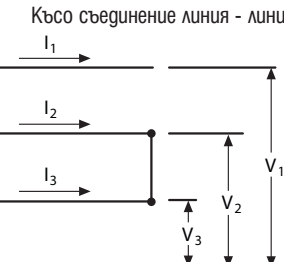
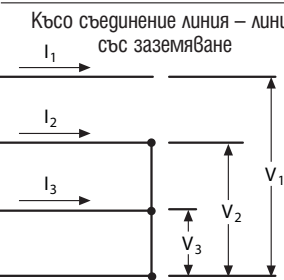
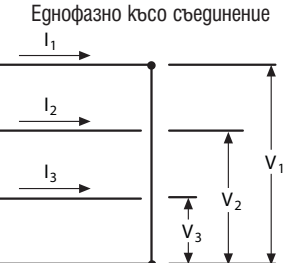
За фазите, засегнати от повреда, за които $\bar{V}_d = \bar{V}_i = \frac{\bar{V}_1}{2}$, се получава:

$$\bar{V}_2 = \bar{V}_3 = -\frac{\bar{V}_1}{2} = \frac{\bar{Z}_i \cdot \bar{E}_d}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_i}$$

Вземайки за образец предния пример, можем да анализираме всички типове повреди и да изразим тока и напрежението на повреда като функция на импедансите на системите с права, обратна и нулева последователност.

6 Изчисляване тока на късо съединение

В Таблица 1 по-долу е направено обобщение:

Тип на повреждата	Условия на повреждата	Ток	Напрежение на фазите
Трифазно късо съединение	 $\overline{V_1} = \overline{V_2} = \overline{V_3}$ $\overline{I_1} + \overline{I_2} + \overline{I_3} = 0$	$ \overline{I_{k3}} = \overline{I_1} = \frac{U_n}{\sqrt{3} \cdot \overline{Z_d} }$	$\overline{V_1} = \overline{V_2} = \overline{V_3} = 0$
Късо съединение линия - линия	 $\overline{V_2} = \overline{V_3}$ $\overline{I_2} = -\overline{I_3}$	$ \overline{I_{k2}} = \overline{I_2} = \frac{U_n}{ \overline{Z_d} + \overline{Z_1} }$	$ \overline{V_1} = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot U_n \cdot \left \frac{\overline{Z_1}}{\overline{Z_d} + \overline{Z_1}} \right $ $ \overline{V_2} = \overline{V_3} = \frac{U_n}{\sqrt{3}} \cdot \left \frac{\overline{Z_1}}{\overline{Z_d} + \overline{Z_1}} \right $
Късо съединение линия – линия със заземяване	 $\overline{V_2} = \overline{V_3} = 0$ $\overline{I_1} = 0$ $ \overline{I_{ground}} = \overline{I_2} + \overline{I_3} = U_n \cdot \left \frac{\overline{Z_1}}{\overline{Z_d} \cdot \overline{Z_1} + \overline{Z_1} \cdot \overline{Z_0} + \overline{Z_0} \cdot \overline{Z_d}} \right $	$ \overline{I_2} = U_n \cdot \left \frac{(1 + \alpha^2) \cdot \overline{Z_1} + \overline{Z_0}}{\overline{Z_d} \cdot \overline{Z_1} + \overline{Z_1} \cdot \overline{Z_0} + \overline{Z_0} \cdot \overline{Z_d}} \right $ $ \overline{I_3} = U_n \cdot \left \frac{(1 + \alpha) \cdot \overline{Z_1} + \overline{Z_0}}{\overline{Z_d} \cdot \overline{Z_1} + \overline{Z_1} \cdot \overline{Z_0} + \overline{Z_0} \cdot \overline{Z_d}} \right $	$\overline{V_2} = \overline{V_3} = 0$ $ \overline{V_1} = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot \left \frac{\overline{Z_1} \cdot \overline{Z_0}}{\overline{Z_d} \cdot \overline{Z_1} + \overline{Z_1} \cdot \overline{Z_0} + \overline{Z_0} \cdot \overline{Z_d}} \right $
Еднофазно късо съединение	 $\overline{V_1} = 0$ $\overline{I_2} = \overline{I_3} = 0$	$ \overline{I_{k1}} = \overline{I_1} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_n}{ \overline{Z_d} + \overline{Z_1} + \overline{Z_0} }$	$\overline{V_1} = 0$ $ \overline{V_2} = U_n \cdot \left \frac{\overline{Z_1} - \alpha \cdot \overline{Z_0}}{\overline{Z_d} + \overline{Z_1} + \overline{Z_0}} \right $ $ \overline{V_3} = U_n \cdot \left \frac{-\alpha \cdot \overline{Z_1} + \overline{Z_0}}{\overline{Z_d} + \overline{Z_1} + \overline{Z_0}} \right $

6 Изчисляване на тока на късо съединение

6.5.4 Права, обратни и нулеви последователности на импеданси на късо съединение на електрическо оборудване

Всеки компонент на електрическа мрежа (система – трансформатор – генератор – кабел) може да се представи с права, обратна и нулева последователност на импеданса.

Система

Под „система“ се разбира електроразпределителната мрежа (обикновено CrN), от която се захранва инсталацията. Тя се характеризира с елементи с права и обратна последователност, като импедансът с нулева последователност не се взема под внимание, тъй като свързаните в триъгълник намотки на първичната схема на трансформатора ограничават тока с нулева последователност. Що се отнася до съществуващите импеданси, може да се запише:

$$Z_d = Z_i = Z_{NET} \frac{U_r}{\sqrt{3} \cdot I_{k3}}$$

Трансформатор

Той се характеризира с елементи с права и обратна последователност; освен това като функция на свързването на намотките и на разпределителната система откъм страната НН може да има също и компонент с нулева последователност.

Следователно, може да се каже, че:

$$Z_d = Z_i = Z_T = \frac{u_k \%}{100} \cdot \frac{U_r^2}{S_r}$$

където компонента с нулева последователност може да се изрази като:

$Z_0 = Z_T$, когато е възможен поток на токове с нулева последователност в двете намотки

$Z_0 = \infty$, когато не е възможен поток на токове с нулева последователност в двете намотки

Кабел

Той се характеризира с елементи с права, обратна и нулева последователност, които варират като функция на обратния път на тока на късо съединение.

Що се отнася до компонентите с права и обратна последователност може да се каже, че:

$$Z_d = Z_i = Z_c = R_c + j X_c$$

За да се оцени импеданса с нулева последователност е необходимо да се познава пътя на затваряне на тока:

$$Z_o = Z_c + j3 \cdot Z_{nc} = (R_c + 3 \cdot R_{nc}) + j(X_c + 3 \cdot X_{nc})$$

Обратен път през неутралния проводник (повреда фаза-неутрала)

$$Z_o = Z_c + j3 \cdot Z_{pec} = (R_c + 3 \cdot R_{pec}) + j(X_c + 3 \cdot X_{pec})$$

Обратен път през защитния проводник (повреда фаза-РЕ в TN-S система)

$$Z_o = Z_{ec} + j3 \cdot Z_{ec} = (R_c + 3 \cdot R_{ec}) + j(X_c + 3 \cdot X_{ec})$$

Обратен път през заземителния проводник (повреда фаза-заземление в TT система)

където:

- Z_c , R_c и X_c се отнасят за линейния проводник;
- Z_{nc} , R_{nc} и X_{nc} се отнасят за неутралния проводник;
- Z_{pec} , R_{pec} и X_{pec} се отнасят за защитния проводник РЕ;
- Z_{ec} , R_{ec} и X_{ec} се отнасят за заземителния проводник.

6 Изчисляване тока на късо съединение

Синхронни генератори

Казано най-общо, реактивните съпротивления с права, обратна и нулева последователност на синхронните генератори (както и на електродвигателите) имат различни стойности. За правата последователност се използва само свръхпреходното реактивно съпротивление X''_d , тъй като в този случай изчисляването на тока на повредата има най-високата стойност.

Реактивното съпротивление с обратна последователност е много променливо, варира между стойностите на X''_d и X''_q . В началните моменти на късото съединение X''_d и X''_q не се различават много и затова можем да приемем, че $X_i = X''_d$. Обратно, ако X''_d и X''_q се различават съществено е възможно да има стойност равна на средната стойност на двете реактивни съпротивления, т.е. получава се:

$$X_i = \frac{X''_d + X''_q}{2}$$

Реактивното съпротивление с нулева последователност също е много променливо и стойността му е по-малка от стойностите на другите две споменати по-горе. За него може да се приеме стойност равна от 0,1 до 0,7 пъти реактивното съпротивление с обратна или права последователност и може да се изчисли по следния начин:

$$X_o = \frac{x_o\%}{100} \cdot \frac{U_r^2}{S_r}$$

където $x_o\%$ е параметър, характерен за машината. Освен това, компонентът с нулева последователност се влияе също така и от типа на заземяване на генератора, което се отразява чрез въвеждане на параметрите R_G и X_G . Това са съответно съпротивлението на заземлението и реактивното съпротивление на генератора. Ако звездната точка на генератора е недостъпна или по някакъв начин незаземена, импеданса на заземлението е ∞ .

Като обобщение, трябва да се вземат предвид следните изрази за импедансите:

$$\begin{aligned} Z_d &= (R_a + j \cdot X''_d) \\ Z_i &= (R_a + j \cdot X''_d) \\ Z_o &= R_a + 3 R_G + j \cdot (X_o + 3 \cdot X_G) \end{aligned}$$

където R_a е съпротивлението на статора, дефинирано като $R_a = \frac{X''_d}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot T_a}$, като T_a е времевата константа на статора.

6 Изчисляване тока на късо съединение

Товари

Ако товарът е пасивен, импедансът трябва да се приеме за безкрайност.

Ако товарът не е пасивен, какъвто може да бъде при асинхронните двигатели, възможно е да се приеме, че машината е представена с импеданса Z_M за правата и обратната последователност. Като за нулевата последователност стойността Z_{0M} трябва да е дадена от производителя. Освен това, ако двигателите не са заземени, импедансът на нулевата последователност трябва да бъде ∞ .

Следователно:

$$Z_d = Z_i = Z_M = (R_M + j \cdot X_M)$$

при Z_M е равен на:

$$Z_M = \frac{U_r^2}{I_{LR}} \cdot \frac{1}{S_r}$$

където:

I_{LR} е стойността на тока, когато роторът е блокиран от двигателя;

I_r е номиналният ток на двигателя.;

$$S_r = \frac{P_r}{(\eta \cdot \cos \varphi_r)} \text{ е номиналната привидна мощност на двигателя;}$$

Отношението $\frac{R_M}{X_M}$ е добре известно; за двигатели НН това отношение може да се приеме за равно на 0,42

$$X_M = \frac{Z_M}{\sqrt{1 + \left(\frac{R_M}{X_M}\right)^2}}$$

при $X_M = 0,922 \cdot Z_M$.

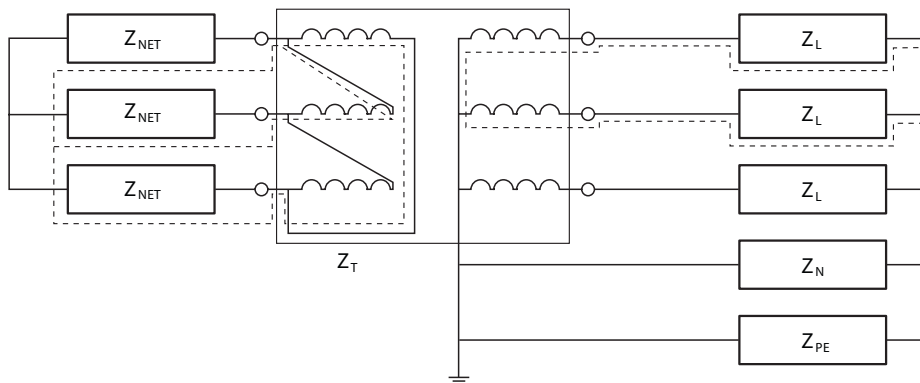
6 Изчисляване тока на късо съединение

6.5.5 Формули за изчисляване на токовете на повреда като функция на електрическите параметри на инсталацията

Чрез Таблица 1 и формулите дадени за импедансите на последователностите изразени като функция на електрическите параметри на компонентите на инсталацията може да се изчислят различните токове на късо съединение.

В следващия пример се разглежда мрежа с трансформатор СрН/НН с първична намотка тип триъгълник и вторична намотка със заземен звезден център и се приема повреда линия-линия в посока обратна на захранването(в посока товара) спрямо кабелната разпределителна линия.

Фигура 6



Прилагаме алгебрата на последователностите:

$$I_{k2} = \frac{\sqrt{3} \cdot E_d}{(Z_d + Z_i)}$$

Импедансите, съответстващи на правата и обратната последователност, които разглеждаме са:

$$Z_d = Z_i = Z_{NET} + Z_T + Z_L$$

Приемайки, че $E_d = \frac{U_r}{\sqrt{3}}$, получаваме следното:

$$I_{k2} = \frac{\sqrt{3} \cdot E_d}{(Z_d + Z_i)} = \frac{U_r}{2 \cdot (Z_{NET} + Z_T + Z_L)}$$

където:

U_r е номиналното напрежение на страна НН;

Z_T е импедансът на трансформатора;

Z_L е импедансът на фазовия проводник;

Z_{NET} е импедансът на мрежата от страна на захранването.

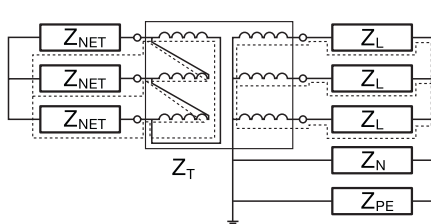
Вземайки за образец горния пример, можем да получим Таблица 2 по-долу, която дава изрази за токовете на късо съединение според различните типологии на повреда.

6 Изчисляване на тока на късо съединение

Таблица 2

Трифазна повреда

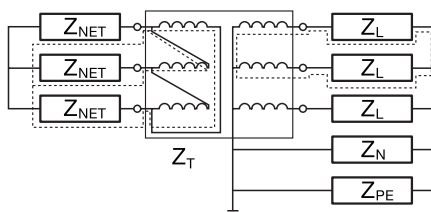
I_{k3}



$$I_{k3} = \frac{U_r}{\sqrt{3} \cdot (Z_{NET} + Z_T + Z_L)}$$

Повреда линия – линия

I_{k2}

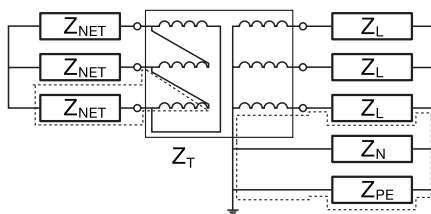


$$I_{k2} = \frac{U_r}{2 \cdot (Z_{NET} + Z_T + Z_L)}$$

Еднофазна повреда

I_{k1}

(линия – неутрала
или линия – PE)



$$I_{k1} = \frac{U_r}{\sqrt{3} \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot Z_{NET} + Z_T + Z_L + Z_{PE} \right)}$$

$$I_{k1} = \frac{U_r}{\sqrt{3} \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot Z_{NET} + Z_T + Z_L + Z_N \right)}$$

Където:

U_r е номиналното напрежение на страна НН

Z_T е импедансът на трансформатора

Z_L е импедансът на фазовия проводник

Z_{NET} е импедансът на мрежата преди захранването

Z_{PE} е импедансът на защитния проводник (PE)

Z_N е импедансът на неутралния проводник

6 Изчисляване тока на късо съединение

В Таблица 3 по-долу са обобщени зависимостите за тока на повреда, отчитайки дефинираната или безкрайната стойност на мощността на мрежата от страна на захранването и разстоянието от точката на повреда до трансформатора.

Таблица 3

	Дефинирана стойност на мощност на мрежата преди захранването		Безкрайна мощност на мрежата преди захранването $Z_{NET} \rightarrow 0$	
	Далеч от трансформатора	Близо до трансформатора $Z_L \rightarrow 0, Z_{PE} (o Z_N) \gg 0$	Далеч от трансформатора	Близо до трансформатора $Z_L \rightarrow 0, Z_{PE} (o Z_N) \gg 0$
I_{k3}	$I_{k3} = \frac{U_r}{\sqrt{3} \cdot (Z_{NET} + Z_T + Z_L)}$	$I_{k3} = \frac{U_r}{\sqrt{3} \cdot (Z_{NET} + Z_T)}$	$I_{k3} = \frac{U_r}{\sqrt{3} \cdot (Z_T + Z_L)}$	$I_{k3} = \frac{U_r}{\sqrt{3} \cdot (Z_T)}$
I_{k2}	$I_{k2} = \frac{U_r}{2 \cdot (Z_{NET} + Z_T + Z_L)}$	$I_{k2} = \frac{U_r}{2 \cdot (Z_{NET} + Z_T)}$	$I_{k2} = \frac{U_r}{2 \cdot (Z_T + Z_L)}$	$I_{k2} = \frac{U_r}{2 \cdot (Z_T)}$
	$I_{k2} < I_{k3}$	$I_{k2} = 0.87 \cdot I_{k3}$	$I_{k2} = 0.87 \cdot I_{k3}$	$I_{k2} = 0.87 \cdot I_{k3}$
I_{k1}	$I_{k1} = \frac{U_r}{\sqrt{3} \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot Z_{NET} + Z_T + Z_L + Z_{PE} \right)}$	$I_{k1} = \frac{U_r}{\sqrt{3} \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot Z_{NET} + Z_T \right)}$	$I_{k1} = \frac{U_r}{\sqrt{3} \cdot (Z_T + Z_L + Z_{PE})}$	$I_{k1} = \frac{U_r}{\sqrt{3} \cdot (Z_T)}$
	$I_{k1} > I_{k3}$ if $Z_{NET} > 3 \cdot Z_{PE}$	$I_{k1} > I_{k3}$	$I_{k1} \leq I_{k3}$	$I_{k1} = I_{k3}$

6 Изчисляване тока на късо съединение

6.6 Изчисляване на върховата стойност на тока на късо съединение

Електродинамичните въздействия на тока на късо съединение са особено опасни за шинопроводящите канали, но те могат да повредят и кабелите.

Пиковият ток е важен също така за пресмятане стойността на I_{ct} на прекъсвача.

Стойността на I_{ct} е свързана също така със стойността на I_{cu} съгласно Таблица 16 на стандарта IEC 60947-1. Съотнесено към тока на късо съединение на инсталацията, трябва да бъде изпълнено $I_{ct} > I_{kp}$.

Пиковият ток на инсталацията може да се изчисли по следната формула (виж стандарт 60909-0):

$$I_{kp} = I_k'' \cdot \sqrt{2} \cdot \left(1.02 + 0.98 \cdot e^{-\frac{3 \cdot R}{X}} \right)$$

където:

- I_k'' е токът на късо съединение (средноквадратична стойност) в началния момент на късото съединение;
- R е съпротивителната компонента на импеданса на късо съединение на мястото на повредата;
- X е реактивната компонента на тока на късо съединение на мястото на повредата.

Когато е известен факторът на мощността $\cos \varphi_k$ е възможно да се напише:

$$I_{kp} = I_k'' \cdot \sqrt{2} \cdot \left(1.02 + 0.98 \cdot e^{-\frac{3}{\tan \varphi_k}} \right)$$

6 Изчисляване тока на късо съединение

6.7 Участие на непрекъсваемите токозахранващи устройства (UPS) в тока на късо съединение

В този раздел е отделено особено внимание на непрекъсваемите токозахранващи устройства (UPS) с двойно преобразуване или он-лайн непрекъсваеми токозахранващи устройства (UPS), спадащи към категорията VFI (Voltage and Frequency Independent). При тях изходното напрежение е независимо от промените в мрежовото напрежение, а промените в честотата се регулират в рамките на стандартните граници предписани от стандарта; тази система се характеризира със следните работни характеристики:

- При нормални работни условия, при наличие на мрежово напрежение товарът се захранва от самата мрежа през непрекъсваемото токозахранващо устройство (UPS);
- При аварийни условия (липса на мрежа) захранването към товара се осигурява от батерията и инвертора („захранване остров“ с отделено от мрежата непрекъсваемо токозахранващо устройство (UPS));
- При кратковременен свръхток, необходим на товара (например пуск на двигател), електрозахранването на товара е гарантирано от мрежата чрез статичен превключвател, който отделя непрекъсваемото токозахранващо устройство (UPS);
- При работи по поддръжка, например, при повреда на непрекъсваемото токозахранващо устройство (UPS), товарът се захранва от мрежата чрез ръчен байпасен превключвател, като временно отпада разполагаемостта на аварийното захранване.

По отношение на оразмеряването на защитите от страна на захранването спрямо непрекъсваемото токозахранващо устройство (UPS) е необходимо да се познават характеристиките на мрежовото напрежение и на тока на късо съединение. За оразмеряване на защитите от страната на товара е необходимо да се познават стойностите на тока, преминаващ през непрекъсваемото токозахранващо устройство (UPS).

Ако електрозахранването на товарите се извършва директно от мрежата чрез ръчен байпас, то прекъсвачът от страната на товара трябва да има изключвателна способност (I_{cu}) подходяща за тока на късо съединение на мрежата от страна на захранването.

Освен това, ако е необходимо, трябва да се направи оценка на координирането на защитата по отношение на работните условия.

6 Изчисляване тока на късо съединение

Във всички случаи, за да се изберат подходящите защити е важно да се разграничават следните два вида работни условия за непрекъсваемото токозахранващо устройство (UPS):

1) Непрекъсваемо токозахранващо устройство (UPS) при нормални работни условия

А) Състояние на претоварване:

- ако се дължи на повреда на батерията, това състояние засяга само прекъсвача от захранващата страна на непрекъсваемото токозахранващо устройство (UPS) (също е вероятна намесата на защитите на батерията);

- ако се дължи на товара, това състояние може да не повлияе на непрекъсваемото токозахранващо устройство (UPS), което е в режим на байпас посредством статичния преобразувател.

В) Състояние на късо съединение:

Токът на късо съединение е ограничен чрез оразмеряването на тиристорите на мостовия инвертор. На практика непрекъсваемото токозахранващо устройство (UPS) може да захранва максимален ток на късо съединение, равен на 150 до 200% от номиналната стойност. В случай на късо съединение инверторът подава максимален ток за ограничено време (няколкостотин милисекунди) и след това превключва към мрежата, така че захранването към товара се осъществява през веригата на байпаса.

В този случай селективността между прекъсвача от страна на захранването и този от страната на товара е много важна, за да бъде изключен само товарът засегнат от повреда.

Веригата на байпаса, която се нарича още статичен превключвател, е формирана от тиристири, защитени от свръхбързи стопяеми предпазители и може да захранва товара с по-висок ток отколкото инвертора; този ток се ограничава от параметрите на използваните тиристири, от инсталираната мощност и от осигурените защити.

Тиристорите във веригата на байпаса обикновено се оразмеряват така, че да издържат на следните условия на претоварване:

125% за 600 секунди
150% за 60 секунди
700% за 600 милисекунди
1000% за 100 милисекунди

По-подробни данни могат да се получат от техническата информация, предоставена от производителя.

6 Изчисляване тока на късо съединение

2) Непрекъсваемо токозахранващо устройство (UPS) при аварийни работни условия

А) Условия на претоварване:

Това условие засяга само прекъсвача от страната на товара, поддържа се от батерията и има следните възможности на претоварване, изчислени обикновено в дадения порядък:

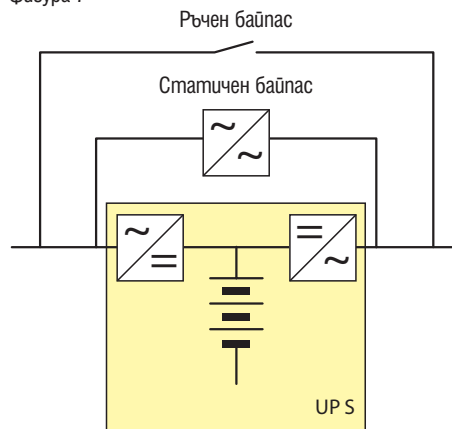
$1,15 \times I_n$	за безкрайно време
$1,25 \times I_n$	за 600 секунди
$1,5 \times I_n$	за 60 секунди
$2 \times I_n$	за 1 секунда

По-подробни данни могат да се получат от техническата информация предоставена от производителя.

В) Условия на късо съединение:

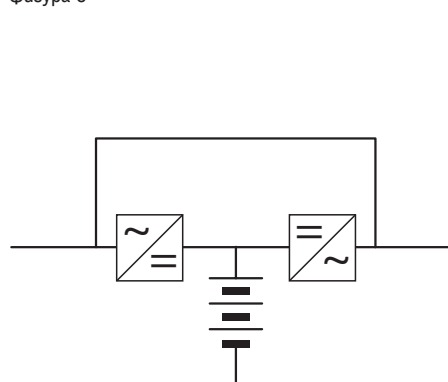
Максималният ток към товара се ограничава само от веригата на инвертора (до стойности от 150 до 200% от номиналната стойност). Инверторът захранва късото съединение за определен период от време, обикновено до няколко милисекунди, след което непрекъсваемо токозахранващо устройство (UPS) прекъсва веригата на товара, оставяйки го без захранване. В този режим на работа е необходима селективност между прекъсвача от страната на товара и инвертора, което е доста трудно постижимо изискване поради много малките времена на изключване на инверторното защитно устройство.

Фигура 7



Он-лайн непрекъсваемо токозахранващо устройство (UPS) със статичен превключвател

Фигура 8



Оф-лайн непрекъсваемо токозахранващо устройство (UPS): товарите се захранват директно от мрежата

6 Изчисляване на тока на късо съединение

Общ товар

Формулата за изчисляване на тока на товара за общ товар е:

$$I_b = \frac{P}{k \cdot U_r \cdot \cos \varphi}$$

където:

- P е активната мощност [W];
- k е коефициент със стойност:
 - 1 за еднофазни системи или постоянно токови системи;
 - 3 за трифазни системи;
- U_r е номиналното напрежение [V] (за трифазни системи това е линейното напрежение, за еднофазни системи това е фазовото напрежение);
- $\cos \varphi$ е фактора на мощността.

От Таблица 1 може да се определи тока на товара за някои стойности на мощността му в зависимост от номиналното напрежение. Таблицата е изчислена на базата на $\cos \varphi = 0,9$; за други стойности на фактора на мощността стойността от Таблица 1 трябва да бъде умножена с коефициента даден в Таблица 2, съответстващ на действителната стойност на фактора на мощността ($\cos \varphi_{act}$).

Таблица 1: Ток на товара за трифазни системи с $\cos \varphi = 0,9$

	U_r [V]						
	230	400	415	440	500	600	690
P [kW]	I_b [A]						
0.03	0.08	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03
0.04	0.11	0.06	0.06	0.06	0.05	0.04	0.04
0.06	0.17	0.10	0.09	0.09	0.08	0.06	0.06
0.1	0.28	0.16	0.15	0.15	0.13	0.11	0.09
0.2	0.56	0.32	0.31	0.29	0.26	0.21	0.19
0.5	1.39	0.80	0.77	0.73	0.64	0.53	0.46
1	2.79	1.60	1.55	1.46	1.28	1.07	0.93
2	5.58	3.21	3.09	2.92	2.57	2.14	1.86
5	13.95	8.02	7.73	7.29	6.42	5.35	4.65
10	27.89	16.04	15.46	14.58	12.83	10.69	9.30
20	55.78	32.08	30.92	29.16	25.66	21.38	18.59
30	83.67	48.11	46.37	43.74	38.49	32.08	27.89
40	111.57	64.15	61.83	58.32	51.32	42.77	37.19
50	139.46	80.19	77.29	72.90	64.15	53.46	46.49
60	167.35	96.23	92.75	87.48	76.98	64.15	55.78
70	195.24	112.26	108.20	102.06	89.81	74.84	65.08
80	223.13	128.30	123.66	116.64	102.64	85.53	74.38
90	251.02	144.34	139.12	131.22	115.47	96.23	83.67
100	278.91	160.38	154.58	145.80	128.30	106.92	92.97
110	306.80	176.41	170.04	160.38	141.13	117.61	102.27
120	334.70	192.45	185.49	174.95	153.96	128.30	111.57
130	362.59	208.49	200.95	189.53	166.79	138.99	120.86
140	390.48	224.53	216.41	204.11	179.62	149.68	130.16
150	418.37	240.56	231.87	218.69	192.45	160.38	139.46
200	557.83	320.75	309.16	291.59	256.60	213.83	185.94

6 Изчисляване тока на късо съединение

	U_r [V]						
	230	400	415	440	500	600	690
P [kW]	I_b [A]						
250	697.28	400.94	386.45	364.49	320.75	267.29	232.43
300	836.74	481.13	463.74	437.39	384.90	320.75	278.91
350	976.20	561.31	541.02	510.28	449.05	374.21	325.40
400	1115.65	641.50	618.31	583.18	513.20	427.67	371.88
450	1255.11	721.69	695.60	656.08	577.35	481.13	418.37
500	1394.57	801.88	772.89	728.98	641.50	534.58	464.86
550	1534.02	882.06	850.18	801.88	705.65	588.04	511.34
600	1673.48	962.25	927.47	874.77	769.80	641.50	557.83
650	1812.94	1042.44	1004.76	947.67	833.95	694.96	604.31
700	1952.39	1122.63	1082.05	1020.57	898.10	748.42	650.80
750	2091.85	1202.81	1159.34	1093.47	962.25	801.88	697.28
800	2231.31	1283.00	1236.63	1166.36	1026.40	855.33	743.77
850	2370.76	1363.19	1313.92	1239.26	1090.55	908.79	790.25
900	2510.22	1443.38	1391.21	1312.16	1154.70	962.25	836.74
950	2649.68	1523.56	1468.49	1385.06	1218.85	1015.71	883.23
1000	2789.13	1603.75	1545.78	1457.96	1283.00	1069.17	929.71

Таблица 2: Корекционен коефициент за ток на товара с фактор на мощността $\cos \varphi$, различен от 0,9

$\cos \varphi_{act}$	1	0.95	0.9	0.85	0.8	0.75	0.7
$k_{\cos \varphi}$	0.9	0.947	1	1.059	1.125	1.2	1.286

*За стойности $\cos \varphi_{act}$, които не се съдържат в таблицата, $k_{\cos \varphi} = \frac{0.9}{\cos \varphi_{act}}$

Таблица 3 дава възможността да се определи тока на товара за някои стойности на мощността му в зависимост от номиналното напрежение. Таблицата е изчислена на базата на $\cos \varphi = 1$; за други стойности на фактора на мощността стойността от тук трябва да бъде умножена с коефициента даден в Таблица 4, съответстващ на действителната стойност на фактора на мощността ($\cos \varphi_{act}$).

Таблица 3: Ток на товара за еднофазни системи с $\cos \varphi = 1$ или постоянно токови системи

	U_r [V]						
	230	400	415	440	500	600	690
P [kW]	I_b [A]						
0.03	0.13	0.08	0.07	0.07	0.06	0.05	0.04
0.04	0.17	0.10	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06
0.06	0.26	0.15	0.14	0.14	0.12	0.10	0.09
0.1	0.43	0.25	0.24	0.23	0.20	0.17	0.14
0.2	0.87	0.50	0.48	0.45	0.40	0.33	0.29
0.5	2.17	1.25	1.20	1.14	1.00	0.83	0.72
1	4.35	2.50	2.41	2.27	2.00	1.67	1.45
2	8.70	5.00	4.82	4.55	4.00	3.33	2.90
5	21.74	12.50	12.05	11.36	10.00	8.33	7.25
10	43.48	25.00	24.10	22.73	20.00	16.67	14.49
20	86.96	50.00	48.19	45.45	40.00	33.33	28.99

Приложение А: Изчисляване тока на товара I_b

P [kW]	U _r [V]						
	230	400	415	440	500	600	690
I _b [A]							
30	130.43	75.00	72.29	68.18	60.00	50.00	43.48
40	173.91	100.00	96.39	90.91	80.00	66.67	57.97
50	217.39	125.00	120.48	113.64	100.00	83.33	72.46
60	260.87	150.00	144.58	136.36	120.00	100.00	86.96
70	304.35	175.00	168.67	159.09	140.00	116.67	101.45
80	347.83	200.00	192.77	181.82	160.00	133.33	115.94
90	391.30	225.00	216.87	204.55	180.00	150.00	130.43
100	434.78	250.00	240.96	227.27	200.00	166.67	144.93
110	478.26	275.00	265.06	250.00	220.00	183.33	159.42
120	521.74	300.00	289.16	272.73	240.00	200.00	173.91
130	565.22	325.00	313.25	295.45	260.00	216.67	188.41
140	608.70	350.00	337.35	318.18	280.00	233.33	202.90
150	652.17	375.00	361.45	340.91	300.00	250.00	217.39
200	869.57	500.00	481.93	454.55	400.00	333.33	289.86
250	1086.96	625.00	602.41	568.18	500.00	416.67	362.32
300	1304.35	750.00	722.89	681.82	600.00	500.00	434.78
350	1521.74	875.00	843.37	795.45	700.00	583.33	507.25
400	1739.13	1000.00	963.86	909.09	800.00	666.67	579.71
450	1956.52	1125.00	1084.34	1022.73	900.00	750.00	652.17
500	2173.91	1250.00	1204.82	1136.36	1000.00	833.33	724.64
550	2391.30	1375.00	1325.30	1250.00	1100.00	916.67	797.10
600	2608.70	1500.00	1445.78	1363.64	1200.00	1000.00	869.57
650	2826.09	1625.00	1566.27	1477.27	1300.00	1083.33	942.03
700	3043.48	1750.00	1686.75	1590.91	1400.00	1166.67	1014.49
750	3260.87	1875.00	1807.23	1704.55	1500.00	1250.00	1086.96
800	3478.26	2000.00	1927.71	1818.18	1600.00	1333.33	1159.42
850	3695.65	2125.00	2048.19	1931.82	1700.00	1416.67	1231.88
900	3913.04	2250.00	2168.67	2045.45	1800.00	1500.00	1304.35
950	4130.43	2375.00	2289.16	2159.09	1900.00	1583.33	1376.81
1000	4347.83	2500.00	2409.64	2272.73	2000.00	1666.67	1449.28

Таблица 4: Корекционен коефициент за тока на товара с фактор на мощността $\cos\varphi$, различен от 1

$\cos\varphi_{act}$	1	0.95	0.9	0.85	0.8	0.75	0.7
$k_{\cos\varphi}$	1	1.053	1.111	1.176	1.25	1.333	1.429

* За стойности $\cos\varphi_{act}$, които не се съдържат в таблицата, $k_{\cos\varphi} = \frac{1}{\cos\varphi_{act}}$

Осветителни системи

Токът, потребяван от осветителните системи, може да се определи от каталога за осветителните устройства или да се изчисли приблизително по следната формула:

$$I_b = \frac{P_L n_L k_B k_N}{U_{rL} \cos\varphi}$$

където:

- P_L е мощността на лампата [W];
- n_L е броят на лампите за фаза;
- k_B е коефициент със стойност:
 - 1 за лампи, за които не са нужни спомагателни стартери;
 - 1,25 за лампи, за които са нужни спомагателни стартери;
- k_N е коефициент със стойност:
 - 1 за лампи свързвани тип звезда;
 - $\sqrt{3}$ за лампи свързвани тип триъгълник;
- U_{rL} е номиналното напрежение на лампите;
- $\cos\varphi$ е факторът на мощността на лампите със стойност:
 - 0,4 за лампи без компенсация;
 - 0,9 за лампи с компенсация.

Приложение А: Изчисляване тока на товара I_b Двигатели

В Таблица 5 се съдържат приблизителните стойности на тока на товара за някои трифазни двигатели с накъсо съединен ротор, 1500 об./мин. при 50 Hz в зависимост от номиналното напрежение.

Забележка: Тези стойности са дадени само за информация и могат да варират в зависимост от производителя на двигателя и броя на полюсите

Таблица 5: Ток на товара за двигатели

Мощност на двигателя		Номинален ток на двигателя при:							
[kW]	PS = hp	220-230 V [A]	240 V [A]	380-400 V [A]	415 V [A]	440 V [A]	500 V [A]	600 V [A]	660-690 V [A]
0.06	1/12	0.38	0.35	0.22	0.20	0.19	0.16	0.12	–
0.09	1/8	0.55	0.50	0.33	0.30	0.28	0.24	0.21	–
0.12	1/6	0.76	0.68	0.42	0.40	0.37	0.33	0.27	–
0.18	1/4	1.1	1	0.64	0.60	0.55	0.46	0.40	–
0.25	1/3	1.4	1.38	0.88	0.85	0.76	0.59	0.56	–
0.37	1/2	2.1	1.93	1.22	1.15	1.06	0.85	0.77	0.7
0.55	3/4	2.7	2.3	1.5	1.40	1.25	1.20	1.02	0.9
0.75	1	3.3	3.1	2	2	1.67	1.48	1.22	1.1
1.1	1.5	4.9	4.1	2.6	2.5	2.26	2.1	1.66	1.5
1.5	2	6.2	5.6	3.5	3.5	3.03	2.6	2.22	2
2.2	3	8.7	7.9	5	5	4.31	3.8	3.16	2.9
2.5	3.4	9.8	8.9	5.7	5.5	4.9	4.3	3.59	3.3
3	4	11.6	10.6	6.6	6.5	5.8	5.1	4.25	3.5
3.7	5	14.2	13	8.2	7.5	7.1	6.2	5.2	4.4
4	5.5	15.3	14	8.5	8.4	7.6	6.5	5.6	4.9
5	6.8	18.9	17.2	10.5	10	9.4	8.1	6.9	6
5.5	7.5	20.6	18.9	11.5	11	10.3	8.9	7.5	6.7
6.5	8.8	23.7	21.8	13.8	12.5	12	10.4	8.7	8.1
7.5	10	27.4	24.8	15.5	14	13.5	11.9	9.9	9
8	11	28.8	26.4	16.7	15.4	14.4	12.7	10.6	9.7
9	12.5	32	29.3	18.3	17	15.8	13.9	11.6	10.6
11	15	39.2	35.3	22	21	19.3	16.7	14.1	13
12.5	17	43.8	40.2	25	23	21.9	19	16.1	15
15	20	52.6	48.2	30	28	26.3	22.5	19.3	17.5
18.5	25	64.9	58.7	37	35	32	28.5	23.5	21
20	27	69.3	63.4	40	37	34.6	30.6	25.4	23
22	30	75.2	68	44	40	37.1	33	27.2	25
25	34	84.4	77.2	50	47	42.1	38	30.9	28
30	40	101	92.7	60	55	50.1	44	37.1	33
37	50	124	114	72	66	61.9	54	45.4	42
40	54	134	123	79	72	67	60	49.1	44
45	60	150	136	85	80	73.9	64.5	54.2	49
51	70	168	154	97	90	83.8	73.7	61.4	56
55	75	181	166	105	96	90.3	79	66.2	60
59	80	194	178	112	105	96.9	85.3	71.1	66
75	100	245	226	140	135	123	106	90.3	82
80	110	260	241	147	138	131	112	96.3	86
90	125	292	268	170	165	146	128	107	98
100	136	325	297	188	182	162	143	119	107
110	150	358	327	205	200	178	156	131	118
129	175	420	384	242	230	209	184	153	135
132	180	425	393	245	242	214	186	157	140
140	190	449	416	260	250	227	200	167	145
147	200	472	432	273	260	236	207	173	152
160	220	502	471	295	280	256	220	188	170
180	245	578	530	333	320	289	254	212	190
184	250	590	541	340	325	295	259	217	200
200	270	626	589	370	340	321	278	235	215
220	300	700	647	408	385	353	310	260	235
250	340	803	736	460	425	401	353	295	268
257	350	826	756	475	450	412	363	302	280
295	400	948	868	546	500	473	416	348	320
315	430	990	927	580	535	505	445	370	337
355	480	1080	1010	636	580	549	483	405	366
400	545	1250	1130	710	650	611	538	450	410
450	610	1410	1270	800	740	688	608	508	460
475	645	1490	1340	850	780	730	645	540	485
500	680	1570	1420	890	830	770	680	565	510
560	760	1750	1580	1000	920	860	760	630	570
600	810	–	–	1080	990	920	810	680	610
670	910	–	–	1200	1100	1030	910	760	680

Приложение В: Хармоници

Какво представляват те?

Всяка периодична форма на вълната може да бъде представена с помощта на хармоници; действително, съгласно теоремата на Фурие, всяка периодична функция с период T може да се представи като сума от:

- синусоида със същият период T ;
- няколко синусоида със същата честота като цяло кратно на основната;
- възможна непрекъсната компонента, ако функцията има средна стойност различна от нула в периода.

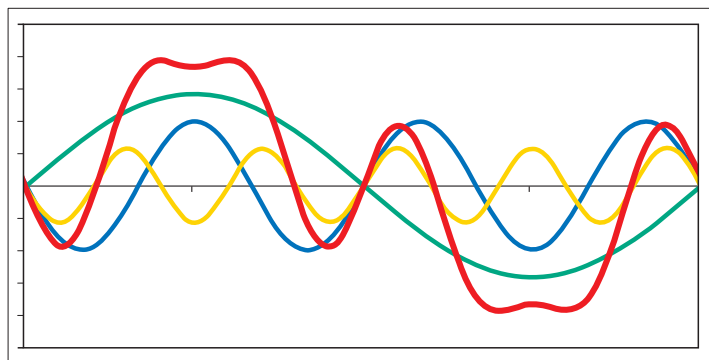
Хармоникът с честота, съответстваща на периода на форма на вълната се нарича основен, а хармоник с честота равна на n пъти основната се нарича хармонична компонента от n -ти ред.

Перфектната синусоидална форма на вълната, съответстваща на теоремата на Фурие, няма хармонични компоненти от ред различен от основния. Затова е разбираемо защо няма хармоници в електрическите системи, в които формата на вълната на тока и напрежението е синусоидална. Обратно, наличието на хармоници в електрическите системи е показател за смущения във формата на вълната на напрежението или тока и това подсказва, че тези смущения в електрическото захранване може да са причинени от неизправно функциониране на оборудването и защитните устройства.

Да обобщим: хармониците не са нищо друго, освен компоненти на вълната при смущения. Тяхното познаване ни дава възможност да се анализира, която и да е периодична несинусоидална форма на вълната чрез различни компоненти на синусоидалната вълна.

Фигура 1 представлява графичен израз на тази концепция

Фигура 1



Легенда:

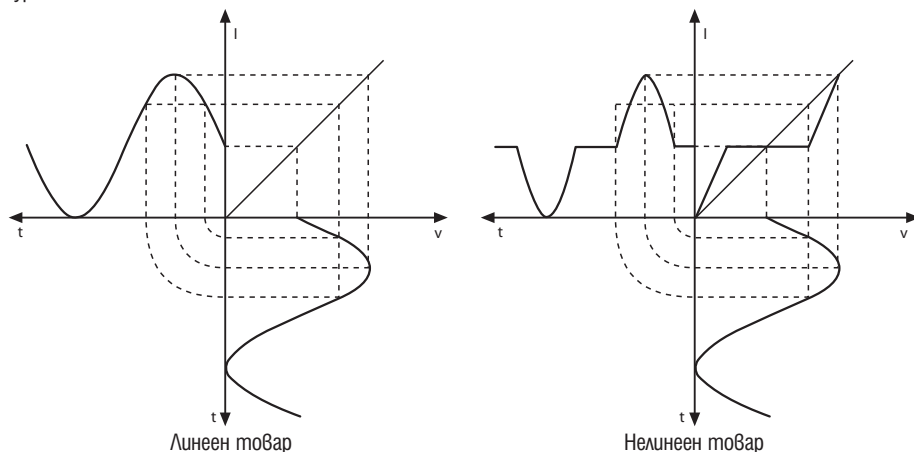
- Несинусоидална форма на вълната
- Първи хармоник (основен)
- Трети хармоник
- Пети хармоник

Приложение В: Хармоници

Как се генерират хармониците?

Хармониците се генерират от нелинейни товари. Когато приложим синусоидално напрежение към товар от този тип, ще получим ток с несинусоидална форма на вълната. Графиката на Фигура 2 илюстрира пример на несинусоидална форма на вълната на ток, дължаща се на нелинеен товар:

Фигура 2



Както беше казано, тази несинусоидална форма на вълната може да бъде разложена в хармоници. Ако импедансите на мрежата са много ниски, изкривяването на формата на напрежението произтичащо от хармонични токове е също ниско и рядко е над нивото на замърсяване, което съществува в мрежата. Като резултат мрежата може да остане практически синусоидална и при наличието на такива токови хармоници.

За да функционират правилно много електронни устройства се нуждаят от определена форма на вълната и затова трябва да „отрежат“ синусоидалната форма, така че да променят нейната средноквадратична стойност или да се получи постоянен ток от променливата стойност; в тези случаи токът в линията има несинусоидална графика.

Основните видове оборудване, генериращо хармоници, са:

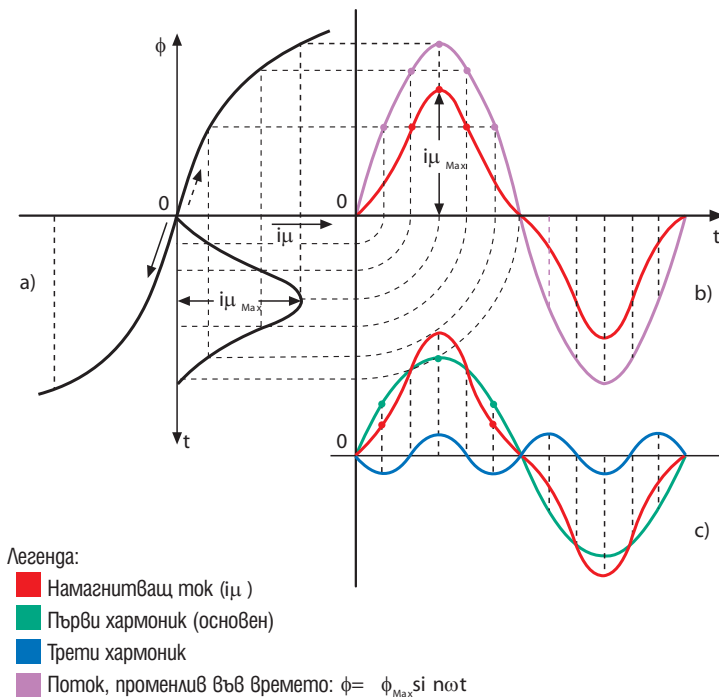
- персонални компютри;
- флуоресцентни лампи;
- статични преобразователи;
- устройства за непрекъсваемо захранване;
- задвижвания с променлива скорост;
- заваръчни апарати.

Най-общо, изкривяването на формата на вълната се дължи на наличието на мостови токоизправители вътре в това оборудване, чиито полупроводникови устройства провеждат тока само за част от целия период и така генерират прекъснати графики и произтичащото от това възникване на многобройни хармоници.

Приложение В: Хармоници

Трансформаторите също могат да са причина за замърсяване с хармоници; действително, прилагайки идеално синусоидално напрежение към трансформатор получаваме синусоидален намагнитващ поток, но поради процеса на магнитно насищане на желязото намагнитващият ток няма да бъде синусоидален. На Фигура 3 е показано графичното представяне на този процес:

Фигура 3



Резултантната форма на вълната на намагнитващия ток съдържа многобройни хармоници, най-големият от които е третият. Обаче, трябва да се има предвид, че намагнитващият ток най-често е малък процент от номиналния ток на трансформатора и въздействието на това изкривяване става все по-пренебрежимо, колкото по-натоварен е трансформаторът.

Въздействие

Основните проблеми причинявани от хармоничните токове са:

- 1) Претоварване на неутралата;
- 2) Увеличаване на загубите на трансформатора;
- 3) Увеличаване на ефекта на външния слой (скин ефекта).

Основните въздействия на хармоничните напрежения са:

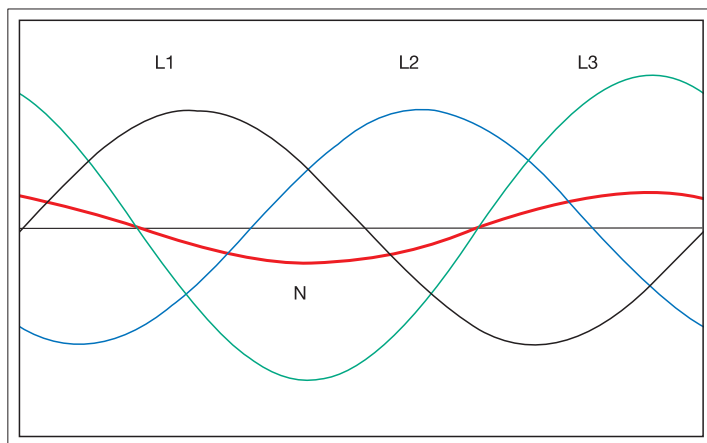
- 4) Деформиране на напрежението
- 5) Смущения във въртящия момент на индукционни двигатели

Приложение В: Хармоници

1) Претоварване на неутралата

В трифазни симетрични и балансирани системи с неутрала, формите на вълната между фазите се изместват със 120° фазов ъгъл, така че когато фазите са еднакво натоварени токът в неутралата е нулев. Наличието на небалансирани товари (фаза-към-фаза, фаза-към-неутрала и др.) води до протичане на небалансиран ток в неутралата.

Фигура 4



На Фигура 4 е показана небалансирана система от токове (фаза 3 е с товар 30% по-висок отколкото другите две фази), като резултатният ток в неутралата е обозначен в червено. При тези обстоятелства стандартът позволява неутралният проводник да се оразмерява със сечение по-малко от фазовите проводници. При наличие на товари, причиняващи изкривяване, е необходимо да се оцени точно въздействието на хармониците.

Въпреки, че токовете с основна честота в трите фази се компенсират взаимно, компонентите на третия хармоник, имащи период равен на една трета от основния (равен на фазовото отместване между фазите, виж Фигура 5), са във фаза един спрямо друг и следователно се сумират в неутралния проводник, натрупвайки се към останалите небалансирани токове.

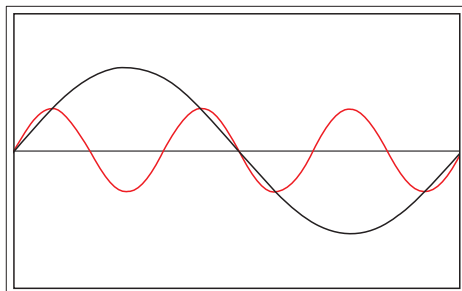
Същото важи и за хармониците от ред, кратен на три (четни и нечетни, макар че нечетните са по-разпространени).

Приложение В: Хармоници

Фигура 5

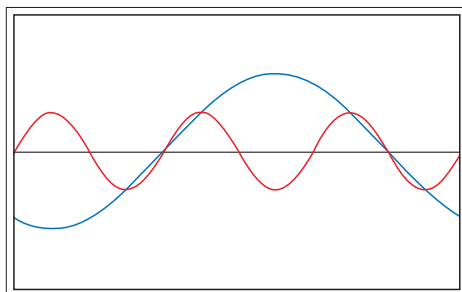
Фаза 1:

Основен хармоник и 3-ти хармоник



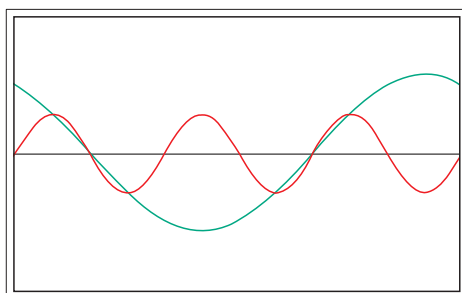
Фаза 2:

Основен хармоник и 3-ти хармоник

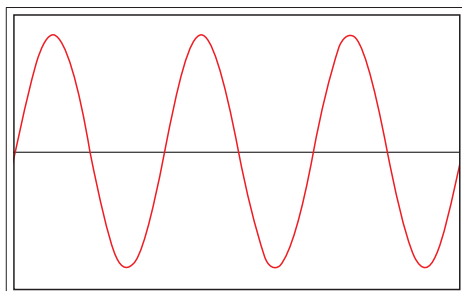


Фаза 3:

Основен хармоник и 3-ти хармоник



Резултанта на токовете от трите фази



Приложение В: Хармоници

2) Увеличаване на загубите в трансформаторите

Въздействието на хармониците вътре в трансформаторите има три основни аспекта:

а) увеличаване на загубите в желязото (загуби без товар)

б) увеличаване на загубите в медта

в) наличие на хармоници, циркулиращи в намотките

а) Загубите в желязото се дължат на процеса на хистерезис и на загубите, причинени от вихрови токове; загубите от хистерезис са пропорционални на честотата, докато загубите от вихрови токове зависят от квадрата на честотата.

б) Загубите в медта съответстват на мощността, разсеяна при ефекта на Джаул в намотките на трансформатора. Когато честотата нараства (започвайки от 350 Hz), токът започва да се уплътнява на повърхността на проводниците (ефект на външния слой или скин ефект); при тези обстоятелства проводникът разполага с по-малко сечение за протичане на тока, така загубите от ефекта на Джаул нарастват.

Тези два аспекта влияят на нагряването, което понякога е причина за намаляване на работните характеристики на трансформатора.

в) Третият аспект е свързан с ефекта на хармониците от ред, кратен на три (хомополярни хармоници) в намотките на трансформатора. При намотки свързани тип триъгълник хармониците се погасяват взаимно и не се разпространяват към мрежата, защото са във фаза. Поради това този тип свързване представляват бариера за хармониците от ред, кратен на три, но е необходимо да се отдели специално внимание на този вид хармонични компоненти за правилното оразмеряване на трансформатора.

3) Увеличаване на ефекта на външния слой (скин ефекта)

С нарастването на честотата, токът започва да тече предимно по външната повърхност на проводника. Това явление е известно като ефект на външния слой или скин ефект и е по-изявено при високи честоти. При 50 Hz честота на електрическото захранване ефектът на външния слой е пренебрежим, но при честота над 350 Hz, което съответства на 7-мия хармоник, сечението за протичане на тока намалява и така се увеличава съпротивлението и възникват допълнителни загуби и нагряване.

При наличие на хармоници от висок ред е необходимо да се вземе под внимание ефекта на външния слой (скин ефекта), тъй като той се отразява на работния живот на кабелите. За да се преодолее този проблем е възможно да се използват многожилни кабелни проводници или шинни системи, образувани от няколко едножилни изолирани проводници.

4) Деформиране на напрежението

Деформираният товарен ток, който се черпи от нелинейния товар, води до деформиране на пада на напрежение в импеданса на кабела. Резултатната изкривена форма на вълната на напрежението се прилага към всички останали товари, свързани към същата верига, което става причина за протичане на хармонични токове в тях, дори ако това са линейни товари.

Решението е да се отделят веригите, които захранват товари генериращи хармоници, от тези които захранват товари чувствителни към хармоници.

5) Смушения във въртящия момент на индукционни двигатели

Хармоничното изкривяване на напрежението води до увеличаване на загубите от вихровите токове, по същия начин както при трансформаторите. Допълнителните загуби се дължат на генериране на хармонични полета в статора, всяко от които се опитва да завърти двигателя с различна скорост, както напред (1-ви, 4-ти, 7-ми, ...), така и назад (2-ри, 5-ти, 8-ми, ...). Високочестотните токове индуцирани в ротора допълнително увеличават загубите.

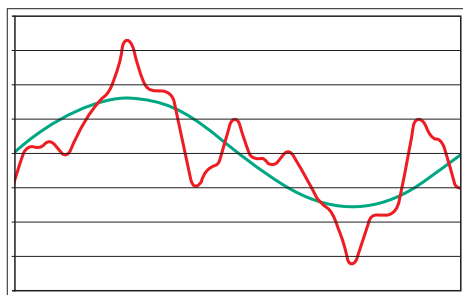
Приложение В: Хармоници

Основни формули

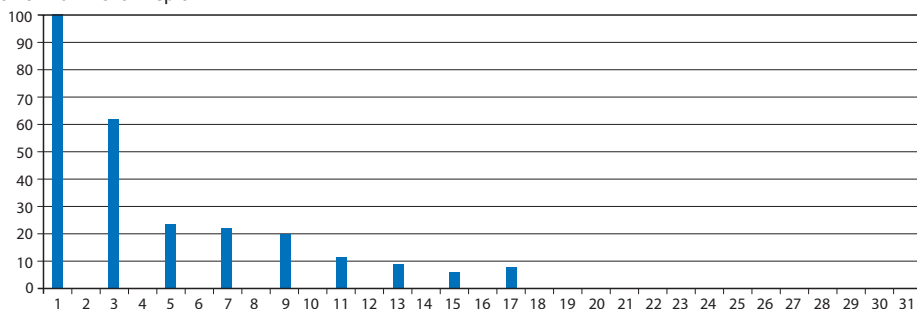
По-долу са дадени дефинициите на основните величини, най-често използвани при анализ на хармониците:

Честотен спектър

Честотният спектър е класическото представяне на съдържанието на хармоници във формата на вълната и се състои от хистограма, даваща стойността на всеки хармоник като процент от основната компонента. Например, за следната форма на вълната:



Честотният спектър е:



Честотният спектър представя големината на наличните хармонични компоненти.

Коефициент на амплитудата

Коефициентът на амплитудата се дефинира като отношението на пиковата стойност и средноквадратичната стойност на вълната:

$$k = \frac{I_p}{I_{rms}}$$

В случая на идеална синусоидална вълна, той е равен на $\sqrt{2}$, но при наличие на хармоници, той може да достигне по-високи стойности.

Високите стойности на коефициента на амплитудата могат да причинят нежелано изключване на защитните устройства.

Средноквадратична стойност

Средноквадратичната стойност на периодична форма на вълната "e(t)" се дефинира като:

$$E_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T e^2(t) dt}$$

където T е периодът.

Приложение В: Хармоници

Ако е известна средноквадратичната стойност на хармоничната компонента, лесно може да се изчисли общата средноквадратична стойност по следната формула:

$$E_{rms} = \sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} E_n^2}$$

Общо хармонично изкривяване (THD)

Общото хармонично изкривяване се дефинира като:

$$THD_i = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1} \quad \text{по ток:}$$

$$THD_u = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} U_n^2}}{U_1} \quad \text{по напрежение:}$$

Общото хармонично изкривяване е много важен параметър, който дава информация за хармоничното съдържание във формата на вълната на напрежението и тока и за необходимите мерки, които трябва да се предприемат в случай, че стойността му е висока. При $THD_i < 10\%$ и $THD_u < 5\%$ хармоничното съдържание се счита за пренебрежимо и като такова за неизискващо специални мерки.

Изисквания в стандартите за прекъсвачи

IEC 60947 Комплектни разпределителни уредби

Приложение F към стандарта IEC 60947-2 съдържа информацията относно направените изпитанията за проверяване на устойчивостта на блоковете за защита от свръхток спрямо хармоници.

В частност, там е описана формата на вълната на тествания ток, при който в съответствие с определени стойности на допълнителния ток защитният блок трябва да функционира съгласно предписанията на този стандарт.

По долу са изложени характеристиките на формата на вълната на тествания ток, който трябва да бъде образуван по следния начин:

1) С основна компонента и с 3-ти хармоник, вариращ между 72% и 88% от основната компонента, с коефициент на амплитудата равен на 2 или с 5-ти хармоник, вариращ между 15% и 55% от основната компонента и с коефициент на амплитудата равен на 1,9.

или

2) С основна компонента и с 3-ти хармоник, повече от 60% от основната компонента, с 5-ти хармоник, повече от 14% от основната компонента и със 7-ми хармоник повече от 7% от основната компонента. Тестваният ток трябва да има коефициент на амплитуда $\geq 2,1$ и трябва да протича за определено време ($\leq 42\%$ от времето на периода) на всяки полупериода.

Чрез формула (1) е възможно да се определи минималното сечение S на проводника, приемайки, че проводника е подложен на адиабатно нагряване от известна начална температура до определена крайна температура (приложимо, ако повредата продължава по-малко от 5 секунди):

$$S = \frac{\sqrt{I^2 t}}{k} \quad (1)$$

Приложение С: Изчисляване на коефициента k за кабели (k²S²)

където:

- S е сечението [mm²];
 - I е стойността (средноквадратична) на вероятния ток на повреда при пренебрежим импеданс, който може да протече през защитното устройство [A];
 - t е работното време на защитното устройство за автоматично изключване [s];
- k може да бъде взет от таблици 2 ÷ 7 или да се изчисли чрез формула (2)

k= √(Qc (B+20) ln (1+ (θi - θi) / B+θi) / ρ20) (2)

където:

- Qc е обемният топлинен капацитет на материала на проводника [J/°Cmm³] при 20°C;
- B е реципрочната стойност на температурният коефициент на специфично съпротивление при 0° C за проводника [°C];
- ρ20 е електрическото специфично съпротивление на материала на проводника при 20°C [Ωmm];
- θi е началната температура на проводника [°C];
- θf е крайната температура на проводника [°C].

В Таблица 1 са показани стойностите на описаните по-горе параметри.

Таблица 1: Стойности на параметрите за различни материали

Материал	B [°C]	Qc [J/°Cmm³]	ρ20 [Ωmm]	√(Qc (B+20) / ρ20)
Мег	234.5	3.45 ·10 ⁻³	17.241 ·10 ⁻⁶	226
Алуминий	228	2.5 ·10 ⁻³	28.264 ·10 ⁻⁶	148
Олово	230	1.45 ·10 ⁻³	214 ·10 ⁻⁶	41
Стомана	202	3.8 ·10 ⁻³	138 ·10 ⁻⁶	78

Таблица 2: Стойности на k за фазови проводници

Изоляция на проводника

	PVC 300 mm ²	PVC 300 mm ²	EPR XLPE	Каучук 60 °C	Минерална PVC	Неизолиран
Начална температура °C	70	70	90	60	70	105
Крайна температура °C	160	140	250	200	160	250
Материал на проводника:						
Мег	115	103	143	141	115	135/115 ^a
Алуминий	76	68	94	93	-	-
Връзки, споени с калай, в медни проводници	115	-	-	-	-	-

^a Тази стойност трябва да се използва за неизолирани кабели, достъпни за допир.

Таблица 3: Стойности на k за изолирани защитни проводници, които не са част от кабел и не са в сноп с други кабели

	Температура °C ^b		Материала на проводника		
Изоляция на проводника	Начална	Крайна	Мед	Алуминий Стойност на k	Стомана
70°C PVC	30	160/140 ^a	143/133 ^a	95/88 ^a	52/49 ^a
70°C PVC	30	160/140 ^a	143/133 ^a	95/88 ^a	52/49 ^a
90°C термопластмаса	30	250	176	116	64
60°C каучук	30	200	159	105	58
85°C каучук	30	220	166	110	60
Силиконов каучук	30	350	201	133	73

^a По-ниската стойност са отнася за проводници с PVC изолация със сечение по-голямо от 300 mm².

^b Температурните граници за различните видове изолация са определени в IEC 60724.

Приложение С: Изчисляване на коефициента k за кабели (k²S²)

Таблица 4: Стойности на k за неизолирани защитни проводници в контакт с кабелно покритие, но не в сноп с други кабели

Кабелно покритие	Температура °C a		Материала на проводника		
	Начална	Крайна	Мед	Алуминий Стойност на k	Стомана
PVC	30	200	159	105	58
Полиетилен	30	150	138	91	50
CSP	30	220	166	110	60

a Температурните граници за различните видове изолация са определени в IEC 60724.

Таблица 5: Стойности на k за защитни проводници, които са в сноп с други кабели, които са жила в кабели или са изолирани проводници

Изоляция на проводника	Температура °C b		Материала на проводника		
	Начална	Крайна	Мед	Алуминий Стойност на k	Стомана
70°C PVC	70	160/140 a	115/103 a	76/68 a	42/37 a
70°C PVC	90	160/140 a	100/86 a	66/57 a	36/31 a
90°C термопластмаса	90	250	143	94	52
60°C каучук	60	200	141	93	51
85°C каучук	85	220	134	89	48
Силиконов каучук	180	350	132	87	47

a По-ниската стойност се отнася за проводници с PVC изолация със сечение по-голямо от 300 mm².

b Температурните граници за различните видове изолация са определени в IEC 60724.

Таблица 6: Стойности на k за защитни проводници от метален слой, например броня, метална защитна обвивка, концентричен проводник и др.

Изоляция на проводника	Температура °C		Материала на проводника			
	Начална	Крайна	Мед	Алуминий Стойност на k	Олово	Стомана
70°C PVC	60	200	141	93	26	51
70°C PVC	80	200	128	85	23	46
90°C термопластмаса	80	200	128	85	23	46
60°C каучук	55	200	144	95	26	52
85°C каучук	75	220	140	93	26	51
Минерална PVC покритиеа	70	200	135	-	-	-
Минерална, голя защитна обвивка	105	250	135	-	-	-

a Тази стойност се използва и за неизолирани проводници, достъпни за допир или в контакт със запалим материал

Приложение С: Изчисляване на коефициента k за кабели (k²S²)

Таблица 7: Стойности на k за неизолирани проводници, където няма риск от увреждане на намиращите се в близост материали от указаната температура

Изоляция на проводника	Начална температура °C	Материала на проводника					
		Мед		Алуминий		Стомана	
		Стойност на k	Макс. температура °C	Стойност на k	Макс. температура °C	Стойност на k	Макс. температура °C
Видима и ограничена област	30	228	500	125	300	82	500
Нормални условия	30	159	200	105	200	58	200
Риск от пожар	30	138	150	91	150	50	150

Ръководство по електрически инсталации

Част 2

Устройства за защита и управление



1. Устройства за защита и управление

1.1. Етикети с номинални данни на прекъсвачи

Прекъсвачи в лят корпус: Tmax

Тип на прекъсвача			
Серия T	Тип	Крайна изключвателна способност на изключване при късо съединение при 415 V AC	Номинален непрекъснат ток
	1	B = 16 kA	160 A
	2	C = 25 kA	250 A
	3	N = 36 kA	320 A
	4	S = 50 kA	400 A
	5	H = 70 kA	400 A
	6	L = 85 kA (for T2)	630 A
	7	L = 120 kA (for T4-T5-T7)	800 A
		L = 100 kA (for T6)	1000 A
		V = 150 kA (for T7)	1250 A
		V = 200 kA	1600 A

Номинално изолационно напрежение **Ui**; т.е. максималната средноквадратична стойност на напрежението, на което прекъсвачът може да издържа при дадена честота на захранването и при определени тестови условия.

Номинално импулсно напрежение **Uimp**; т.е. върховата стойност на импулсното напрежение, на което прекъсвачът може да издържа при определени тестови условия

Tmax	T2L	160	Iu=160A Ue=690V Ui=800V Uimp=8kV						IEC 60947-2
Ue (V)	230	400/415	440	500	690	250	500	Made in Italy by ABB SACE	
Icu (kA)	150	85	75	50	10	85	85		
Ics (%Icu)	75	75	75	75	75	75	75		
Cat. A	 50-60Hz					2 P.  3 P in series			

Номинален продължителен ток **Iu**

Номинално работно напрежение **Ue**

Крайна изключвателна способност при късо съединение (**Icu**) и номинална работна изключвателна способност при късо съединение (**Ics**) при различни стойности на напрежението.

Съгласно международния стандарт IEC 60947-2 прекъсвачите могат да се разделят на Категория **A**, т.е. бързодействащата защита на прекъсвачите изключва без времезакъснение при тока на късо и Категория **B**, т.е. бързодействащата защита е с възможност за определено времезакъснение на изключване при ток на късо съединение.

Означението **CE** върху прекъсвачите на ABB показва изпълнение на изискванията на следните CE директиви: "Директива за ниско напрежение" (LVD) № 2006/95/CE "Директива за електромагнитна съвместимост" (EMC) № 89/336 EEC.

Изпълнение на международния стандарт **IEC 60947-2**: "Комплектни разпределителни уредби ниско напрежение - прекъсвачи".

2 Устройство за защита и управление

Въздушни прекъсвачи: Emax

Тип на прекъсвача			
Серия	Тип	Крайна изключвателна способност на изключване при късо съединение при 415 V AC	Номинален непрекъснат ток
E	X1		
	1	B = 42 kA	630 A
	2	N = 65 kA (50 kA E1)	800 A
	3	S = 75 kA (85 kA E2)	1000 A
	4	H = 100 kA	1250 A
	6	L = 130 kA (150 kA X1)	1600 A
		V = 150 kA (130 kA E3)	2000 A
			2500 A
			3200 A
			4000 A
			5000 A
			6300 A

SACE E3V 32		Iu=3200A Ue=690V Icw=85kA x 1s			
Cat B	↔	~ 50-60 Hz			
Ue (V)		230	415	440	525 690
Icu (kA)		130	130	130	100 100
Ics (kA)		100	100	100	85 85
		IEC 60947-2 made in Italy by ABB-SACE			
		CE			

Номинален продължителен ток Iu

Номинално работно напрежение Ue

Кратковременен ток на термична устойчивост Icw; т.е. максималният ток, който прекъсвачът може да поддържа за определен период от време.

Съгласно международния стандарт IEC 60947-2 прекъсвачите могат да се разделят на Категория A, т.е. бързодействащата защита на прекъсвачите изключва без времезакъснение при тока на късо и Категория B, т.е. бързодействащата защита е със възможност за определено времезакъснение на изключване при ток на късо съединение

Крайна изключвателна способност при късо съединение (Icu) и номинална работна изключвателна способност при късо съединение (Ics) при различни стойности на напрежението.

Означението CE върху прекъсвачите на ABB показва изпълнение на изискванията на следните CE директиви: "Директива за ниско напрежение" (LVD) № 2006/95/CE "Директива за електромагнитна съвместимост" (EMC) № 89/336 EEC.

Изпълнение на международния стандарт IEC 60947-2: "Комплектни разпределителни уредби ниско напрежение - прекъсвачи".

1 Устройства за защита и управление

1.2 Основни определения

Основните определения за комплектни разпределителни уредби ниско напрежение са включени в международните стандарти IEC 60947-1, IEC 60947-2 и IEC 60947-3.

Основни характеристики

Прекъсвач

Механично комутационно устройство, което може да включва, провежда и прекъсва токове при нормални работни условия на веригата, а също така да включва, провежда за определено време и да прекъсва токове при определени аномални работни условия на веригата, като тези при късо съединение.

Токоограничителен прекъсвач

Прекъсвач с време на прекъсване достатъчно кратко за да предотврати токът на късото съединение да достигне върховата стойност, която в противен случай би могла да бъде достигната.

Прекъсвач с щепселен монтаж

Прекъсвач, който в допълнение на своите прекъсващи контакти разполага и с още един набор от контакти, които позволяват прекъсвачът да бъде отделен от веригата.

Изваждаем прекъсвач

Прекъсвач, който в допълнение със своите прекъсващи контакти, разполага и с набор от изолирани контакти, които позволяват прекъсвачът да бъде отделен от главната верига, така че в изтеглено положение да се постигне изолационно разстояние в съответствие с указаните изисквания.

Прекъсвач в лят корпус

Прекъсвач, който има опорен корпус от отлят изолационен материал, представляващ интегрирана и неразделна част от прекъсвача.

Разединител

Механично комутационно устройство, което в отворено положение изпълнява съответните изолационни изискванията.

Защитен блок

Устройство, механично свързано с комутационното устройство, което командва задържащите компоненти и позволява отварянето или затварянето на комутационното устройство.

1 Устройства за защита и управление

Видове неизправности и токове на повреда

Претоварване

Работно състояние в електрически изправна верига, при което протича ток над номиналния.

Късо съединение

Случайно или преднамерено свързване при сравнително ниско съпротивление или импеданс на две или повече точки от електрическа верига, които нормално се намират под различни напрежения.

Остатъчен ток (I_{Δ})

Векторната сума от токовете, протичащи в главната верига на прекъсвача.

Номинални работни характеристики

Напрежения и честоти

Номинално работно напрежение (U_b)

Номиналното работно напрежение на едно устройство е стойността на напрежението, която комбинирана със стойността на номиналния работен ток, определя приложението на устройството и за която стойност се отнасят съответните изпитания и категории за прилагане.

Номинално изолационно напрежение (U_i)

Номиналното изолационно напрежение на едно устройство е стойността на напрежението, за която се отнасят стойностите на диелектричното напрежение и разстоянията на токовете на утечка. Максималната стойност на номиналното работно напрежение в никои случай не бива да превишава стойността на номиналното изолационно напрежение.

Номинално върхово импулсно напрежение (U_{imp})

Върховата стойност на импулсно напрежение при установена форма и полярност, на която устройството може да издържи без повреда при определени условия на изпитания и за която се отнасят стойностите на изолационните разстояния.

Токове

Номинален продължителен ток (I_b)

Номиналният продължителен ток на едно устройство е стойността на тока, определена от производителя, която устройството провежда в непрекъсват режим на работа.

Номинален остатъчен работен ток ($I_{\Delta n}$)

Това е средноквадратичната стойност на синусоидалния остатъчен работен ток, предписан за прекъсвача от производителя, при която прекъсвачът ще работи при определените условия.

1 Устройство за защита и управление

Работни характеристики при условия на късо съединение

Номинална включвателна способност

Номиналната включвателна способност на едно устройство е стойността на тока, указана от производителя, която устройството може да включи при определените условия.

Номинална изключвателна способност

Номиналната изключвателна способност на едно устройство е стойността на тока, указана от производителя, която устройството може да изключи при определените условия.

Крайна изключвателна способност при късо съединение (I_{cu})

Крайна (върхова) изключвателна способност при късо съединение на един прекъсвач е максималната стойност на тока при късо съединение, която прекъсвачът може да изключи два пъти в последователността Open – time – CloseOpen) при съответно номинално работно напрежение. След последователността на отваряне и затваряне не се изисква прекъсвачът да може да проведе номиналния си ток.

Номинална работна изключвателна способност при късо съединение (I_{cs})

Номиналната работна изключвателна способност при късо съединение на един прекъсвач е максималната стойност на тока при късо съединение, която прекъсвачът може да изключи три пъти в съответствие с последователността на операциите на отваряне и затваряне (O – t – CO – t – CO) при определено номинално работно напрежение (U_n) и при даден фактор на мощността. След тази последователност се изисква прекъсвачът да може да провежда номиналния си ток.

Номинален кратковременен ток на термична устойчивост (I_{cw})

Номиналният кратковременен ток на термична устойчивост е токът, който прекъсвачът може да провежда в затворено положение за определен кратък период от време при предварително дефинирани условия на приложение и поведение; прекъсвачът трябва да може да поддържа този ток през съответния кратък период на закъснение, за да осигури селективност на последователно свързаните прекъсвачи.

Номинална способност за включване при късо съединение (I_{cm})

Номиналната способност за включване при късо съединение на едно устройство е стойността на включване за това устройство, определена от производителя при дадено номинално работно напрежение, номинална честота и при определен фактор на мощността за променлив ток.

1 Устройства за защита и управление

Категории на приложение

Категорията на приложение на един прекъсвач трябва да се определя във връзка с това, дали той е специално предназначен за селективност по времезакъснение, предвидено за тази цел по отношение на последователно свързаните прекъсвачи от страната на товара в случай на късо съединение (IEC 60947-2) или е не е предназначен за селективност.

Категория А – Прекъсвачи, които не са специално предназначени за селективност при условия на късо съединение по отношение на други устройства за защита от късо съединение, свързани последователно от страна на товара, т.е. без номинален кратковременен ток на термична устойчивост.

Категория В – Прекъсвачи, специално предназначени за селективност при условия на късо съединение по отношение на други защитни устройства от късо съединение, свързани последователно от страна на товара, т.е. със закъснение, предвидено за селективност при условия на късо съединение. Тези прекъсвачи имат номинален кратковременен ток на термична устойчивост.

Един прекъсвач се класифицира в категория В, ако неговият I_{cw} е по-голям от (IEC 60947-2):

12·In или 5 kA, което от двете е по-голямо

за $I_n \leq 2500A$

30 kA

за $I_n > 2500A$

Електрическа и механична устойчивост

Механична износоустойчивост

Механичната износоустойчивост на едно устройство се определя от броя на работните цикли без товар (всеки работен цикъл се състои от една операция на включване и изключване), които могат да бъдат изпълнени преди да стане необходимо да се извършва ремонт или подмяна на някоя от механичните части (нормалната поддръжка обаче е разрешена).

Електрическа износоустойчивост

Електрическата износоустойчивост на едно устройство се определя от броя на работните цикли под товар и дава устойчивостта на контактите на електрическо износване при сервизни условия, указани в съответния за продукта стандарт.

1 Устройства за защита и управление

1.3 Типове защитни блокове

Един прекъсвач трябва да контролира и предпазва в случай на неизправности или повреди свързаните елементи в една инсталация. За да изпълни тази функция, при установяване на аномално работно условие, защитният блок се намесва след определен период от време чрез подаване на команда за отваряне на прекъсващия механизъм.

Защитните блокове, вградени в прекъсвачите с лят корпус и въздушните прекъсвачи на ABB SACE, могат да контролират и предпазват всякакви инсталации, от най-простите до тези със специални изисквания, благодарение на своите големи възможности за настройване по ток и съответните времена на изключване.

От устройствата, чувствителни към надноминален ток, ще разгледаме следните:

- защиты от претоварване и к.с. (термомангнитни) и защиты от късо съединение (магнитни);
- микропроцесорни защитни блокове;
- устройства за остатъчни токове – дефектнотокови защиты.

Изборът и настройването на защитните блокове се основават на изискванията на частта от инсталацията, за която е предназначена защитата, както и на координацията с другите устройства. Най-общо казано, факторите, които се вземат предвид при избора са съответните настройки по ток, време и кривата на изключване на даденото комутационно устройство.

1.3.1 Защити от претоварване и късо съединение

Защитните от претоварване и к.с. (термомангнитни защиты) използват биметална пластина и електромагнит за да установят тока на претоварване и късо съединение; те са подходящи за защита на мрежи както с променлив, така и с постоянен ток.

В следващата таблица са показани типовете защитни блокове от претоварване и к.с., предлагани за Tmax прекъсвачи.

CBs	защитни блокове от претоварване и к.с.					
	MF	MA	TMF	TMD	TMA	TMG
T1	-	-	■	■	-	-
T2	■	■	-	■	-	■
T3	-	■	-	■	-	■
T4	-	■	-	■	■	-
T5	-	-	-	-	■	■
T6	-	-	-	-	■	-

Легенда

- MF Защитни блокове с фиксирани защиты от късо съединение
- MA Защитни блокове с настройваеми защиты от късо съединение
- TMG Защитни блокове от претоварване и к.с. за защита на генератори
- TMF Защитни блокове с настройваема защита от претоварване и фиксирана защита от к.с.
- TMD Защитни блокове с настройваеми защиты от претоварване и к.с.

1 Устройства за защита и управление

Разпределение на електрическа енергия

MCCBs	T1	T2	T3	T4	T5		T6	
	160	160	250	250	400	630	630	800
1,6	TMD	TMD						
2								
2,5								
3,2								
4								
5								
6,3								
8								
10								
12.5								
16	TMF TMD	TMD TMG		TMD				
20		TMD						
25		TMD TMG						
32		TMD		TMD				
40		TMD TMG	TMG					
50		TMD		TMD				
63		TMD TMG						
80								
100								
125								
160			TMD TMG	TMA				
200								
250								
320								
400					TMA TMG	TMA TMG		
500								
630						TMA		
800							TMA	

Защита на двигатели

MCCBs	T2	T3	T4
	160	250	250
1	MF		
1,6			
2			
2,5			
3,2			
4			
5			
6,5			
8,5			
10			
11	MA		
12,5			
20			
25			MA
32			
52			MA
80			
100			
125			
160		MA	MA
200			

Легенда

- MF Защитни блокове с фиксирани защиты от късо съединение
- MA Защитни блокове с настройваеми защиты от късо съединение
- TMG Защитни блокове от претоварване и к.с. за защита на генератори
- TMF Защитни блокове с настройваема защита от претоварване и фиксирана защита от к.с.
- TMD Защитни блокове с настройваеми защиты от претоварване и к.с.

1 Устройство за защита и управление

1.3.2 Електронни защитни блокове

Тези защитни блокове са свързани с токови трансформатори (три или четири в зависимост от броя на проводниците, които трябва да бъдат предпазвани), които са разположени вътре в прекъсвача и имат двойна функция – от една страна за електрическото захранване, необходимо за правилното функциониране на защитния блок (самозахранване), а от друга страна за установяване на стойността на тока, протичащ по проводниците под напрежение; поради това те са съвместими само с променливотоковите мрежи.

Сигналят, идващ от трансформаторите и от бобините тип "Роговски", се обработва от електронен компонент (микропроцесор), който го сравнява с предварително зададени стойности. Когато сигналят превиши тези стойности се задейства изключването на прекъсвача чрез отварящ соленоид, който директно въздейства на работния механизъм на прекъсвача.

В случай на спомагателно електрозахранване, освен самозахранването от токовия трансформатор, напрежението трябва да бъде $24\text{ Vdc} \pm 20\%$.

Освен стандартните защитни функции, защитните блокове осигуряват още:

- измерване на токове (PR222, PR232, PR331, PR121);
- измерване на токове, напрежение, честота, мощност, енергия, коефициент на мощността (PR223, PR332, PR122) и други за PR333 и PR123, предлага се и измерване на хармонични изкривявания;
- серийна комуникация с дистанционно управление за цялостно управление на инсталацията (PR222, PR223, PR232, PR331, PR332, PR333, PR121, PR122, PR123).

В следващата таблица са показани типовете електронни защитни блокове, предлагани за прекъсвачи тип Tmax и тип Emax.

CBs	електронни защитни блокове с прекъсвачи ABB										
	PR221	PR222	PR223	PR231	PR232	PR331	PR332	PR333	PR121	PR122	PR123
T2	■	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
T4	■	■	■	-	-	-	-	-	-	-	-
T5	■	■	■	-	-	-	-	-	-	-	-
T6	■	■	■	-	-	-	-	-	-	-	-
T7	-	-	-	■	■	■	■	-	-	-	-
X1	-	-	-	-	-	■	■	■	-	-	-
E1	-	-	-	-	-	-	-	-	■	■	■
E2	-	-	-	-	-	-	-	-	■	■	■
E3	-	-	-	-	-	-	-	-	■	■	■
E4	-	-	-	-	-	-	-	-	■	■	■
E5	-	-	-	-	-	-	-	-	■	■	■
E6	-	-	-	-	-	-	-	-	■	■	■

1 Устройство за защита и управление

В следващата таблица са показани номиналните токове на прекъсвачите Tmax и Emax.

MCCBs		T2	T4		T5		T6			T7			
In	Iu	160	250	320	400	630	630	800	1000	800	1000	1250	1600
10		■	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25		■	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
63		■	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
100		■	■	■	-	-	-	-	-	-	-	-	-
160		■	■	■	-	-	-	-	-	-	-	-	-
250		-	■	■	-	-	-	-	-	-	-	-	-
320		-	-	■	■	■	-	-	-	-	-	-	-
400		-	-	-	■	■	-	-	-	■	■	■	■
630		-	-	-	-	■	■	-	-	■	■	■	■
800		-	-	-	-	-	-	■	-	■	■	■	■
1000		-	-	-	-	-	-	-	■	-	■	■	■
1250		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	■	■
1600		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	■

ACBs		E3H-V		E3 N-S-H-V		E3 S-H-V-L		E3 N-S-H-V	E4S-H-V		E6V	E6H-V																			
		E2S		E2N-S-L	E2B-N-S-L	E2B-N-S																									
		E1B-N																													
		X1B-N-L													X1B-N																
In	Iu	630	800	1250*	1600	2000	2500	3200	4000	3200	4000	5000	6300																		
400		■	■	■	■	■	■	■	-	-	-	-	-																		
630		■	■	■	■	■	■	■	-	-	-	-	-																		
800		-	■	■	■	■	■	■	-	-	-	-	-																		
1000		-	-	■	■	■	■	■	-	-	-	-	-																		
1250		-	-	■	■	■	■	■	■	■	-	-	-																		
1600		-	-	-	■	■	■	■	■	■	-	-	-																		
2000		-	-	-	-	■	■	■	■	■	-	-	-																		
2500		-	-	-	-	-	■	■	■	■	-	-	-																		
3200		-	-	-	-	-	-	■	■	■	■	■	■																		
4000		-	-	-	-	-	-	-	■	-	-	■	■																		
5000		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	■	■																		
6300		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	■																		

* Също така за Iu = 1000 A (не се предлага за E3V и E2L).

Пример за ползване на таблицата

Прекъсвачът тип E3L се предлага с Iu = 2000A и Iu = 2500A, но не се предлага с Iu = 3200A.

1.3.2.1 Защитни функции на електронните защитните блокове

Защитните функции на електронните защитни блокове са:

L - Защита от претоварване с обратнoзависимо продължително времезакъснение

Защитна функция срещу претоварвания с обратнoзависимо продължително времезакъснение и константна специфична енергия на преминаване ; не може да бъде изведена.

L - Защита от претоварване в съответствие с стандарта IEC 60255-3

Защитна функция срещу претоварвания с обратнoзависимо продължително времезакъснение и характеристики на изключване в съответствие с IEC 60255-3; приложима при координиране с предпазители и със защити за средно напрежение.

S - Защита от късо съединение с настройваемо закъснение

Защитна функция срещу токове на късо съединение с настройваемо времезакъснение; благодарение на възможността за настройване на закъснението тази защита е особено полезна, когато е необходимо да се постигне селективна координация между различни устройства.

1 Устройство за защита и управление

S2 - Двойно S

Тази функция дава възможност да се зададат независимо едина от друга две стойности на защитната функция S и да се активират едновременно, селективност може да се постигне и при изключително критични условия.

D - **Зависеща от посоката защита от късо съединение с настройване на закъснението**

Защита от късо съединение, подобна на S функцията, която може да сработи по различен начин в зависимост от посоката на тока на късо съединение; особено подходяща за многоконтурни вериги или голям брой паралелни захранващи линии.

I - **Защита от късо съединение с мигновено изключване**

Функция за мигновена защита срещу късо съединение.

EFDP- **Ранно откриване и предпазване от неизправности**

Благодарение на тази функция, защитният блок може да изолира повредата за по-кратък период от време в сравнение със зоновата селективност, която се предлага в момента на пазара.

Rc - **Защита от остатъчен ток**

Тази функция е особено подходяща там, където се изисква защита от остатъчен ток при ниска чувствителност, както и за приложения с висока чувствителност за да се предпазят хората от индиректен контакт.

G - **Защита от земно съединение с настройваемо времезакъснение**

Функция за защита на инсталацията в случай на късо съединение спрямо земята.

U - **Защита от дебаланс на фазите**

Защитна функция, която сработва, когато се установи съществен дебаланс между токовете на отделните фази защитени от прекъсвача.

OT - **Самозащита от висока температура**

Защитна функция, която управлява изключването на прекъсвача, когато температурата вътре в изключващото устройство може да застраши правилното му функциониране.

UV - **Защита от ниско напрежение**

Защитна функция, която сработва, когато фазовото напрежение падне под предварително зададена стойност.

OV - **Защита от пренапрежение**

Защитна функция, която сработва, когато фазовото напрежение превиши предварително зададения праг.

RV - **Защита от остатъчно напрежение**

Защита, която установява аномални напрежения в нулевия проводник.

RP - **Защита от обратна мощност**

Защита, която сработва, когато посоката на активната мощност е обратна на тази при нормалната работа.

UF - **Защита от понижена честота**

Тази защита установява падането на мрежовата честота под определена стойност, генерира аларма или отваря веригата.

OF - **Защита от висока честота**

Тази защита установява нарастването на мрежовата честота над определена стойност, генерира аларма или отваря веригата.

M - **Термична памет**

Благодарение на тази функция е възможно да се отчете нагряването на компонентите, така че изключването да е толкова по-бързо, колкото по-малко време е изминало от последното сработване на защитата.

R - **Защита от блокиране на ротора**

Функцията сработва веднага щом се установят условия, които биха могли да доведат до блокиране на ротора на защитаваания двигател по време на работа.

1 Устройство за защита и управление

Inst - Много бърза, мигновена защита от късо съединение

Тази специфична защитна функция има за цел да поддържа целостта на прекъсвача и на инсталацията в случай на надноминални токове, които трябва да бъдат изключени още по-бързо в сравнение с времената гарантирани от защитата от късо съединение с мигновено изключване. Тази защита трябва да се настрои само от ABB SACE и не може да бъде изведена.

Dual setting – Двойна настройка

С тази функция е възможно да се програмират два различни набора от параметри (LSIG) и чрез външна команда да се преминава от единия набор към другия.

K - Управление на товара

Благодарение на тази функция е възможно да се добавят/елиминират отделни товари преди да изключи защитата от претоварване L.

В следващата таблица са обобщени видовете електронни защитни блокове и функциите, които те реализират:

																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					</
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----

○ Само с PR120/V за Emax и PR330/V за X1

1 Устройство за защита и управление

1.3.3 Дефектнотокова защита (ДТЗ)

Дефектнотоковите защиты са обединени с прекъсвач с цел да се реализират две основни функции в едно единствено устройство:

- защита от претоварване и късо съединение;
- защита от индиректен контакт (наличие на напрежение в достъпни проводящи части вследствие на нарушаване на изолацията).

Освен това те могат да гарантират допълнителна защита против риска от пожар, произтичащ от възникване на малки неизправности или токове на утечка, които не са установени от стандартните защиты от претоварване.

Дефектнотоковите защиты, които имат номинален остатъчен ток непревишаващ 30 mA, се използват също така и като средство за допълнителна защита от директен контакт в случай на неизправност на съответните средства за защита.

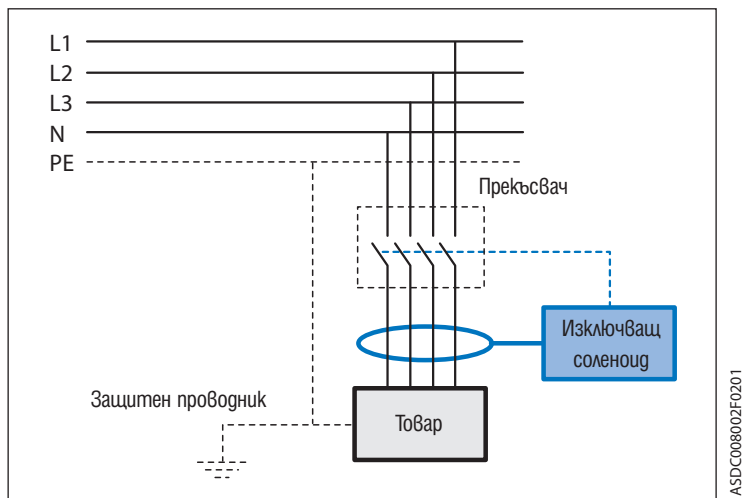
Тяхната логика е базирана на установяването на векторната сума на линейните токове чрез вътрешен или външен тороид.

При нормални работни условия тази сума е равна на нула или на дефектния земен ток (I_{Δ}) в случай на земно съединение.

Когато защитният блок установи остатъчен ток различен от нула, той изключва прекъсвача чрез изключвателен соленоид.

Както може да видим на фигурата, защитният проводник или еквипотенциалният проводник трябва да бъдат инсталирани извън евентуалния външен тороид.

Типова разпределителна система (IT, TT, TN)



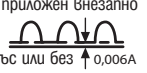
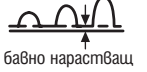
Принципът на работа на дефектнотоковите защиты ги прави подходящи за разпределителните системи TT, IT и TN-S, но не и за системите TN-C. В действителност, при тези системи (TN-C) нулата се използва също така и за защитен проводник (PE) и поради това установяването на остатъчен ток не би било възможно, тъй като нулата минава през тороида и векторната сума от токовете винаги би била нула.

1 Устройство за защита и управление

Една от основните характеристики на дефекнтоковите защиты е техният минимален номинален остатъчен ток $I_{\Delta n}$. Това, всъщност, е чувствителността на защитата.

В зависимост от своята чувствителност към тока на повреда прекъсвачите за остатъчен ток се класифицират като:

- тип АС: устройство за остатъчен ток, което изключва в случай на остатъчен синусоидален променлив ток в отсъствие на постояннотокова компонента, независимо дали се появяват мигновено или са бавно нарастващи;
- тип А: устройство за остатъчен ток, което сработва в случай на остатъчен синусоидален променлив ток при наличие на определени остатъчни пулсиращи постоянни токове, независимо дали се появяват мигновено или са бавно нарастващи;*;
- тип В: устройство за остатъчен ток, което изключва при остатъчни синусоидални променливи токове, остатъчни постоянни токове и при наличие на определени остатъчни пулсиращи постоянни токове, независимо дали се появяват мигновено или са бавно (плавно) нарастващи, тъй като остатъчни постоянни токове могат да се получат и от токоизправителни вериги.**

	Форма на остатъчния ток	Правилно функциониране на устройството за остатъчен ток		
		Тип		
Синусоидален променлив ток		АС	А	В
	приложен внезапно  бавно нарастващ	+	+	+
Пулсиращ постоянен ток	приложен внезапно 		+	+
	свЪС или без 0,006А  бавно нарастващ			
Плавен постоянен ток				+

ASDC0800 3F0201

* При наличие на електрическа апаратура с електронни компоненти (компютри, фотокопирни машини, факс апарати и др.) токът на земно съединение може да приеме несинусоидална форма, а някакъв вид форма на пулсиращ еднопосочен постоянен ток. В тези случаи е необходимо да се използва защитен блок за остатъчен ток, класифициран като тип А.

** При наличие на токоизправителни вериги (т.е. еднофазова връзка с кондензаторен товар, причиняващ гладък постоянен ток, три-пътно свързване в звезда и шест-пътно мостово свързване, дву-пътно линейно свързване) токът на земно съединение може да приеме еднопосочна постояннотокова форма. В този случай е необходимо да се използва защитен блок за остатъчен ток, класифициран като тип В.

1 Устройства за защита и управление

За да се изпълнят изискванията за адекватна защита от земно съединение в ABB SACE са разработени следните категории продукти:

- прекъсвачи в лят корпус:

- RC221 защитен блок за остатъчен ток за монтаж с прекъсвачи Tmax T1, T2, T3 с номинален ток от 16A до 250A;
- RC222 защитен блок за остатъчен ток за монтаж с прекъсвачи Tmax T1, T2, T3, T4, T5 с номинален ток от 16A до 500A;
- RC223 защитен блок за остатъчен ток за монтаж с прекъсвачи Tmax T4 с номинален ток до 250A;
- електронни защитни блокове PR222DS/P, PR223 DS/P LSIG за прекъсвачи T4, T5, T6 с номинален ток от 100A до 1000A;
- електронни защитни блокове PR331, PR332 LSIG за прекъсвачи Tmax T7 с номинален ток от 800A до 1600A;
- електронни защитни блокове PR332 с интегрирана защита от остатъчен ток за прекъсвачи тип Tmax T7 с номинален продължителен ток от 800A до 1600A;

		RC221	RC222		RC223
Вид на прекъсвача		T1-T2-T3	T1-T2-T3	T4 and T5 4p	T4 4p
Тип		L модел		разположен отдолу	
Технология		микропроцесорна			
Действие		с изключваща бобина			
Първично работно напрежение ⁽¹⁾	[V]	85...500	85...500	85...500	110...500
Работна честота	[Hz]	45...66	45...66	45...66	0-400-700-1000
Самозахранване		■	■	■	■
Тестов работен обхват ⁽¹⁾		85...500	85...500	85...500	110...500
Номинален работен ток	[A]	up to 250 A	up to 250 A	up to 500 A	up to 250 A
Изключване при номинален остатъчен ток	[A]	0.03-0.1-0.3 0.5-1-3	0.03-0.05-0.1-0.3 0.5-1-3-5-10	0.03-0.05-0.1 0.3-0.5-1-3-5-10	0.03-0.05-0.1 0.3-0.5-1
Времева граница за неизключване	[s]		-0.2-0.3-0.5-1-2-3	-0.2-0.3-0.5-1-2-3	0- 0.1 -0.2-0.3-0.5-1-2-3
Толеранс на времето на изключване					

(1) Работа до 50 V фаза - неутрала (55 V за RC223).

- въздушни прекъсвачи:

- PR331, PR332, PR333 LSIG електронни защитни блокове за прекъсвачи Emax X1 с номинален продължителен ток от 630A до 1600A;
- Въздушни прекъсвачи, оборудвани с електронни защитни блокове тип PR121, PR122, PR123 LSIG за прекъсвачи Emax E1 до E6 с номинален продължителен ток от 400A до 6300A;
- PR332, PR333 електронни защитни блокове с интегрирана защита от остатъчен ток за прекъсвачи Emax X1 с номинален продължителен ток от 630A до 1600A;
- PR122 и PR123 електронни защитни блокове с интегрирана защита от остатъчен ток за прекъсвачи Emax E1 до E6 с номинален продължителен ток от 400A до 6300A.

1 Устройства за защита и управление

В следващата таблица е обобщена гамата от прекъсвачи на ABB SACE за защита от остатъчен ток и земно съединение

		In						PR331 PR332 PR333 ⁽²⁾	PR332 PR333 ⁽²⁾	PR121 PR122 PR123	PR122 LSIRc
			RC221	RC222	RC223	PR222 LSIG	PR223 LSIG	LSIG	LSIRc	LSIG	LSIRc
		type	A-AC	A-AC	B	-	-	-	A-AC	-	A-AC
MCCb	T1	16÷160	■	■	-	-	-	-	-	-	-
	T2	10÷160	■	■	-	-	-	-	-	-	-
	T3	63÷250	■	■	-	-	-	-	-	-	-
	T4	100÷320	-	■	⁽¹⁾ ■	■	■	-	-	-	-
	T5	320÷630	-	■	-	■	■	-	-	-	-
	T6	630÷1000	-	-	-	■	■	-	-	-	-
	T7	800÷1600	-	-	-	-	-	■	■	-	-
ACB	X1	400÷1600	-	-	-	-	-	■	■	-	-
	E1	400÷1600	-	-	-	-	-	-	-	■	■
	E2	400÷2000	-	-	-	-	-	-	-	■	■
	E3	400÷3200	-	-	-	-	-	-	-	■	■
	E4	1250÷4000	-	-	-	-	-	-	-	■	-
	E6	3200÷6300	-	-	-	-	-	-	-	■	-

(1) Само за T4 250.

(2) Само за X1.

Релета за остатъчен ток с външен трансформатор

Прекъсвачите ABB SACE могат да бъдат монтирани също така с релетата за остатъчен ток RCQ с отделен тороид за да се изпълнят изискванията, когато условията в инсталацията са особено рестриктивни, като например с вече инсталирани прекъсвачи, ограничено пространство в отделението за прекъсвачите и др.

Благодарение на характеристиките на настройките за остатъчния ток и на времената за изключване, релетата за остатъчен ток с външен трансформатор могат лесно да бъдат инсталирани дори в крайните етапи на изграждане на инсталацията; в частност, при избиране на номинален остатъчен ток $I_{\Delta n}=0.03A$ с мигновено изключване, прекъсвачът гарантира защита от индиректен контакт и представлява допълнителна мярка срещу директен контакт, също така и при наличие на особено високи стойности на съпротивлението на земно съединение.

Тези релета за остатъчен ток са от типа с индиректно действие: командата за отваряне, подадена от релето, трябва да доведе до изключване на прекъсвача чрез допълнителен защитен блок, който предварително е монтиран в прекъсвача от потребителя.

Релета за остатъчен ток		SACE RCQ	
Напрежение на захранването		AC [V]	80...500
		DC [V]	48...125
Работна честота		[Hz]	45÷66
Настройване на границата за изключване $I_{\Delta n}$	1 ^{бу} обхват на настройките	[A]	0.03-0.05-0.1-0.3-0.5
	2 ^{пу} обхват на настройките	[A]	1-3-5-10-30
Настройване на времето за изключване		[s]	0-0.1-0.2-0.3-0.5-0.7-1-2-3-5

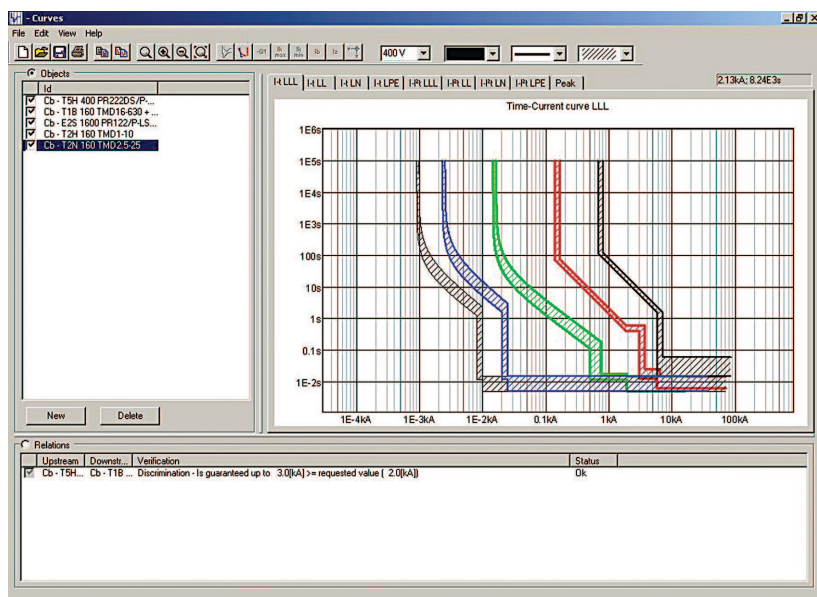
2 Общи характеристики

2.1 Софтуер "Криви 1.0" (Curves 1.0)

Софтуерният пакет "Curves", който се предлага на компакт disk, е средство предназначено за тези, които работят в сферата на електропроектирането.

Тази програма дава възможност за визуализация на:

- **I-t LLL**: времетокови криви на изключване при трифазни неизправности;
- **I-t LL**: времетокови криви на изключване при двуфазни неизправности;
- **I-t LN**: времетокови криви на изключване при еднофазни неизправности;
- **I-t LPE**: времетокови криви на изключване при неизправности фаза - земя;
- **I-It LLL**: специфична енергия на преминаване при трифазни неизправности;
- **I-It LL**: специфична енергия на преминаване при двуфазни неизправности;
- **I-It LN**: специфична енергия на преминаване при еднофазни неизправности;
- **I-It LPE**: специфична енергия на преминаване при неизправности фаза - земя;
- **Peak**: крива характеризираща ограничаването на тока;
- Времетокови криви за кабели и предпазители.

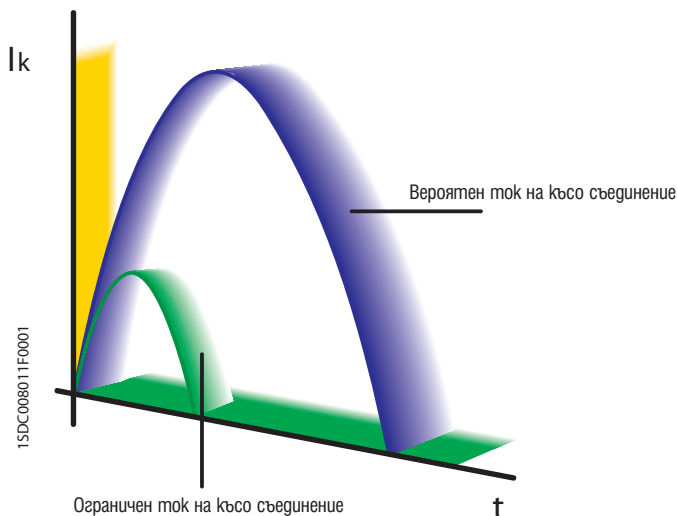


Освен това, програмата изпълнява и функции за проверка на селективност, кабелната защита, защита на хората. Алгоритмите за проверяване на кабелната защита са описани в международните стандарти. Алгоритмите за проверяване на селективността са реализирани в съответствие с насоките, определени в Документите за технически приложения ABB SACE, по-конкретно "QT1: Селективност ниско напрежение с прекъсвачи ABB". Софтуерът "Curves" показва кривите на изключване и ограничаване съгласно каталозите.

2 Общи характеристики

2.2 Токоограничителни характеристики

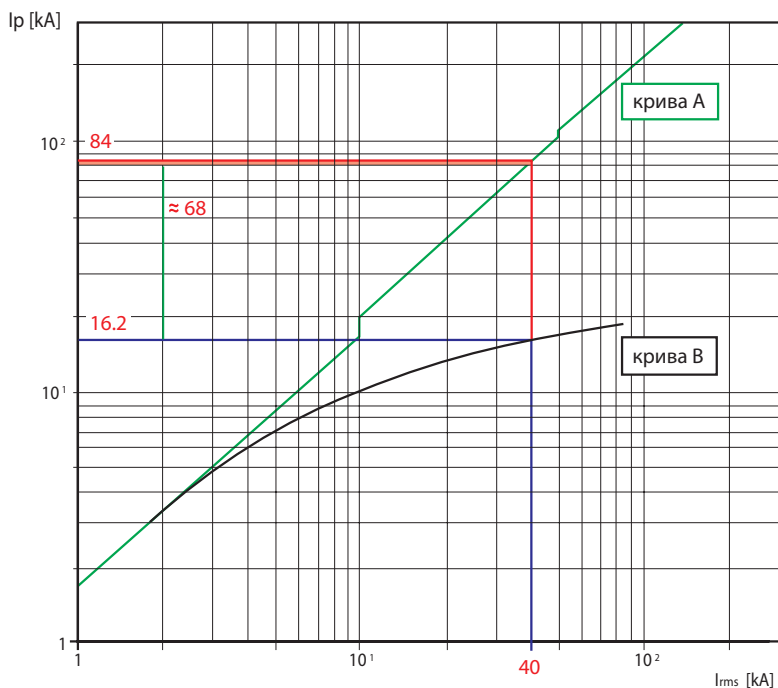
Прекъсвач, при който отварянето на контактите се извършва след преминаването на върховата стойност на тока на късо съединение или при естественото му премиване през нулата, позволява компонентите на системата да бъдат подлагани на големи натоварвания, както топлинни, така и динамични. За да се намалят тези натоварвания са разработени токоограничаващи прекъсвачи (виж Част 2, Глава 1.2 “Основни определения”), които могат да задействат операцията по отваряне на контактите преди токът на късо съединение да е достигнал своята върхова стойност и бързо да погасят дъгата между тях; на следващата диаграма е показана формата на вълните на вероятния ток на късо съединение, както и на ограничения ток на късо съединение.



На следващата диаграма е показана токоограничителната характеристиката на прекъсвача Tmax T2L160, In160. По оста “X” е ефективната стойност на симетричния вероятен ток на късо съединение, докато по оста “Y” е показана относителната върхова стойност. Ефектът на ограничаване може да бъде оценен чрез сравняване, при равни стойности на симетричния ток на повреда, на върховата стойност на вероятния ток на късо съединение (крива A) с ограничената върхова стойност (крива B).

2 Общи характеристики

Прекъсвачът T2L160 с защита от претоварване и к.с. (термомагнитен защитен блок) I_n160 при 400V, за ток на повреда от 40 kA, ограничава върховата стойност на тока на късо съединение до 16,2 kA – “крива В”, с редукция от около 68 kA в сравнение с върховата стойност без ограничаване равна на 84 kA – “крива А”.



Вземайки предвид, че електродинамичните натоварвания и предизвиканите от тях механични такива са тясно свързани с върховата стойност на тока, използването на токоограничаващи прекъсвачи позволява оптималното оразмеряване на компонентите в една електрическа инсталация. Освен това ограничаването на тока може да се използва също така и за постигане на координация между два прекъсвача, свързани последователно.

2 Общи характеристики

Освен предимствата от гледна точка на проектирането, използването на токоограничаващи прекъсвачи дава възможност за случаите описани в стандарта IEC 60439-1, да се избегне необходимостта от проверяване на устойчивост на късо съединение и а разпределителни табла. Член 8.2.3.1 на стандарта “Схеми на инсталации, които са освободени от проверяване на устойчивост на късо съединение” гласи, че:

“Проверяване на устойчивост на късо съединение не се изисква в следните случаи ...

За инсталации със защити чрез токоограничаващи устройства, които имат ограничаване на тока непревишаващо 17 kA при максималния допустим вероятен ток на късо съединение на изводите на входящата схема на инсталацията ...”

За примерът на предната страница заедно с тези разгледани в стандарта, можем да обобщим: ако прекъсвачът се използва като главен прекъсвач в разпределително табло и се инсталира в точка от инсталацията, където вероятният ток на късо съединение е 40 kA, то не би било необходимо да се извършва проверка на устойчивост на късо съединение.

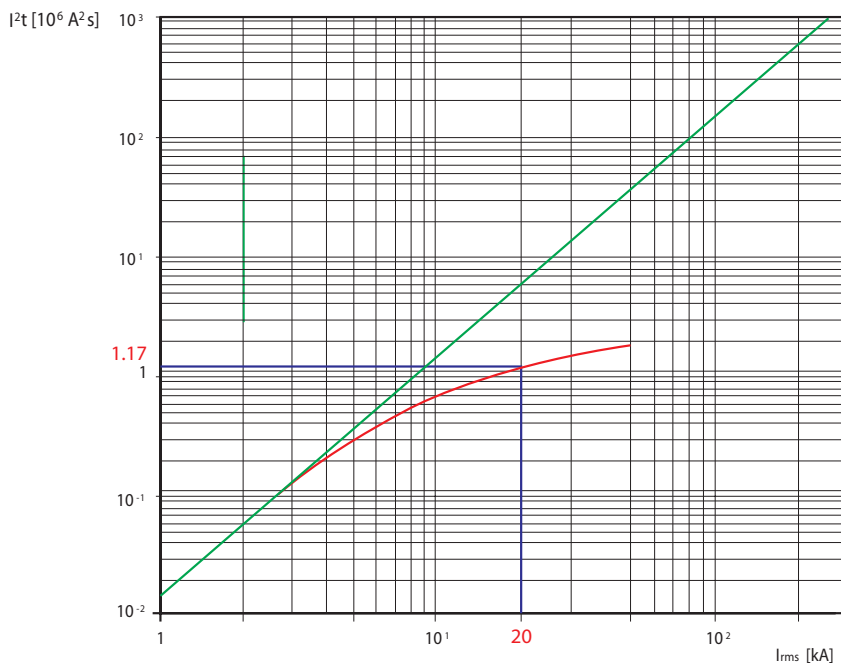
2 Общи характеристики

2.3 Характеристики на специфичната енергия на преминаване

В случай на късо съединение, частите на инсталацията засегнати от повредата са подложени на термични напрежения, които са пропорционални както на квадрата на тока на повредата, така и на времето необходимо на прекъсващото устройство да прекъсне тока. Енергията, пропусната от прекъсващото устройство по време на изключването, се нарича "специфична енергия на преминаване" (I^2t), измервана в A^2s . Познаването на стойността на "специфичната енергия на преминаване" през отделните състояния на повредата е фундаментално за оразмеряването и защитата на различните части на инсталацията.

Ефектът от ограничаване и намаляване времето на изключване влияе на стойността на специфичната енергия на преминаване. За тези стойностите на тока, за които отварянето на прекъсвача се регулира чрез настройване на времето на изключване на защитния блок, стойността на специфичната енергия на преминаване се получава чрез умножаване на квадрата на ефективният ток на повредата по времето, необходимо на защитното устройство да изключи; в останалите случаи, специфичната енергия на преминаване може да се получи от показаните по-долу диаграми.

Изложеното по-долу е пример за разчитане на характеристиката на специфичната енергия на преминаване за прекъсвач тип T3S 250 In160 при 400 V. Остта "X" показва симетричният вероятен ток на късо съединение, а остта "Y" показва стойностите на специфичната енергия на преминаване, изразени в MA^2s . При ток на късо съединение, равен на 20 kA, прекъсвачът пропуска стойност на I^2t , равна на 1,17 MA^2s (1 170 000 A^2s).



2 Общи характеристики

2.4 Температурно занижаване на номиналните характеристики

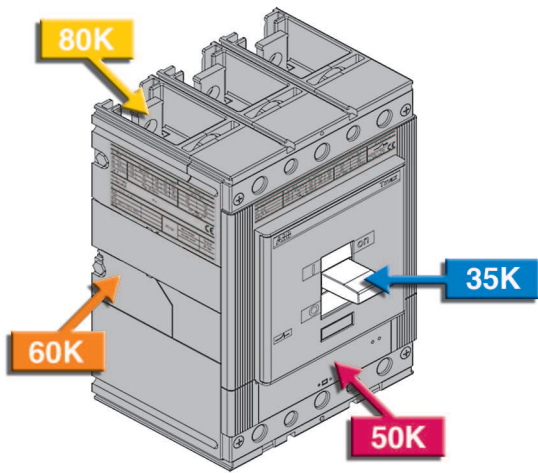
В стандарта IEC 60947-2 е указано, че границите на температурно повишение за прекъсвачи, работещи при номинален ток, трябва да бъдат в рамките на дадените в следващата таблица стойности:

Таблица 1 – Граници на температурното повишение за клеми и достъпни части

Описание на частта*		Граници на температурното повишение К
- Клеми за външни връзки		80
- Средства за ръчно обслужване:	метални	25
	неметални	35
- Части, за които се предвижда да бъдат докосвани, но не държани в ръка:		
	метални	40
	неметални	50
- Части, които не се налага да се докосват при нормална работа:		
	метални	50
	неметални	60

* Някоя стойност не е дадена за части, различни от изброените. Не трябва да се нанавят съседни части от изолационен материал.

Тези стойности са валидни за максимална референтна околна температура от 40°C, както е определено в стандарта IEC 60947-1, член 6.1.1.



2 Общи характеристики

Когато околната температура е различна от 40°C, стойността на тока, която може да се провежда продължително от прекъсвача, е даден в следните таблици:

Прекъсвачи със защитни блокове от претоварване и к.с.

		10 °C		20 °C		30 °C		40 °C		50 °C		60 °C		70 °C	
In [A]		MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX
T1	16	13	18	12	18	12	17	11	16	11	15	10	14	9	13
	20	16	23	15	22	15	21	14	20	13	19	12	18	11	16
	25	20	29	19	28	18	26	18	25	16	23	15	22	14	20
	32	26	37	25	35	24	34	22	32	21	30	20	28	18	26
	40	32	46	31	44	29	42	28	40	26	38	25	35	23	33
	50	40	58	39	55	37	53	35	50	33	47	31	44	28	41
	63	51	72	49	69	46	66	44	63	41	59	39	55	36	51
	80	64	92	62	88	59	84	56	80	53	75	49	70	46	65
	100	81	115	77	110	74	105	70	100	66	94	61	88	57	81
	125	101	144	96	138	92	131	88	125	82	117	77	109	71	102
	160	129	184	123	176	118	168	112	160	105	150	98	140	91	130
T2	1,6	1,3	1,8	1,2	1,8	1,2	1,7	1,1	1,6	1	1,5	1	1,4	0,9	1,3
	2	1,6	2,3	1,5	2,2	1,5	2,1	1,4	2	1,3	1,9	1,2	1,7	1,1	1,6
	2,5	2	2,9	1,9	2,8	1,8	2,6	1,8	2,5	1,6	2,3	1,5	2,2	1,4	2
	3,2	2,6	3,7	2,5	3,5	2,4	3,4	2,2	3,2	2,1	3	1,9	2,8	1,8	2,6
	4	3,2	4,6	3,1	4,4	2,9	4,2	2,8	4	2,6	3,7	2,4	3,5	2,3	3,2
	5	4	5,7	3,9	5,5	3,7	5,3	3,5	5	3,3	4,7	3	4,3	2,8	4
	6,3	5,1	7,2	4,9	6,9	4,6	6,6	4,4	6,3	4,1	5,9	3,8	5,5	3,6	5,1
	8	6,4	9,2	6,2	8,8	5,9	8,4	5,6	8	5,2	7,5	4,9	7	4,5	6,5
	10	8	11,5	7,7	11	7,4	10,5	7	10	6,5	9,3	6,1	8,7	5,6	8,1
	12,5	10,1	14,4	9,6	13,8	9,2	13,2	8,8	12,5	8,2	11,7	7,6	10,9	7,1	10,1
	16	13	18	12	18	12	17	11	16	10	15	10	14	9	13
	20	16	23	15	22	15	21	14	20	13	19	12	17	11	16
	25	20	29	19	28	18	26	18	25	16	23	15	22	14	20
	32	26	37	25	35	24	34	22	32	21	30	19	28	18	26
	40	32	46	31	44	29	42	28	40	26	37	24	35	23	32
	50	40	57	39	55	37	53	35	50	33	47	30	43	28	40
	63	51	72	49	69	46	66	44	63	41	59	38	55	36	51
	80	64	92	62	88	59	84	56	80	52	75	49	70	45	65
	100	80	115	77	110	74	105	70	100	65	93	61	87	56	81
	125	101	144	96	138	92	132	88	125	82	117	76	109	71	101
	160	129	184	123	178	118	168	112	160	105	150	97	139	90	129

2 Общи характеристики

		10 °C		20 °C		30 °C		40 °C		50 °C		60 °C		70 °C	
In [A]		MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX
T3	63	51	72	49	69	46	66	44	63	41	59	38	55	35	51
	80	64	92	62	88	59	84	56	80	52	75	48	69	45	64
	100	80	115	77	110	74	105	70	100	65	93	61	87	56	80
	125	101	144	96	138	92	132	88	125	82	116	76	108	70	100
	160	129	184	123	176	118	168	112	160	104	149	97	139	90	129
	200	161	230	154	220	147	211	140	200	130	186	121	173	112	161
	250	201	287	193	278	184	263	175	250	163	233	152	216	141	201
T4	20	19	27	18	24	16	23	14	20	12	17	10	15	8	13
	32	26	43	24	39	22	36	19	32	16	27	14	24	11	21
	50	37	62	35	58	33	54	30	50	27	46	25	42	22	39
	80	59	98	55	92	52	86	48	80	44	74	40	66	32	58
	100	83	118	80	113	74	106	70	100	66	95	59	85	49	75
	125	103	145	100	140	94	134	88	125	80	115	73	105	63	95
	160	130	185	124	176	118	168	112	160	106	150	100	104	90	130
	200	162	230	155	220	147	210	140	200	133	190	122	175	107	160
	250	200	285	193	275	183	262	175	250	168	240	160	230	150	220
T5	320	260	368	245	350	234	335	224	320	212	305	200	285	182	263
	400	325	465	310	442	295	420	280	400	265	380	250	355	230	325
	500	435	620	405	580	380	540	350	500	315	450	280	400	240	345
T6	630	520	740	493	705	462	660	441	630	405	580	380	540	350	500
	800	685	965	640	905	605	855	560	800	520	740	470	670	420	610

Примери:

Избор на прекъсвач в лят корпус, с термомагнитен защитен блок, за товарен ток 180 А, при околна температура 60°C. От таблицата, отнасяща се за Tmax T3, може да се види, че най-подходящия прекъсвач е T3 In 250, който може да бъде настроен от 152 А до 216 А.

2 Общи характеристики

Прекъсвачи с електронни защитни блокове

			up to 40°C		50°C		60°C		70°C	
			I _{max} (A)	I _I	I _{max} (A)	I _I	I _{max} (A)	I _I	I _{max} (A)	I _I
T2 160	фиксиран	F	160	1	153.6	0,96	140.8	0,88	128	0,8
		EF	160	1	153.6	0,96	140.8	0,88	128	0,8
		ES	160	1	153.6	0,96	140.8	0,88	128	0,8
		FC Cu	160	1	153.6	0,96	140.8	0,88	128	0,8
		FC CuAl	160	1	153.6	0,96	140.8	0,88	128	0,8
	с щепселен монтаж	R	160	1	153.6	0,96	140.8	0,88	128	0,8
		F	144	0,9	138	0,84	126	0,8	112	0,68
		EF	144	0,9	138	0,84	126	0,8	112	0,68
		ES	144	0,9	138	0,84	126	0,8	112	0,68
		FC Cu	144	0,9	138	0,84	126	0,8	112	0,68
FC CuAl	144	0,9	138	0,84	126	0,8	112	0,68		
R	144	0,9	138	0,84	126	0,8	112	0,68		
T4 250	фиксиран	FC	250	1	250	1	250	1	220	0,88
		F	250	1	250	1	250	1	220	0,88
		R (HR)	250	1	250	1	250	1	220	0,88
		R (VR)	250	1	250	1	250	1	230	0,92
	с щепселен монтаж	FC	250	1	250	1	230	0,92	210	0,84
		F	250	1	250	1	230	0,92	210	0,84
		HR	250	1	250	1	230	0,92	210	0,84
		VR	250	1	250	1	240	0,96	220	0,88
T4 320	фиксиран	FC	320	1	294	0,92	269	0,84	243	0,76
		F	320	1	294	0,92	269	0,84	243	0,76
		R (HR)	320	1	294	0,92	269	0,84	243	0,76
		R (VR)	320	1	307	0,96	281	0,88	256	0,8
	с щепселен монтаж	FC	320	1	294	0,92	268	0,84	242	0,76
		F	320	1	294	0,92	268	0,84	242	0,76
		HR	320	1	294	0,92	268	0,84	242	0,76
		VR	320	1	307	0,96	282	0,88	256	0,8
T5 400	фиксиран	FC	400	1	400	1	400	1	352	0,88
		F	400	1	400	1	400	1	352	0,88
		R (HR)	400	1	400	1	400	1	352	0,88
		R (VR)	400	1	400	1	400	1	368	0,92
	с щепселен монтаж	FC	400	1	400	1	368	0,92	336	0,84
		F	400	1	400	1	368	0,92	336	0,84
		R (HR)	400	1	400	1	368	0,92	336	0,84
		R (VR)	400	1	400	1	382	0,96	350	0,88
T5 630	фиксиран	FC	630	1	580	0,92	529	0,84	479	0,76
		F	630	1	580	0,92	529	0,84	479	0,76
		HR	630	1	580	0,92	529	0,84	479	0,76
	с щепселен монтаж	VR	630	1	605	0,96	554	0,88	504	0,80
		F	567	0,9	502	0,8	458	0,72	409	0,64
		HR	567	0,9	502	0,8	458	0,72	409	0,64
VR	567	0,9	526	0,82	480	0,76	429	0,68		

Легенда

- F= Предни плоски клеми
- FC= Предни клеми за кабели
- HR= Задни плоски хоризонтални клеми
- VR= Задни плоски вертикални клеми
- R= Задни клеми

- EF= Предни удължени клеми
- FC Cu= Предни клеми за медни кабели
- FC CuAl= Предни клеми за CuAl кабели
- ES= Предни удължено-разширени клеми

2 Общи характеристики

			up to 40°C		50°C		60°C		70°C	
			I _{max} (A)	I _I	I _{max} (A)	I _I	I _{max} (A)	I _I	I _{max} (A)	I _I
T6 630	фиксиран	FC	630	1	630	1	598,1	1	567	0,9
		R (VR)	630	1	630	1	630	1	598,5	0,95
		R (HR)	630	1	630	1	567	0,9	504	0,8
	с щепселен монтаж	F	630	1	598,5	0,95	567	0,9	567	0,9
		VR	630	1	630	1	598,5	0,95	504	0,8
		HR	630	1	598,5	0,95	567	0,9	504	0,8
T6 800	фиксиран	FC	800	1	800	1	760	0,95	720	0,9
		R (VR)	800	1	800	1	800	1	760	0,95
		R (HR)	800	1	800	1	720	0,9	640	0,8
	с щепселен монтаж	F	800	1	760	0,95	720	0,9	640	0,8
		VR	800	1	800	1	760	0,95	720	0,9
		HR	800	1	760	0,95	720	0,9	640	0,8
T6 1000	фиксиран	FC	1000	1	926	0,93	877	0,88	784	0,78
		R (HR)	1000	1	926	0,93	845	0,85	756	0,76
		R (VR)	1000	1	1000	1	913	0,92	817	0,82
		ES	1000	1	900	0,9	820	0,82	720	0,72
T7 1000 V	фиксиран	VR	1000	1	1000	1	1000	1	894	0,89
		EF-HR	1000	1	1000	1	895	0,89	784	0,78
	с щепселен монтаж	VR	1000	1	1000	1	913	0,91	816	0,82
		EF-HR	1000	1	1000	1	895	0,89	784	0,78
T7 1250 V	фиксиран	VR	1250	1	1201	0,96	1096	0,88	981	0,78
		EF-HR	1250	1	1157	0,93	1056	0,85	945	0,76
	с щепселен монтаж	VR	1250	1	1157	0,93	1056	0,85	945	0,76
		EF-HR	1250	1	1000	0,8	913	0,73	816	0,65
T7 1250 S-H-L	фиксиран	VR	1250	1	1250	1	1250	1	1118	0,89
		EF-HR	1250	1	1250	1	1118	0,89	980	0,78
	с щепселен монтаж	VR	1250	1	1250	1	1141	0,91	1021	0,82
		EF-HR	1250	1	1250	1	1118	0,89	980	0,78
T7 1600 S-H-L	фиксиран	VR	1600	1	1537	0,96	1403	0,88	1255	0,78
		EF-HR	1600	1	1481	0,93	1352	0,85	1209	0,76
	с щепселен монтаж	VR	1600	1	1481	0,93	1352	0,85	1209	0,76
		EF-HR	1600	1	1280	0,8	1168	0,73	1045	0,65

Легенда

F= Предни плоски клеми

FC= Предни клеми за кабели

HR= Задни плоски хоризонтални клеми

VR= Задни плоски вертикални клеми

R= Задни клеми

EF= Предни удължени клеми

FC Cu= Предни клеми за медни кабели

FC CuAl= Предни клеми за CuAl кабели

ES= Предни удължено-разширени клеми

Пример:

Избор на прекъсвач в лят корпус с електронен защитен блок, избираем със задна вертикална клемна шина, товарен ток равен на 720 A и околна температура 50°C. От таблицата, отнасяща се за Tmax T6 може да се види, че най-подходящият прекъсвач е T6 800, който може да се настрои от 320 A до 760 A.

2 Общи характеристики

Етап Х1 с хоризонтални задни клеми

Температура [°C]	X1 630		X1 800		X1 1000		X1 1250		X1 1600	
	%	[A]	%	[A]	%	[A]	%	[A]	%	[A]
10	100	630	100	800	100	1000	100	1250	100	1600
20	100	630	100	800	100	1000	100	1250	100	1600
30	100	630	100	800	100	1000	100	1250	100	1600
40	100	630	100	800	100	1000	100	1250	100	1600
45	100	630	100	800	100	1000	100	1250	100	1600
50	100	630	100	800	100	1000	100	1250	97	1550
55	100	630	100	800	100	1000	100	1250	94	1500
60	100	630	100	800	100	1000	100	1250	93	1480

Етап Х1 с вертикални задни клеми

Температура [°C]	X1 630		X1 800		X1 1000		X1 1250		X1 1600	
	%	[A]	%	[A]	%	[A]	%	[A]	%	[A]
10	100	630	100	800	100	1000	100	1250	100	1600
20	100	630	100	800	100	1000	100	1250	100	1600
30	100	630	100	800	100	1000	100	1250	100	1600
40	100	630	100	800	100	1000	100	1250	100	1600
45	100	630	100	800	100	1000	100	1250	100	1600
50	100	630	100	800	100	1000	100	1250	100	1600
55	100	630	100	800	100	1000	100	1250	98	1570
60	100	630	100	800	100	1000	100	1250	95	1520

Етап Е1

Температура [°C]	E1 800		E1 1000		E1 1250		E1 1600	
	%	[A]	%	[A]	%	[A]	%	[A]
10	100	800	100	1000	100	1250	100	1600
20	100	800	100	1000	100	1250	100	1600
30	100	800	100	1000	100	1250	100	1600
40	100	800	100	1000	100	1250	100	1600
45	100	800	100	1000	100	1250	98	1570
50	100	800	100	1000	100	1250	96	1530
55	100	800	100	1000	100	1250	94	1500
60	100	800	100	1000	100	1250	92	1470
65	100	800	100	1000	99	1240	89	1430
70	100	800	100	1000	98	1230	87	1400

2 Общи характеристики

Emax E2

Температура	E2 800		E2 1000		E2 1250		E2 1600		E2 2000	
[°C]	%	[A]	%	[A]	%	[A]	%	[A]	%	[A]
10	100	800	100	1000	100	1250	100	1600	100	2000
20	100	800	100	1000	100	1250	100	1600	100	2000
30	100	800	100	1000	100	1250	100	1600	100	2000
40	100	800	100	1000	100	1250	100	1600	100	2000
45	100	800	100	1000	100	1250	100	1600	100	2000
50	100	800	100	1000	100	1250	100	1600	97	1945
55	100	800	100	1000	100	1250	100	1600	94	1885
60	100	800	100	1000	100	1250	98	1570	91	1825
65	100	800	100	1000	100	1250	96	1538	88	1765
70	100	800	100	1000	100	1250	94	1510	85	1705

Emax E3

Температура	E3 800		E3 1000		E3 1250		E3 1600		E3 2000		E3 2500		E3 3200	
[C°]	%	[A]	%	[A]	%	[A]	%	[A]	%	[A]	%	[A]	%	[A]
10	100	800	100	1000	100	1250	100	1600	100	2000	100	2500	100	3200
20	100	800	100	1000	100	1250	100	1600	100	2000	100	2500	100	3200
30	100	800	100	1000	100	1250	100	1600	100	2000	100	2500	100	3200
40	100	800	100	1000	100	1250	100	1600	100	2000	100	2500	100	3200
45	100	800	100	1000	100	1250	100	1600	100	2000	100	2500	100	3200
50	100	800	100	1000	100	1250	100	1600	100	2000	100	2500	97	3090
55	100	800	100	1000	100	1250	100	1600	100	2000	100	2500	93	2975
60	100	800	100	1000	100	1250	100	1600	100	2000	100	2500	89	2860
65	100	800	100	1000	100	1250	100	1600	100	2000	97	2425	86	2745
70	100	800	100	1000	100	1250	100	1600	100	2000	94	2350	82	2630

Emax E4

Температура	E4 3200		E4 4000	
[°C]	%	[A]	%	[A]
10	100	3200	100	4000
20	100	3200	100	4000
30	100	3200	100	4000
40	100	3200	100	4000
45	100	3200	100	4000
50	100	3200	98	3900
55	100	3200	95	3790
60	100	3200	92	3680
65	98	3120	89	3570
70	95	3040	87	3460

Emax E6

Температура	E6 3200		E6 4000		E6 5000		E6 6300	
[°C]	%	[A]	%	[A]	%	[A]	%	[A]
10	100	3200	100	4000	100	5000	100	6300
20	100	3200	100	4000	100	5000	100	6300
30	100	3200	100	4000	100	5000	100	6300
40	100	3200	100	4000	100	5000	100	6300
45	100	3200	100	4000	100	5000	100	6300
50	100	3200	100	4000	100	5000	100	6300
55	100	3200	100	4000	100	5000	98	6190
60	100	3200	100	4000	98	4910	96	6070
65	100	3200	100	4000	96	4815	94	5850
70	100	3200	100	4000	94	4720	92	5600

2 Общи характеристики

2.5 Електрически характеристики на товарните прекъсвачи

Товарите прекъсвачи са дефинирани в стандарта IEC 60947-3 като механични комутационни устройства, които в изключено положение изпълняват функция на разединяване и осигуряват изолационно разстояние (разстоянието между контактите), достатъчно за да се гарантира безопасност. Тази безопасност на разединяване трябва да бъде гарантирана и удостоверена чрез положителната операция: работния лост трябва винаги да показва действителното положение на подвижните контакти в устройството.

Механичното комутационно устройство трябва да може да включва, провежда и прекъсва токове при нормални работни условия на веригата, включително и токове на претоварване и да провежда за определен период от време токове при аномални работни условия на веригата, като например при късо съединение.

Товарите прекъсвачи често се използват като:

- Главни устройства на обособени части на разпределителни уредби;
- Комутационни и разединяващи устройства за линии, събирателни шини и товари;
- Шинни връзки.

Товарите прекъсвачи трябва да гарантират, че цялата инсталация или част от нея не е под напрежение и е сигурно разединена от каквото и да било електрическо захранване. Използването на такъв прекъсвач дава възможност например персоналът да работи по инсталацията без рискове от електрическо естество.

Дори и да не е забранено използването на еднополусни устройства едно до друго, стандартите препоръчват да се използват многополусни устройства, така че да се гарантира едновременната изолация на всички полюси във веригата.

Специфичните номинални характеристики на товарите прекъсвачи са дефинирани в стандарта IEC 60947-3, както са описани по-долу:

- **I_{cw} [kA]:** номинален кратковременен ток на термична устойчивост: това е токът, който товарният прекъсвач може да провежда без повреда в затворено положение за определен период от време.

2 Общи характеристики

- **I_{сн} [kA]:** номинална включвателна способност при късо съединение: това е максималната върхова стойност на тока на късо съединение, който товаровият прекъсвач може да включи без повреда. Когато тази стойност не е зададена от производителя, трябва да се приеме, че е най-малко равна на върховия ток, съответстващ на I_{сw}. Не е възможно да се дефинира изключвателна способност I_{сi} [kA], тъй като не се изисква товаровите прекъсвачи да прекъсват токове на късо съединение.
- **Категории за приложение при променлив ток AC и при постоянен ток DC:**

дефинират вида на условията на приложение, които се представят чрез две букви за да се укаже типа на веригите, в които може да се инсталира устройството (AC за променлив ток и DC за постоянен ток), с двуцифрен номер за типа на товара, с който трябва да се работи и една допълнителна буква (A или B), която показва честота на използване.

На базата на категориите за приложение, стандартът за продукта определя стойностите на тока, които товаровият прекъсвач трябва да може да изключва и включва при аномални условия.

Характеристиките на категориите за приложение са дадени подробно по-долу в Таблица 1. Категорията с най-големи изисквания за работа с променлив ток е AC23A, според която устройството трябва да може да включи ток равен на 10 пъти номиналния ток на устройството и да изключи ток равен на 8 пъти номиналния ток на устройството.

От гледна точка на конструкцията, товарите прекъсвачи са много прости устройства. Те не са оборудвани с апаратура за установяване на надноминален ток и последващо автоматично прекъсване на тока. Поради това товарите прекъсвачи не могат да се използват за автоматична защита от свръхток, който може да се появи в случай на неизправност, защитата трябва да се осигури чрез координиращ прекъсвач. Комбинирането на двете устройства позволява използването на товари прекъсвачи в системи, в които стойността на тока на късо съединение е по-висока от електрическите параметри, които дефинират работните характеристики на товаровия прекъсвач (виж. Каскадиране 3.3). Това е валидно само за товарите прекъсвачи I_{so}max и T_{max}. За въздушните прекъсвачи E_{max}/MS трябва да се провери, дали стойностите им за I_{сw} и I_{сн} са по-високи от стойностите на тока на късо съединение в инсталацията и съответната върхова стойност на тока.

Таблица 1: Категории за приложение

Вид на тока	Категории за приложение		
	Категория за приложение		Типични приложения
	Честота на сработване	Рядки сработване	
Променлив ток	AC-20A	AC-20B	Включване и изключване при условия без товар
	AC-21A	AC-21B	Превключване на съпротивителни товари, включително умерено претоварване
	AC-22A	AC-22B	Превключване на смесени съпротивителни и индуктивни товари, включително умерено претоварване
	AC-23A	AC-23B	Превключване на моторни товари или други силно индуктивни товари
Постоянен ток	DC-20A	DC-20B	Свързване и разединяване при условия без товар
	DC-21A	DC-21B	Превключване на съпротивителни товари, включително умерено претоварване
	DC-22A	DC-22B	Превключване на смесени съпротивителни и индуктивни товари, включително умерено претоварване (например шунтови двигатели)
	DC-23A	DC-23B	Превключване на силно индуктивни товари

3 Координиране на защитата

3.1 Координиране на защитата

Проектът на една система за защита на електрическа мрежа е от фундаментална важност, както за да се осигури правилната, икономична и функционална експлоатация на инсталацията като цяло, така и да се свежат до минимум всички проблеми, причинени от аномални работни условия и/или неизправности.

Настоящият анализ разглежда координацията (съгласуваността) между различните устройства, предназначени за защита на зони и специфични компоненти от гледна точка на:

- гарантиране на безопасността на хората и инсталацията по всяко време;
- определяне и бързо изключване само на зоните засегнати от проблема и ограничаване по този начин на енергията достигаща до останалата част от мрежата;
- ограничаване на въздействието на неизправността върху други незасегнати части от мрежата (спадове в напрежението, загуба на стабилност във въртящи механизми);
- намаляване на натоварванията и повредите на компонентите в засегнатата зона;
- осигуряване на непрекъснатост на работата с добро качество на захранващото напрежение;
- гарантиране на координация в случай на неизправност на защитното устройство, отговорно за изключване;
- осигуряване на необходимата информация на персонала и системите за управление, която им е необходима, за да възстановят работата колкото е възможно по-бързо и при минимално нарушаване на нормалната работа на останалата част от мрежата;
- постигане на разумен компромис между надеждност, простота и икономическа ефективност.

За да сме по-прецизни, една система за защита трябва да може следното:

- да разпознава какво и къде се случва. Да прави разлика между ситуациите, които са извън нормалния режим на работа, но допустими за момента в дадена зона на въздействие, избягвайки по този начин ненужното изключване и последващото неоснователно отделяне на изправната част от системата;
- да предприема действия колкото е възможно по-бързо, за да ограничи повредите (разрушаване, ускорено износване, ...), запазвайки непрекъснатостта и стабилността на електрическото захранване.

Най-подходящото решение се получава от компромиса между тези две противоположни необходими – да се идентифицира прецизно неизправността и да се действа бързо. То се дефинира като функция с приоритет на едно от тези две изисквания.

3.2 Селективност

Влияние на електрическите параметри на мрежата (номинален ток и ток на късо съединение)

Приетата стратегия за координиране на защитните устройства зависи основно от стойностите на номиналния ток (I_n) и на тока на късо съединение (I_k) в разглежданата точка от мрежата.

Най-общо казано, можем да определим следните типове селективност:

- селективност по ток;
- селективност по време (или време-ток);
- зонава (или логическа) селективност;
- селективност по енергия;
- каскадиране.

3 Координиране на защитата

Дефиниране на селективност

Селективността по надноминален ток е дефинирана в стандарта като “координация на работните характеристики на две или повече устройства за защита от надноминален (свръх) ток, така че в случай на претоварване в рамките на определени граници, устройствата предназначено да сработи в тези граници да го направя, докато другите устройства да не сработят” (IEC 60947-1, деф. 2.5.23);

Могат да се разграничат следните случаи:

- **пълна селективност**, което означава “селективност по надноминален ток такава, че в случай на две последователно свързани устройства за защита от надноминален ток, защитното устройство от страна на товара да реализира защита без изключване на другото защитно устройство” (IEC 60947-2, деф. 2.17.2);
- **частична селективност**, което означава “селективност по надноминален ток такава, че в случай на две последователно свързани устройства за защита от надноминален ток, защитното устройство от страна на товара да реализира защита до определена граница на тока без да изключи другото” (IEC 60947-2, деф. 2.17.4).

3.2.1 Селективност по ток

Този вид селективност се основава на факта, че колкото по-близо до захранването на мрежата възникне повредата, толкова по-голям ще е токът на късо съединение. Поради това ние можем да определим зоната, където е възникнала неизправността, като просто калибрираме мигновената защита на устройството от страна на захранването до гранична стойност по-висока от тока на повредата, който би задействал изключването на това устройство по-надолу по веригата от страна на товара.

Обикновено можем да постигнем пълна селективност само в определени случаи, когато токът на повреда не е много висок (и е сравним с номиналния ток на устройството), или когато компонент с голям импеданс е между две устройства за защита (например трансформатор, много дълъг кабел ...), усилващ голямата разлика между стойностите на тока на късо съединение.

Този вид координация е съответно приложим основно в крайни разпределителни мрежи (с ниски стойности на номиналния ток и на тока на късо съединение и висок импеданс на съединителните кабели).

Основно, при проектиране се използват кривите на изключване на устройствата.

Това решение е:

- бързо;
- лесно за реализиране;
- не е скъпо.

От друга страна:

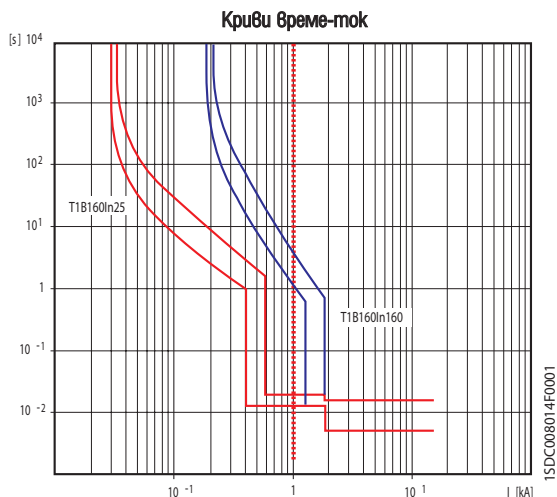
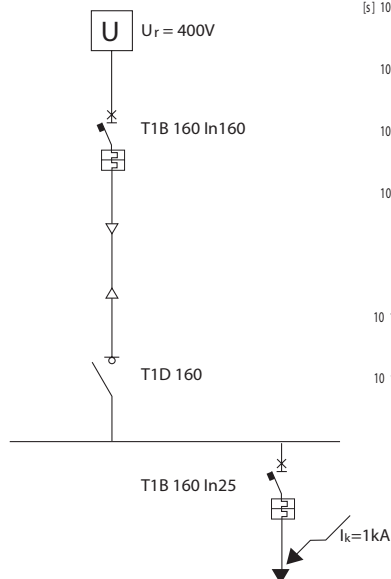
- границите на селективност обикновено са ниски;
- увеличаването на нивата на селективност води до бързото нарастване на устройствата по големина на ток и физически размер.

Следващият пример показва едно типично приложение на селективност по ток, основана на различните стойности за мигновено изключване на разглеждания прекъсвач.

3 Координиране на защитата

При стойност на тока на повреда в дефинираната точка равна на 1000 А се получава адекватна координация чрез използване на разглежданите прекъсвачи както е определено от кривите на изключване на защитните устройства.

Границата на селективност се получава от минималната стойност на защитата на прекъсвача от страна на захранването T1B160 In160.



3.2.2 Селективност по време

Този вид селективност е еволюция на разглежданата по-горе. Следователно, стратегията за настройките се базира на прогресивното увеличаване на стойностите на тока и времената на закъснение за изключване на защитните устройства при доближаването до източника на електрическо захранване. Както и в случая на селективност по ток, реализирането на защитата се основава на сравняването на времетоковите кривите на изключване на защитните устройства.

Този вид селективност:

- лесно се проектира и реализира;
- сравнително не е скъпа;
- дава възможност да се постигнат дори високи нива на селективност в зависимост от I_{cw} на устройството откъм захранващата страна;
- дава възможност за запас на защитните функции и може да изпраща валидна информация на системата за управление,

но има следните недостатъци:

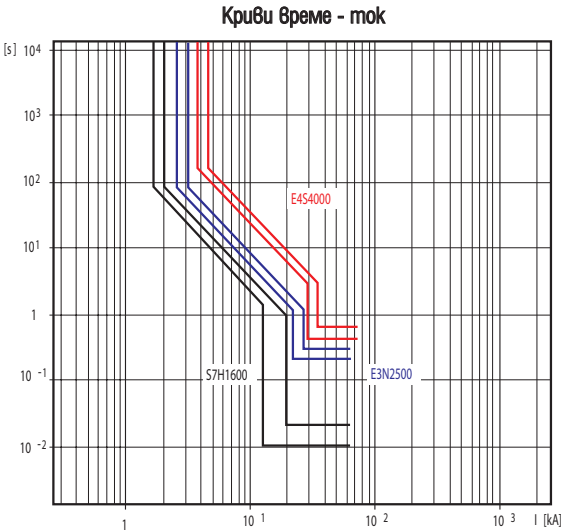
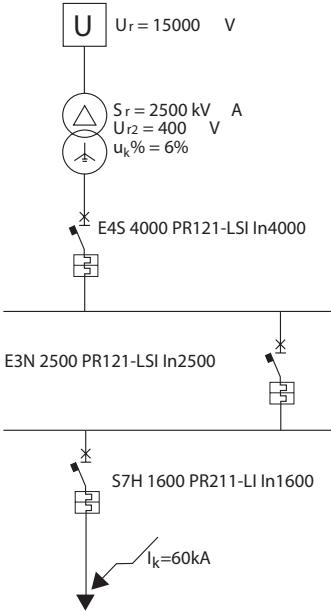
- времената на изключване и нивата на енергия, които пропускат защитните устройства (особено по-близките до източника) са високи, с очевидни проблеми по отношение на сигурността и повредите на компонентите, дори в зоните незасегнати от неизправността;

3 Координиране на защитата

- Тя дава възможност да се използват токоограничаващи прекъсвачи само на нивата, йерархически по-ниски по веригата; останалите прекъсвачи трябва да могат да издържат на термичните и електродинамичните натоварвания, свързани с преминаването на тока на повреда за предвидения период на закъснение. Трябва да се използват селективни прекъсвачи, често от въздушен тип за различните нива, за да се гарантира достатъчно висок кратковременен ток на термична устойчивост.
- Продължителността на смущението, предизвикано от тока на късо съединение върху напрежението на електрозахранването в зоните незасегнати от повредата, може да причини проблеми с електронните и електромеханичните устройства.
- Броят на нивата на селективност е ограничен от максималното време, през което мрежата може да издържи без да изгуби стабилността си.

Следващият пример показва едно типично приложение на селективност по време, получена чрез настройване на различни времена на изключване на отделните защитни устройства.

Електронен защитен блок:	L (голямо закъснение)	S (малко закъснение)	I (IST)
E4S 4000 PR121-LSI In4000	Настройка: 0.9 Криву: 12s	Настройка: 8.5 Криву: 0.5s	Off
E3N 2500 PR121-LSI In2500	Настройка: 1 Криву: 3s	Настройка: 10 Криву: 0.3s	Off
S7H 1600 PR211-LI In1600	Настройка: 1 Криву: A		Настройка: 10



3 Координиране на защитата

3.2.3 Зонава (логическа) селективност

За зонава селективност се използват прекъсвачи с лят корпус MCCB (T4 L-T5 L-T6 L със защита PR223-EF) и въздушни прекъсвачи ACB (със защиты PR332/P – PR333/P – PR122 – PR 123).

Този вид селективност се реализира чрез диалог между токоизмервателни устройства, които след като установят, че е била превишена предварително зададена стойност дават точната идентификация и отделият само зоната, засегнатата от неизправността.

На практика това може да се реализира по два начина:

- Защитните блокове изпращат информация на системата-супервайзор, че предварително зададената стойност на тока е била превишена и тя решава кое защитно устройство да изключи;
- В случай на стойности на тока, превишаващи предварително зададената стойност, всяко защитно устройство изпраща блокиращ сигнал по директна връзка или магистрала до защитното устройство, намиращо се на по-високо ниво в йерархията (т.е. по посока на захранването) и преди да изключи проверява, дали не е получило подобен блокиращ сигнал от защитно устройство, намиращо под него надолу по веригата; по този начин изключва само защитното устройство, което е непосредствено "над" неизправността.

Първият начин предвижда времена на изключване от около една секунда и се използва главно в случай на не особено високи токове на късо съединение, където електрическият поток не е еднозначно дефиниран.

Вторият начин дава възможност за значително по-малки времена на изключване: по отношение на координацията със селективност по време вече не е необходимо да се увеличава прогресивно периода на закъснение, когато се доближаваме до източника на захранване. Максималното закъснение е в зависимост от времето, необходимо за установяване на наличие на блокиращ сигнал изпратен от защитното устройство, намиращо се "по-долу".

Предимства:

- Намаляване на времената на изключване и увеличаване на нивото на сигурност;
- Намаляване на повредите причинени от неизправността, както и на смущенията в електрозахранващата мрежа;
- Намаляване на термичните и електро-динамичните натоварвания върху прекъсвачите и компонентите на системата;
- Голям брой нива на селективност;
- Подсигуряване на защитите: в случай на неправилно функциониране на зоната селективност, изключването се осигурява чрез настройките на другите защитни функции на прекъсвачите. В частност е възможно да се настройат защитни функции със закъснение срещу късо съединение, като стойностите на времето нарастват с доближаване на източника на захранване на мрежата.

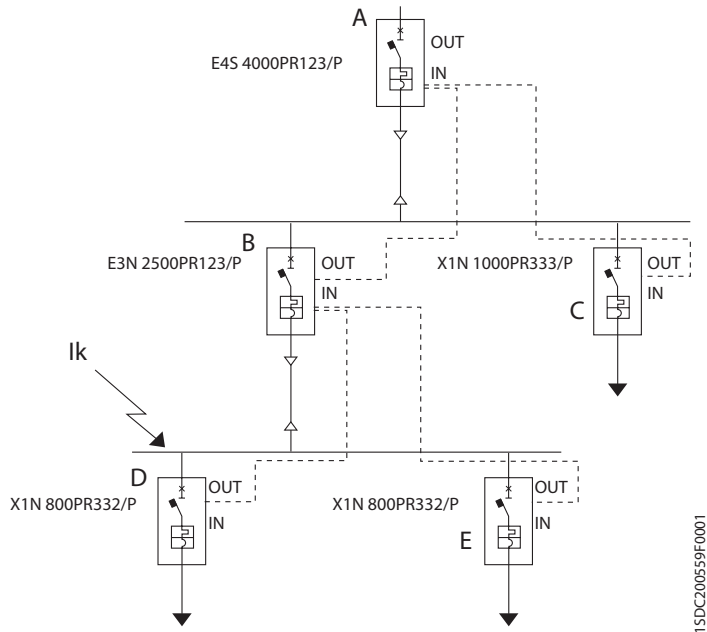
Недостатъци:

- По-големи разходи;
- По-голяма сложност на системата (специални компоненти, допълнителни проводници, спомагателни източници на електрозахранване, ...).

По тези причини това решение се използва основно в системи с висок номинален ток и високи стойности на тока на късо съединение, с прецизни изисквания по отношение на сигурността и непрекъснатостта на работата: в частност, примери за логическа селективност могат често да се намерят в първичните разпределителни уредби, веднага след трансформаторите и генераторите и в многоконтурните мрежи.

3 Координиране на защитата

Зонова селективност с прекъсвачи тип Emax



Примерът по-горе показва инсталация, опроводена така, че да гарантира зонава селективност с прекъсвач тип Emax, оборудван със защитни блокове PR332/P-PR333/P-PR122/P-PR123/P.

Всеки прекъсвач, който установи неизправност, изпраща сигнал на прекъсвача непосредствено над себе си от страна на захранването по комуникационен проводник; прекъсвачът, който не получи никаква комуникация от прекъсвачите от страната на товара трябва да изпълни команда за отваряне.

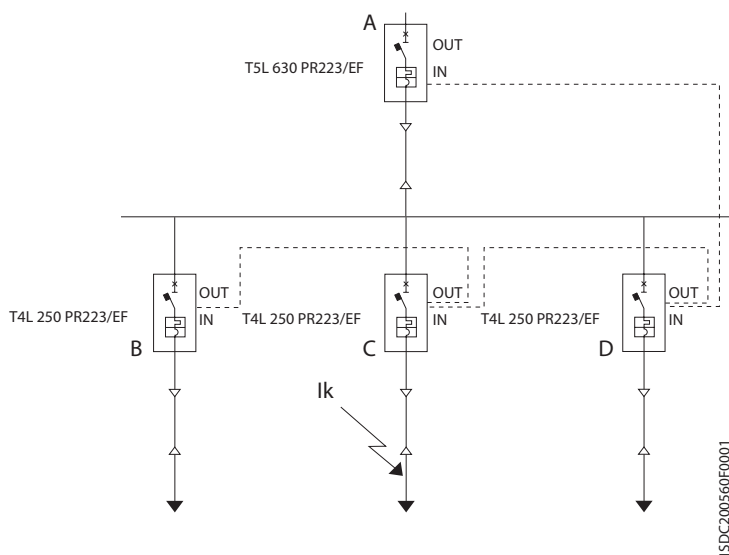
В този пример с неизправност, локализирана в указаната точка, прекъсвачите D и E не установяват тази неизправност и следователно те не комуникират с прекъсвача от страна на захранването (прекъсвач B), който ще изпълни командата за отваряне в рамките на времето на селективност, настроено от 40 до 200 ms.

За да се изгради правилно зоната селективност, се предлагат следните настройки:

S	$t_2 \geq \text{време за селективност} + 70 \text{ ms}$
I	$I_3 = \text{OFF}$
G	$t_4 \geq \text{време за селективност} + 70 \text{ ms}$
Времена на селективност	еднакви настройки за всички прекъсвачи

3 Координиране на защитата

Зонова селективност за прекъсвачи тип Tmax (T4L-T5L-T6L) със защитен блок PR223 EF



Примерът по-горе показва инсталация, опроводена за ползване на протокол за блокиране (Interlocking protocol, IL), така че да се гарантира зонава селективност чрез защитен блок PR223 EF. В случай на късо съединение прекъсвачът, непосредствено до повредата от страна на захранването, изпраща по магистралата блокиращ сигнал до защитното устройство, намиращо се по-горе в йерархията и проверява преди да изключи, дали не е получил такъв блокиращ сигнал от защитата от страна на товара.

В примера, показан на фигурата, прекъсвачът С, намиращ се непосредствено до неизправността, изпраща блокиращ сигнал до прекъсвача А, който е на по-високо йерархично ниво. Ако, както е в дадения пример, няма защита от страната на товара, прекъсвачът С ще се отвори за много кратко време тъй като не е получил блокиращ сигнал.

Всичко това се извършва за по-кратко период от време (10 до 15 ms), отколкото в случая на зонава селективност с въздушните прекъсвачи от серията Tmax (40 до 200 ms), като по този начин инсталацията се излага на по-малки електродинамични натоварвания и се постигат икономии от разходи по изграждане и поддръжка на инсталацията.

3 Координиране на защитата

3.2.4 Селективност по енергия

Енергията координация е конкретен тип селективност, която използва токоограничащата характеристика на прекъсвачите в лят корпус. Важно е да се помни, че токоограничащите прекъсвачи са "прекъсвачи с време на прекъсване достатъчно кратко за да се предотврати токът на късото съединение да достигне върхова стойност, която в противен случай би могла да бъде достигната" (IEC 60947-2, деф. 2.3).

В практиката прекъсвачите на ABB SACE от серията Tmax са изключително бързи в условия на късо съединение (време на изключване около няколко милисекунди) и поради това е невъзможно да се използват кривите на изключване „време-ток“ при проектиране на координирането.

Процесите са основно динамични (и поради това пропорционални на квадрата на стойността на моментния ток) и могат да бъдат описани чрез кривите на специфичната енергия на преминаване.

По принцип е необходимо да се провери, че енергия на преминаване за прекъсвача „по-долу“ по електрическата верига е по-малка от стойността необходима за извършване на отваряне на прекъсвача, намиращ се „по-горе“.

Този тип селективност е определено по-сложен за разглеждане от предишните, тъй като той зависи в голяма степен от взаимодействието между двете устройства, разположени последователно и изисква достъп до данни, с които крайният потребител често не разполага. Производителите осигуряват таблици, правила и изчислителни програми, в които са дадени минималните граници за селективност между различните комбинации от прекъсвачи.

Предимства:

- Бързо прекъсване с време на изключване, което намалява с нарастването на тока на късо съединение;
- Ограничаване на щетите, причинени от неизправността (термични и динамични натоварвания), на смущенията в системата на електрозахранване, на разходите, ...;
- Нивото на селективност вече не е ограничено от стойността на кратковременния ток на термична устойчивост I_{cw} , който устройството може да издържи;
- Голям брой нива на селективност;
- Възможност за координиране на различни токоограничащи устройства (предпазители, прекъсвачи, ...), дори ако те са разположени в междинни положения по веригата.

Недостатък:

- Трудно координиране на прекъсвачи с подобен типоразмер.

Този вид координиране се използва преди всичко за вторични и крайни разпределителни мрежи, с номинални токове под 1600 A.

3.3 Каскадиране

Каскадиране е „координация на две устройства за защита от надноминален ток свързани последователно, където обикновено, но не задължително, защитното устройство от страна на захранването спомага на долустоящото устройство да изпълни защитата от претоварване и предотвратява прекомерните натоварвания върху последното" (IEC 60947-1, деф. 2.5.24).

Освен това член 434.5.1 на IEC 60364-4-43 гласи: "... Допуска се по-ниска изключвателна способност, ако друго защитно устройство с необходимата изключвателна способност е инсталирано от страна на захранването. В този случай, параметрите на двете устройствата трябва да бъдат координирани така, че големината на енергията на преминаване през тези две устройства да не превишава стойността,

3 Координиране на защитата

която могат да издържат без да бъдат повредени защитното устройство от страната на товара и проводниците защитавани от него.”

Предимства:

- икономично решение;
- изключително бързо изключване.

Недостатъци:

- изключително ниски стойности на селективност;
- ниско качество на работа, тъй като най-малко два прекъсвача, свързани последователно, трябва да изключат.

3.4 Координиране между прекъсвач и товарен прекъсвач

Товарови прекъсвачи

Товаровите прекъсвачи произлизат от съответните прекъсвачи, от които те са запазили габаритните размери, закрепващите системи и възможността за монтиране на всички допълнителни принадлежности, предвидени за базовите версии. Те са устройства, които могат да включват, провеждат и прекъсват токове при нормални работни условия на веригата.

Те могат също така да се използват като главни прекъсвачи в разпределителни уредби, като шинни връзки или за изолиране на части на инсталацията, като линии, събирателни шини или групи от товари. След като е отворил този прекъсвач гарантира изолация благодарение на своите контакти, които са на подходящото разстояние за да предотвратят възникване на електрическа дъга съгласно препоръките на стандартите по отношение на възможностите за изолация.

Защита на товарни прекъсвачи

Всеки товарен прекъсвач трябва да бъде защитен чрез координиращо устройство, което го предпазва от надноминален ток, обикновено прекъсвач с възможности да ограничава тока на късо съединение и стойностите на енергията на преминаване до нива, допустими за товарния прекъсвач.

По отношение на защитата от претоварване, номиналният ток на прекъсвача трябва да бъде по-нисък или равен по големина на тока на товарния прекъсвач, който трябва да бъде предпазван.

За товарните прекъсвачи от серията Tmax в таблиците за координиране са посочени прекъсвачите, които могат да ги предпазят до указаните стойности на възможния ток на късо съединение.

За товарните прекъсвачи от серията Etax е необходимо да се провери, че стойността на тока на късо съединение в тази точка на инсталацията е по-ниска от кратковременния ток на термична устойчивост I_{cw} на товарния прекъсвач и че върховата му стойност е по-ниска от стойността на включване при късо съединение (I_{cm})

4 Специални приложения

4.1 Постояннотокови мрежи

Основни приложения на постоянния ток

- Аварийно захранване или спомагателна работа:

Използването на постоянен ток се дължи на необходимостта от резервен източник на енергия, който осигурява захранването на основните функции, като: защитни функции, аварийно осветление, алармени системи, болници и промишлени процеси, центрове за обработване на информация и т.н., чрез използване например на акумулаторни батерии.

- Електрически транспорт:

Предимствата, осигурявани от използването на постоянно токови двигатели по отношение на регулирането и еднолинейното захранване, са причина за широко разпространената употреба на постоянен ток за железници, метро, трамваи, лифтове и обществен транспорт и други.

- Конкретни индустриални инсталации:

Има някои електролитни технологични инсталации и приложения, където е особено необходимо да се използват електрически машини.

Типичната употреба на прекъсвачите включва защита на кабели, устройства и работата на мотори.

Прекъсване на постоянния ток

Постоянният ток създава повече проблеми в сравнение с променливия по отношението на процесите, свързани с прекъсването на ток с високи стойности. Променливите токове имат естествено преминаване през нулата на всеки полупериод на тока, което съответства на спонтанно гасене на дъгата, която се образува, когато се отвори веригата.

Тази характеристика не съществува при постоянните токове, и освен това за да се изгаси дъгата е необходимо да се понижи тока до нула.

Времето на гасене при постоянния ток, при еднакви други условия, е пропорционално на времевата константа на веригата $T = L/R$.

Необходимо е прекъсването да се извърши постепенно, без внезапно изключване на тока, което би могло да причини големи пренапрежения. Това може да се извърши чрез разтягане и охлаждане на дъгата така, че да се внесе дори още по-голямо съпротивление във веригата.

Енергийните характеристики, които възникват във веригата, зависят от нивото на напрежението в инсталацията и водят до инсталиране на прекъсвачи съгласно схемите на свързване, в които полюсите на прекъсвачите са разположени последователно за да се увеличат работните им характеристики в условия на късо съединение. Изключвателната способност на едно комутационно устройство се увеличава с увеличаване на броя на контактите, които отварят веригата, т.е., когато напрежение получено от електрическата дъга е по-голямо.

Това означава също така, че когато нараства напрежението на захранването на инсталацията, трябва да нараства и броят на токовете превключватели и следователно и полюсите свързани последователно.

4 Специални приложения

Изчисляване на тока на късо съединение на акумулаторна батерия

Токът на късо съединение на клемите на акумулаторна батерия може да се даде от производителя на батерията или може да бъде изчислен чрез следната формула:

$$I_k = \frac{U_{\text{Max}}}{R_i}$$

където:

- U_{Max} е максималното пробивно напрежение (напрежение без товар);
- R_i е вътрешното съпротивление на елементите, изграждащи батерията.

Вътрешното съпротивление обикновено се дава от производителя, но може да се изчисли от характеристиките на разреждане, получени чрез тест, описан подробно в IEC 60896 – 1 или IEC 60896 – 2.

Например, при батерия 12,84 V и вътрешно съпротивление 0,005 Ω се получава ток на късо съединение на клемите 2568 A.

При условия на късо съединение токът нараства много бързо в началните моменти, достига върхова стойност и след това намалява с разреждането на батерията. Естествено, тази висока стойност на тока на повреда причинява рязко нагряване във вътрешността на батерията, дължащо се на вътрешното ѝ съпротивление и това може да доведе до експлозия. Затова е много важно да се предотвратяват и/или да се минимизират токовете на късо съединение в постояннотоковите системи, захранвани от акумулаторни батерии.

4.2 Критерии за избор на прекъсвачи

За правилния избор на прекъсвач за защита на постояннотокова мрежа трябва да се вземат предвид следните фактори:

1. Токът на товара, според който могат да се определят типа на прекъсвача и настройката на защитата от претоварване и късо съединение;
2. Номиналното напрежение на инсталацията, според което се определя броя на полюсите, които трябва да се свържат последователно. По този начин изключвателната способност на устройството може да бъде увеличена;
3. Вероятният ток на късо съединение в точката от инсталацията, където е прекъсвачът;
4. Типът на мрежата, по-точно типа на свързване със земя.

Забележка: При използване на четириполюсен прекъсвач неутралата трябва да бъде на 100%.

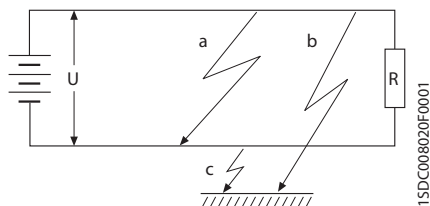
4.3 Типове постояннотокови мрежи

Постояннотоковите мрежи могат да бъдат изпълнени:

- с двете полярности, изолирани от земята;
- с една полярност, свързана със земята;
- със средна точка, свързана със земята.

4 Специални приложения

Мрежа с двете полярности изолирани от земята



- Повреда **a**: при повреда (с пренебрежим импеданс) между двете полярности се създава ток на късо съединение посредством цялото напрежение U , според което трябва да се избере изключвателната способност на прекъсвача;
- Повреда **b**: повреда между полярността и земята няма последствия от гледна точка на функционирането на инсталацията;
- Повреда **c**: и тук повреда между полярността и земята няма последствия от гледна точка на функционирането на инсталацията.

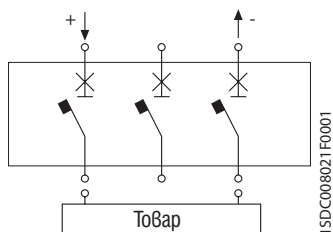
В изолирани мрежи е необходимо да се постави устройство, способно да сигнализира наличието на първото земно съединение, за да бъде отстранено. В най-лошия случай, когато е установено второ земно съединение, прекъсвачът трябва да може да изключи тока на късо съединение при пълното напрежение, приложено към едната полярност.

В мрежи с двете полярности, изолирани от земята, е подходящо да се раздели броя на полюсите на прекъсвача необходими за прекъсване на всяка полярност (положителна и отрицателна) по такъв начин, че да се получи отделяне на веригата.

Схемите, които трябва да се използват са следните:

Схема А

Триполюсен прекъсвач с един полюс на полярност



4 Специални приложения

Схема В

Триполюсен прекъсвач с два полюса свързани последователно и един полюс за другата полярност ⁽¹⁾

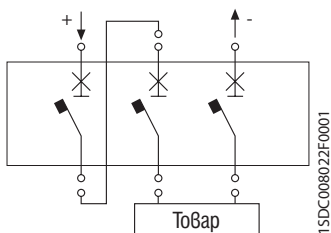


Схема G

Четириполюсен прекъсвач с два полюса, свързани паралелно за всяка полярност

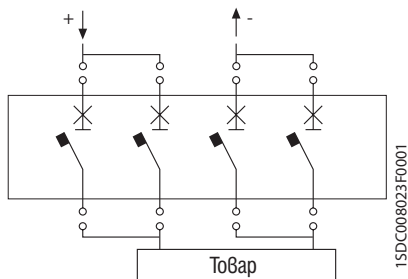
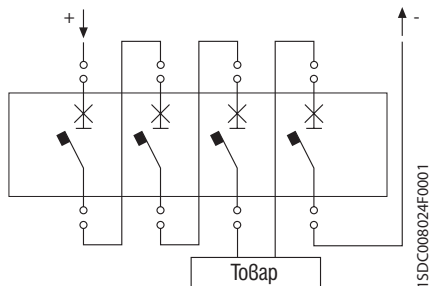


Схема Е

Четириполюсен прекъсвач с три полюса, свързани последователно за едната полярност и един полюс за другата полярност ⁽¹⁾

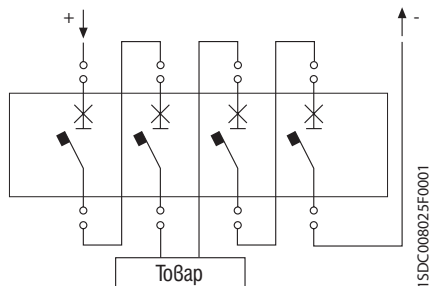


(1) Не е препоръчително да се разделят неравномерно полюсите на прекъсвача, тъй като в този тип мрежи едно второ земно съединение може да доведе до работа на полюса в условия на повреда при пълно напрежение. При тези обстоятелства е от съществено значение да се инсталира устройство с възможност за сигнализация на земно съединение или нарушаване на изолацията на една от полярностите.

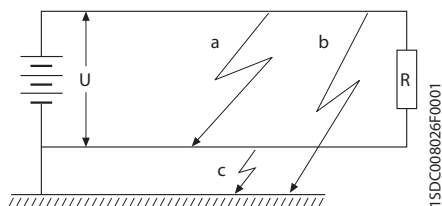
4 Специални приложения

Схема F

Четириполюсен прекъсвач с два полюса, свързани последователно за всяка полярност



Мрежа с една полярност, свързана със земята



- Повреда **a**: при повреда между двете полярности се създава ток на късо съединение посредством цялото напрежение U , според което трябва да се избере изключвателната способност на прекъсвача;
- Повреда **b**: повреда от полярността, която не е свързана със земята, създава ток, който задейства защитата за надноминален ток в зависимост от съпротивлението на земята;
- Повреда **c**: повреда между полярността свързана със земята и земята няма последствия от гледна точка на функционирането на инсталацията.

В мрежа с една полярност свързана към земята, всички полюси на прекъсвача необходими за защита трябва да бъдат свързани последователно към незаземената полярност. Ако се изисква изолация, необходимо е да се осигури друг полюс на прекъсвач до заземената полярност.

4 Специални приложения

Схемите с изолация на веригата са следните:

Схема А

Триполюсен прекъсвач с един полюс за всяка полярност

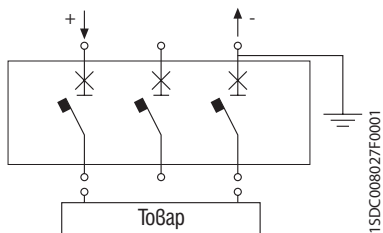


Схема В

Триполюсен прекъсвач с два полюса свързани последователно за полярността, която не е свързана към земята, и един полюс за другата полярност

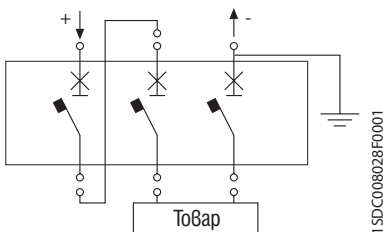
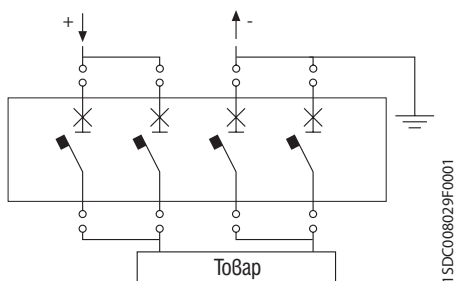


Схема Г

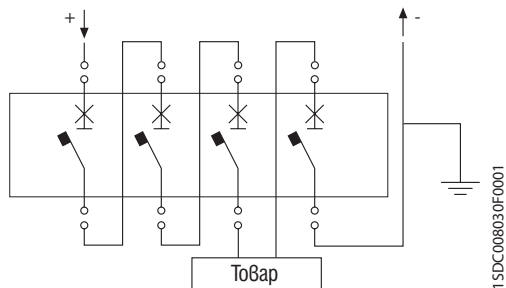
Четириполюсен прекъсвач с два полюса свързани последователно за всяка полярност



4 Специални приложения

Схема Е

Четириполусен прекъсвач с три полюса свързани последователно за полярността, която не е свързана към земята, и един полюс за другата полярност



Схемите за използване с изолация на веригата са следните:

Схема С

Триполусен прекъсвач с три полюса свързани последователно

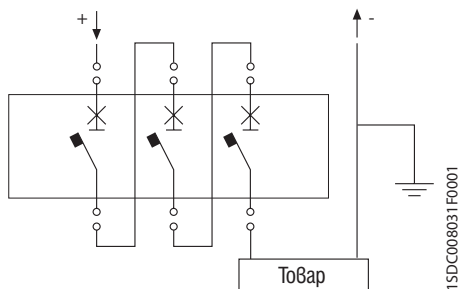
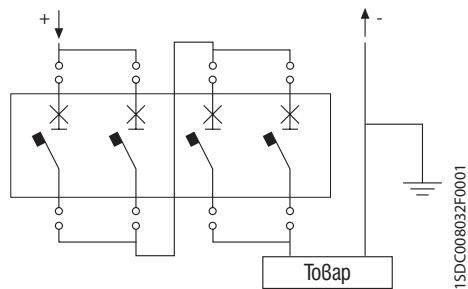


Схема Н

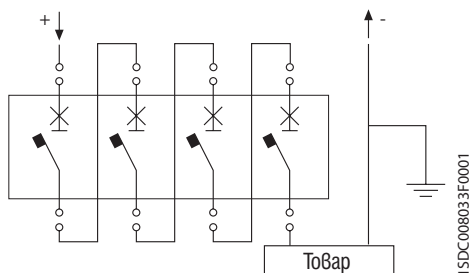
Четириполусен прекъсвач в серия от паралелно свързани по два полюса



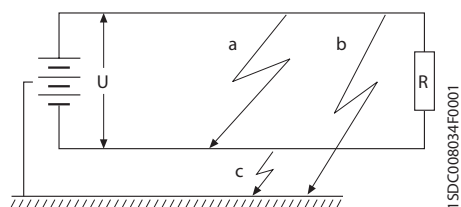
4 Специални приложения

Схема D

Четириполусен прекъсвач със свързани последователно в серия и четирите полюса и незаземен



Мрежа със средна точка свързана със земята



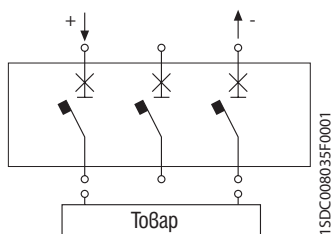
- Повреда **a**: при повреда между двете полярности се създава ток на късо съединение посредством цялото напрежение U , според което трябва да се избере изключвателната способност на прекъсвача;
- Повреда **b**: повреда между полярността и земята създава ток на късо съединение по-малък от този на повреда между двете полярности, тъй като се запазва от напрежение равно на $0,5 U$;
- Повреда **c**: повреда в този случай е подобна на предния случай, но засяга отрицателната полярност.

При мрежи със средна точка свързана към земята, прекъсвачът трябва да бъде включен на двете полярности.

Схемите за използване са следните:

Схема A

Триполусен прекъсвач с един полюс за полярност



4 Специални приложения

Схема G

Четириполусен прекъсвач с два паралелно свързани полюса, свързани последователно за всяка полярност

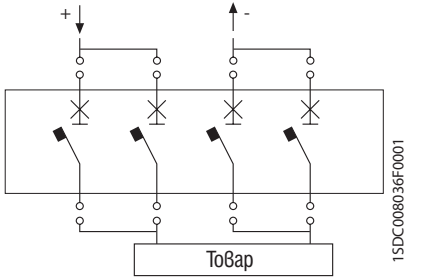
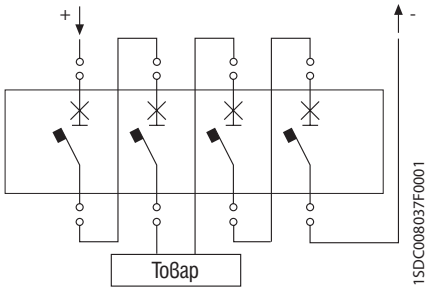


Схема F

Четириполусен прекъсвач с два полюса свързани последователно за всяка полярност



Използване на комутационни устройства в постояннотокови схеми

Успоредно свързване на полюси на прекъсвачи

Според броя на полюсите свързани успоредно трябва да се прилагат коефициентите описани в следващата таблица:

Таблица 1: Корекционен коефициент за успоредно свързани полюси

Брой успоредно свързани полюси	2	3	4(неутр. 100%)
Коефициент на редукция на способността за провеждане на DC	0,9	0,8	0,7
Способност за провеждане на ток на прекъсвача	$1,8 \times I_n$	$2,4 \times I_n$	$2,8 \times I_n$

Връзките, които са външни за клемите на прекъсвача трябва да се извършват от потребителя по такъв начин, че да се осигури перфектната балансираност на връзката.

4 Специални приложения

4.4 Превключватели за автоматичен пренос

В електрическите вериги, за които се изисква висока степен на надежност относно захранващия източник и невъзможност от отпадането му или каквото и да е риск за загубата му е задължително да има още една допълнителна захранваща линия. По този начин се избягва загубата на данни, повреди при внезапни спирания на работния процес, спирането на цели предприятия или части от него, прекъсване на захранването във важни обществени сгради и др.

По тази причина превключвателите за автоматичен пренос се използват основно за:

- при захранване на хотели и летища
- операционни зали в болници и самите болници
- захранване на UPS групи
- банки, телекомуникационни системи, компютърни зали
- захранване на непрекъснати производствени процеси

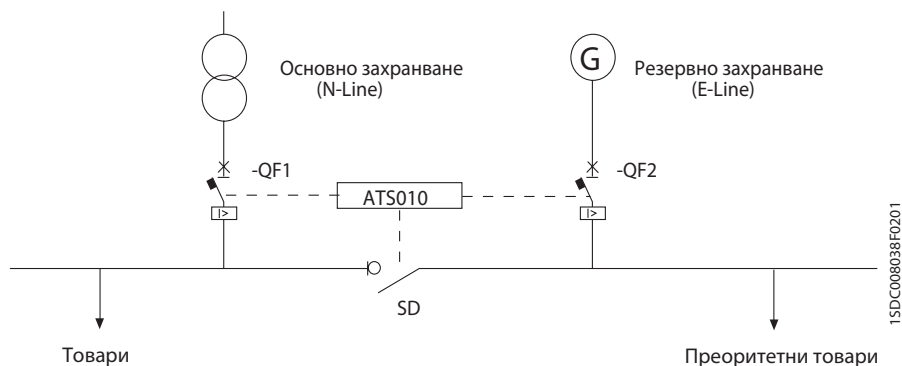
ATS010 е решението, което предлага ABB: това е автоматичена, трансферно-превключваща система базирана на микропроцесорна технология, която осъществява превключване от главната захранваща верига (N – line) към резервната захранваща верига (E – line), в случай на някоя от следните аномалии получили се в главната захранваща линия:

- над номинално напрежение или пад на напрежението
- загуба на една от фазите
- асиметрия между фазите
- промяна в честотата

В момента, в който параметрите на главната захранваща верига се възстановят, трансферната системата автоматично превключва отново към нея (N – line)

ATS010 се използва в системи с две различни захранващи линии свързани към една и съща шинна магистрала и работещи независимо една от друга (така нареченото „островно решение“). Първата линия се използва като главна захранваща верига, а втората като резервна захранваща линия от генератор. Тази система може да бъде снабдена с устройства, които да изключат по-маловажните товари, когато се премине към резервното захранване (E – line).

Схемата по-долу показва верига с резервно захранване управлявана от ATS010:



4 Специални приложения

ATS010 се свързва посредством клеми със следните устройства от инсталацията:

- защитните прекъсвачи от главната(N –line) и резервната(E – line) линии, моторната и механичната блокировки, за да определи статусите им и при нужда да отправя команда за отваряне и затваряне на съответните прекъсвачи съгласно установеното време на закъснение
- съответното контролно устройство на генератора (G), за да определи статуса му и да отправя команда за стартиране или спиране
- приема други сигнали от веригата, за да управлява логиката на превключване
- главната захранваща линия, за да следи за аномалии и с резервната, за да провери наличието на напрежение
- други устройства от веригата, за да изключи неприоритетните товари
- допълнително захранване 24V DC / 48V DC. Това захранване е нужно в случай, че и двете линии отпадат едновременно.

5 Разпределителни уредби

5.1 Електрически разпределителни уредби

Разпределителните уредби са комбинация от едно или повече комутационни, защитни или други устройства за ниско напрежение монтирани в едно или повече табла, така че да се изпълняват изискванията по отношение на безопасността и да се осигурява възможност за реализиране на функциите, за които те са проектирани и изградени.

Разпределителните уредби се състоят от контейнер, наричан най-често табло в съответните стандарти (който има функцията да фиксира и предпазва механически компонентите, инсталирани в него), и електрическо оборудване, което се състои от устройства, вътрешни връзки и входни и изходни клеми за свързване към системата.

Основният стандарт е IEC 60439-1, издаден през 2004 г., озаглавен „Комплектни разпределителни уредби за ниско напрежение – Част 1: Типово изпитани и частично типово изпитани уредби“, одобрен от CENELEC кодов номер EN 60439-1.

Допълнителни изчислителни ръководства са следните:

IEC 60890 „Метод за оценка на температурното повишение чрез екстраполация на частично типово изпитани уредби (РТТА) на комплектни разпределителни уредби за ниско напрежение“.

IEC 61117 „Метод за оценка на устойчивостта на късо съединение на частично типово изпитани уредби (РТТА)“.

IEC 60865-1 „Токове на късо съединение – Изчисляване на въздействията – Част 1: Термини, определения и методи за изчисляване“.

В стандарта IEC 60439-1 се определят изискванията по отношение на конструкцията, безопасността и пригодеността за поддръжка на електрическите разпределителни уредби и се съдържат номиналните характеристики, условията на работната среда, механичните и електрическите изисквания и нормите за работните характеристики.

Типовите и индивидуалните изпитания са дефинирани, както и методът на тяхното изпълнение и критериите за оценяване на резултатите.

В стандарта IEC 60439-1 се разграничават два вида разпределителни уредби: ТТА (типово изпитани уредби) и РТТА (частично типово изпитани уредби). Под „типово изпитани уредби“ (ТТА) се има предвид разпределителни и контролни уредби ниско напрежение, които отговарят на установен тип или система без отклонения, тествани съгласно предписанията на стандарта.

Типово изпитани уредби (ТТА) - това са уредби, изградени директно на базата на прототип, проектиран детайлно и подложен на типови изпитания; тъй като типовите изпитания са комплексни, разпределителните уредби проектирани от производител със солидна техническа и финансова база се използват като еталон. Типово изпитаните уредби могат да бъдат монтирани от специалист, обучен за работа с такова оборудване или от монтьор, който следва инструкциите на производителя; отклонения от прототипа са разрешени само ако те не променят съществено работните характеристики в сравнение с типово тестваното оборудване.

5 Разпределителни уредби

Под „частично типово изпитани уредби“ (РТТА) се има предвид разпределителни и контролни уредби ниско напрежение, изпитани само за част от типовите изпитания; някои изпитания могат да бъдат заменени чрез екстраполация, която представлява изчисления на базата на експериментални резултати, получени от уредби, които са преминали през типови изпитания. Проверки чрез опростени измервания или изчисления, допустими като алтернатива на типовите изпитания, се извършват за нагряване, устойчивост и изолация.

В стандарта IEC 60439-1 се казва, че някои монтажни етапи могат да се проведат извън завода на производителя, при условие, че монтажът се извършва в съответствие с инструкциите на производителя.

Монтьорът може да използва монтажни набори от търговската мрежа за да реализира подходящата конфигурация.

В същия стандарт е определено разделението на отговорностите между производителя и екипът монтиращ уредбата. В Таблицата „Списък на проверки и изпитания, които трябва да се извършат с типово изпитаните уредби (ТТА) и частично типово изпитаните уредби (РТТА)” са подробно описани тестовете, които трябва да се извършат с уредбите.

Чрез типовите изпитания се проверява съответствието на прототипа спрямо изискванията на стандарта, това е отговорност на производителя, който трябва също така да осигури инструкциите за монтажа и окомплектоването на разпределителната уредба. Монтажникът носи отговорността за подбора и монтажа на компонентите в съответствие с инструкциите, които са дадени от производителя и трябва да потвърди съответствието спрямо стандартите чрез споменатите по-горе проверки в случаите, когато в разпределителната уредба има отклонения спрямо изпитания прототип. На всеки произведен продукт трябва да се извършат също така контролни изпитания.

Разграничаването на ТТА и РТТА комплектни разпределителни уредби няма отношение към декларацията за съответствие със стандарта IEC 60439-1, разпределителните уредби трябва да отговарят на този стандарт.

5 Разпределителни уредби

Списък на проверки и изпитания, които трябва да се извършат с типово изпитаните уредби (ТТА) и частично типово изпитаните уредби (РТТА), съгласно стандарта IEC 60439-1.

№	Характеристики, които трябва да бъдат проверени	Точка	ТТА	РТТА
1	Граници на температурно повишение	8.2.1	Проверяване на границите на температурно повишение чрез изпитание (типово изпитание)	Проверяване на границите на температурно повишение чрез изпитание или екстраполация
2	Диелектрични свойства	8.2.2	Проверяване на диелектричните свойства чрез изпитание (типово изпитание)	Проверяване на диелектричните свойства чрез изпитание съгласно т. 8.2.2 или 8.3.2, или проверяване на изолационното съпротивление съгласно 8.3.4 (виж № 9 и 11)
3	Устойчивост на късо съединение	8.2.3	Проверяване на устойчивостта на късо съединение чрез изпитание (типово изпитание)	Проверяване на устойчивостта на късо съединение чрез изпитание или чрез екстраполация от подробни типово изпитани инсталации
4	Ефективност на защитната схема	8.2.4	Проверяване на ефективна връзка между достъпните проводящи части на УРЕДБАТА и защитната схема чрез инспектиране или измерване на съпротивлението (типово изпитание)	Проверяване на ефективна връзка между достъпните проводящи части на УРЕДБАТА и защитната схема чрез инспектиране или измерване на съпротивлението
	Ефективна връзка между достъпните проводящи части на УРЕДБАТА и защитната схема	8.2.4.1		
	Устойчивост на късо съединение на защитната схема	8.2.4.2	Проверяване на устойчивостта на късо съединение на защитната схема чрез изпитание (типово изпитание)	Проверяване на устойчивостта на късо съединение на защитната схема чрез изпитание, подходящо проектиране или разполагане на защитния проводник (виж 7.4.3.1.1, последния параграф)
5	Изоляционни разстояния и път на утечка	8.2.5	Проверяване на изоляционни разстояния и път на утечка (типово изпитание)	Проверяване на изоляционни разстояния и път на утечка
6	Механично действие	8.2.6	Проверяване на механичното действие (типово изпитание)	Проверяване на механичното действие
7	Степен на защита	8.2.7	Проверяване на степенята на защита (типово изпитание)	Проверяване на степенята на защита
8	Опrowодяване, електрическо действие	8.3.1	Инспектиране на УРЕДБАТА, включващо инспекция на опrowодяването и, ако е необходимо, изпитания на електрическото оборудване (контролно изпитание)	Инспектиране на УРЕДБАТА, включващо инспекция на опrowодяването и, ако е необходимо, изпитания на електрическото оборудване
9	Изоляция	8.3.2	Диелектрично изпитание (контролно изпитание)	Диелектрични изпитание или проверяване на изолационното съпротивление съгласно 8.3.4 (виж № 2 и 11)
10	Защитни мерки	8.3.3	Проверяване на защитните мерки и на електрическата непрекъснатост на защитните схеми (контролно изпитване)	Проверяване на защитните мерки
11	Изоляционно съпротивление	8.3.4		Проверяване на изолационното съпротивление, освен ако не са били извършени изпитания съгласно 8.2.2 или 8.3.2 (виж № 2 и 9)

5 Разпределителни уредби

Степени на защита

Степената на защита IP показва нивото на защита, осигурявано от уредбата срещу достъп или контакт с части под напрежение, срещу проникване на твърди чужди тела и срещу проникване на течности. Кодът IP е системата, използвана за идентификация на степенята на защита, в съответствие с изискванията на стандарта IEC 60529. Освен, ако не е определено по друг начин от производителя, степените на защита се отнасят за цялата разпределителна уредба, монтирана и инсталирана за нормална употреба (при затворена врата).

Производителят трябва също така да укаже степенята на защита, приложима за конкретните конфигурации, които могат да възникнат в процеса на работа, както и степенята на защита при отворена врата или при отстранени или изтеглени устройства.

Елементи на IP кода и техните значения

Елемент	Цифри или букви	Значение за защитата на оборудването	Значение за защитата на персонала	Реф.
Букви на кода	IP			
Първа цифрова характеристика		Срещу проникване на твърди чужди обекти	Срещу достъп до опасни части с	Чл. 5
	0	(незащитен)	(незащитен)	
	1	> 50 mm диаметър	задната част на ръката	
	2	> 12,5 mm диаметър	пръст	
	3	> 2,5 mm диаметър	инструмент	
	4	> 1,0 mm диаметър	проводник	
	5	защитен от прах	проводник	
Втора цифрова характеристика	6	уплътнен за прах	проводник	Чл. 6
		Срещу проникване на вода с вредно въздействие		
	0	(незащитен)		
	1	капеща вертикално		
	2	капеща (наклон 15°)		
	3	пръскаща		
	4	плискаща		
	5	струяща		
	6	силно струяща		
Допълнителна буква (опция)	7	временно потапяне		Чл. 7
	8	непрекъснато потапяне		
			Срещу достъп до опасни части с	
	A		задната част на ръката	
	B		пръст	
Спомагателна буква (опция)	C		инструмент	Чл. 8
	D		проводник	
		Спомагателна информация, специфична за:		
	H	Апарати високо напрежение		
	M	Движение по време на воден тест		
	S	Стационарност по време на воден тест		
	W	Метеорологични условия		

5 Разпределителни уредби

5.2 Форми на вътрешно разделение

Под форма на разделение се има предвид типа на разделяне в разпределителната уредба. Разделението посредством бариери или прегради (метални или изолиращи) може да има следните функции:

- осигуряване на защита срещу директен контакт (най-малко IPXXB) в случай на достъп до част от разпределителната уредба, която не е под напрежение, по отношение на останалата част на разпределителната уредба, която остава под напрежение;

- намаляване на риска от разпространяване на вътрешна дъга;

- възпрепятстване на преминаването на твърди тела между различни части на разпределителната уредба (степен на защита най-малко IP2X).

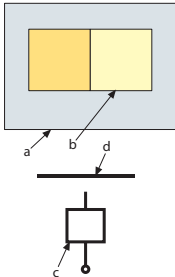
Преградите служат за разделител между две части, докато бариерата предпазва оператора от директен контакт и от дъгообразуването от прекъсващи устройство в нормалната посока на достъп.

В следващата таблица от стандарта IEC 60439-1 са описани типичните форми на разделяне, които могат да се постигнат чрез бариери или прегради:

Основни критерии	Подкритерии	Форма
Без разделяне		Форма 1
Разделяне на събирателните шини от функционалните блокове	Клемите за външни проводници не са разделени от събирателните шини	Форма 2a
	Клемите за външни проводници са разделени от събирателните шини	Форма 2b
Разделяне на събирателните шини от функционалните блокове и разделяне на всички функционални блокове един от друг. Разделяне на клемите за външни проводници от функционалните блокове, но не една от друга	Клемите за външни проводници не са разделени от събирателните шини	Форма 3a
	Клемите за външни проводници са разделени от събирателните шини	Форма 3b
Разделяне на събирателните шини от функционалните блокове и отделяне на всички функционални блокове един от друг, включително клемите за външни проводници, които са неразделна част от функционалния блок	Клемите за външни проводници са в същото отделение като съответния функционален блок	Форма 4a
	Клемите за външни проводници не са в същото отделение като съответния функционален блок, а в отделни, разделени, затворени защитени места или отделения	Форма 4b

5 Разпределителни уредби

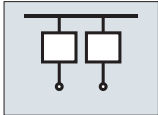
Символи



Легенда

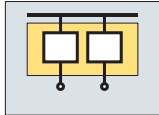
- a** Корпус
- b** Вътрешно разделение
- c** Функционални блокове, включително и клемите за свързаните външни проводници
- d** Събирателни шини, включително и разпределителните събирателни шини

Форма 1
(без вътрешни разделения)

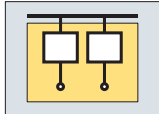


Форма 2
(отделяне на събирателните шини от функционалните блокове)

Форма 2a
Клемите не са отделени от събирателните шини

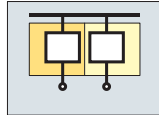


Форма 2b
Клемите са отделени от събирателните шини

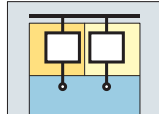


Форма 3
(разделяне на събирателните шини от функционалните блокове + разделяне на функционалните блокове един от друг)

Форма 3a
Клемите не са отделени от събирателните шини

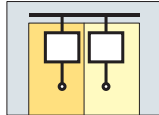


Форма 3b
Клемите са отделени от събирателните шини

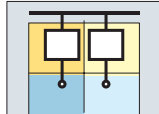


Форма 4
(разделяне на събирателните шини от функционалните блокове + разделяне на функционалните блокове един от друг + отделяне на клемите една от друга)

Форма 4a
Клемите са в същото отделение като съответния функционален блок



Форма 4b
Клемите са в същото отделение като съответния функционален блок



Класификация

Съществуват различни класификации на електрически разпределителни уредби в зависимост от обхвата на факторите.

На базата на типа на конструкцията в стандарта IEC 60439-1 се разграничават отворени и затворени уредби.

Една разпределителна уредба е затворена, ако има защитни панели от всички страни, осигуряващи степен на защита срещу директен контакт най-малко IPXXB. Разпределителните уредби, използвани в нормална работна среда, трябва да бъдат затворени.

Отворени разпределителни уредби, със или без преден капак, са тези, които имат достъпни части под напрежение. Тези разпределителни уредби могат да се използват само в електрически инсталации.

Приложение: Основни физически величини и електротехнически формули
Международна система на единиците (SI)

Основни единици на SI

Величина	Символ	Име на единицата
Дължина	m	метър
Маса	kg	килограм
Време	s	секунда
Електрически ток	A	ампер
Термодинамична температура	K	келвин
Количество вещество	mol	мол
Интензивност на светлината	cd	кандела

Наименование на Метричните единиците и техните множители

Десетична			Десетична		
степен	Представка	Символ	степен	Представка	Символ
10^{24}	йота	Y	10^{-1}	деци	d
10^{21}	зета	Z	10^{-2}	сенти	c
10^{18}	екса	E	10^{-3}	мили	m
10^{15}	пета	P	10^{-6}	микро	μ
10^{12}	тера	T	10^{-9}	нано	n
10^9	гига	G	10^{-12}	пико	p
10^6	мега	M	10^{-15}	фемто	f
10^3	кило	k	10^{-18}	ато	a
10^2	хекто	h	10^{-21}	цепто	z
10	гека	da	10^{-24}	йокто	y

Приложение: Основни физически величини и електротехнически формули

Основни величини и единиците на SI

Величина		Единица на SI		Други единици		Преобразуване
Символ	Име	Символ	Име	Символ	Име	
Дължина, площ, обем						
l	дължина	m	метър	in	инч	1 in = 25.4 mm
				ft	фут	1 ft = 30.48 cm
				fathom	фатом	1 fathom = 6 ft = 1.8288 m
				mile	миля	1 mile = 1609.344 m
				sm	морска миля	1 sm = 1852 m
A	площ	m ²	квдратен метър	yd	ярд	1 yd = 91.44 cm
				a	ар	1 a = 10 ² m ²
				ha	хектар	1 ha = 10 ⁴ m ²
V	обем	m ³	кубичен метър	l	литър	1 l = 1 dm ³ = 10 ⁻³ m ³
				UK pt	пинта	1 UK pt = 0.5683 dm ³
				UK gal	UK галон	1 UK gal = 4.5461 dm ³
				US gal	US галон	1 US gal = 3.7855 dm ³
Ъгли						
α, β, γ	равнинен ъгъл	rad	радиан	°	градус	1° = $\frac{\pi}{180}$ · rad
Ω	пространствен ъгъл	sr	стерадиан			
Маса						
m	маса, тегло	kg	килограм	lb	фунт	1 lb = 0.45359 kg
ρ	плътност	kg/m ³	килограм за кубичен метър			
υ	специфичен обем	m ³ /kg	кубичен метър за килограм			
M	инерционен момент	kg·m ²	килограм по квдратен метър			
Време						
t	продължителност	s	секунда			
f	честота		херц			1 Hz = 1/s
ω	ъглова скорост	1/s	секунда на минус първа			ω = 2πf
v	скорост	m/s	метър за секунда	километър в час		1 km/h = 0.2777 m/s
				mile/h	миля в час	1 mile/h = 0.4470 m/s
				knot	възел	1 kn = 0.5144 m/s
g	ускорение	m/s ²	метър за секунда на квдрат			
Сила, енергия, мощност						
F	сила	N	нютон	kgf		1 N = 1 kg·m/s ² 1 kgf = 9.80665 N
P	налягане	Pa	паскал	bar	бар	1 Pa = 1 N/m ² 1 bar = 10 ⁵ Pa
W	енергия, работа	J	джаул			1 J = 1 W·s = 1 N·m
P	мощност	W	ват	Hp	конска сила	1 Hp = 745.7 W
Температура и топлина						
T	температура	K		°C	целзий	T[K] = 273.15 + T [°C]
				°F	фаренхайт	T[K] = 273.15 + (5/9)·(T [°F] - 32)
Q	количество топлина	J	джаул			
S	ентропия	J/K	джаула за келвин			
Фотометрични величини						
I	интенз. на светлината	cd	канела			
L	яркост	cd/m ²	кандела на квадратен метър			
Φ	светлинен поток	lm				1 lm = 1 cd · sr
E	осветеност	lux				1 lux = 1 lm/m ²

Приложение: Основни физически величини и електротехнически формули

Основни електрически и магнитни величини и единиците на SI

Величина		Единица на SI		Други единици		Преобразуване
Символ	Име	Символ	Име	Символ	Име	
I	ток	A	ампер			
V	напрежение	V	волт			
R	съпротивление	Ω	ом			
G	проводимост	S	сименс			$G = 1/R$
X	реактивно съпротивление	Ω	ом			$X_L = \omega L$ $X_C = -1/\omega C$
B	реактивна проводимост	S	сименс			$B_L = -1/\omega L$ $B_C = \omega C$
Z	импеданс	Ω	ом			
Y	пълна проводимост	S	сименс			
P	активна мощност	W	ват			
Q	реактивна мощност	var	реактивен волт ампер			
S		VA	волт ампер			
Q	привидна мощност електрически заряд	C	кулон	Ah	ампер/час	$1\text{ C} = 1\text{ A}\cdot\text{s}$ $1\text{ Ah} = 3600\text{ A}\cdot\text{s}$
E	сила на електрическо поле	V/m	волт за метър			
C	електрически капацитет	F	фарад			$1\text{ F} = 1\text{ C/V}$
H		A/m	ампер за метър			
B	магнитно поле магнитна индукция	T	тесла	G	гаус	$1\text{ T} = 1\text{ V}\cdot\text{s/m}^2$ $1\text{ G} = 10^{-4}\text{ T}$
L	индуктивност	H	хенри			$1\text{ H} = 1\text{ }\Omega\cdot\text{s}$

Стойности на специфично съпротивление, проводимост и температурен коефициент при 20°C на основните електрически материали

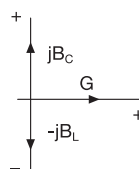
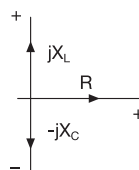
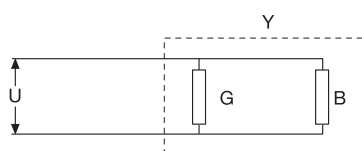
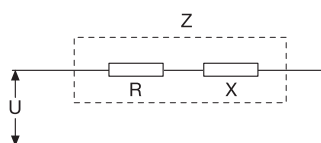
проводник	специфично съпротивление $\Omega_{20} \text{ [mm}^2\text{/ m]}$	проводимост $\chi_{20} = 1/\rho_{20} \text{ [m/mm}^2\Omega\text{]}$	температурен коефициент α_{20} $[\text{K}^{-1}]$
алуминий	0.0287	34.84	$3.8 \cdot 10^{-3}$
месинг, CuZn 40	≤ 0.067	≥ 15	$2 \cdot 10^{-3}$
константан	0.50	2	$-3 \cdot 10^{-4}$
мед	0.0175	57.14	$3.95 \cdot 10^{-3}$
злато	0.023	43.5	$3.8 \cdot 10^{-3}$
железен проводник	0.1 to 0,15	10 to 6.7	$4.5 \cdot 10^{-3}$
олово	0.208	4.81	$3.9 \cdot 10^{-3}$
магнезий	0.043	23.26	$4.1 \cdot 10^{-3}$
манган	0.43	2.33	$4 \cdot 10^{-6}$
живак	0.941	1.06	$9.2 \cdot 10^{-4}$
Ni Cr 8020	1	1	$2.5 \cdot 10^{-4}$
никелин	0.43	2.33	$2.3 \cdot 10^{-4}$
сребро	0.016	62.5	$3.8 \cdot 10^{-3}$
цинк	0.06	16.7	$4.2 \cdot 10^{-3}$

Приложение: Основни физически величини и електротехнически формули

Основни електротехнически формули

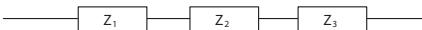
Импеданс

съпротивление на проводник при температура ϑ	$R_{\vartheta} = r_{\vartheta} \cdot \frac{\ell}{S}$
проводимост на проводник при температура ϑ	$G_{\vartheta} = \frac{1}{R_{\vartheta}} = X_{\vartheta} \cdot \frac{S}{\ell}$
специфично съпротивление на проводник при температура ϑ	$\rho_{\vartheta} = \rho_{20} [1 + \alpha_{20} (\vartheta - 20)]$
капацитивно съпротивление	$X_C = \frac{-1}{\omega \cdot C} = -\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$
индуктивно съпротивление	$X_L = \omega \cdot L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$
импеданс	$Z = R + jX$
модул на импеданса	$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$
фазов импеданс	$\varphi = \arctan \frac{R}{X}$
проводимост	$G = \frac{1}{R}$
капацитивна проводимост	$B_C = \frac{-1}{X_C} = \omega \cdot C = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C$
индуктивна проводимост	$B_L = \frac{-1}{X_L} = -\frac{1}{\omega \cdot L} = -\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot L}$
пълна проводимост	$Y = G - jB$
модул на пълната проводимост	$Y = \sqrt{G^2 + B^2}$
фазова пълната проводимост	$\varphi = \arctan \frac{B}{G}$

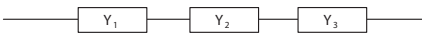


Приложение: Основни физически величини и електротехнически формули

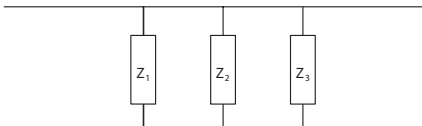
Импеданс при последователно свързване

$$Z = Z_1 + Z_2 + Z_3 + \dots$$


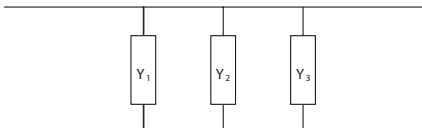
Пълна проводимост при последователно свързване

$$Y = \frac{1}{\frac{1}{Y_1} + \frac{1}{Y_2} + \frac{1}{Y_3} + \dots}$$


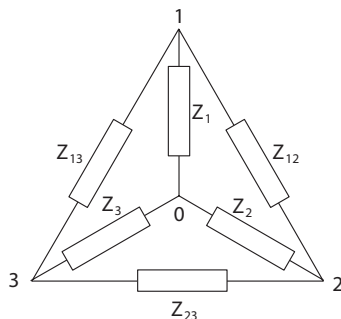
Импеданс при успоредно свързване

$$Z = \frac{1}{\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_3} + \dots}$$


Пълна проводимост при успоредно свързване

$$Y = Y_1 + Y_2 + Y_3 + \dots$$


Трансформации триъгълник-звезда и звезда-триъгълник



Y→D	D→Y
$Z_{12} = Z_1 + Z_2 + \frac{Z_1 \cdot Z_2}{Z_3}$	$Z_1 = \frac{Z_{12} \cdot Z_{13}}{Z_{12} + Z_{13} + Z_{23}}$
$Z_{23} = Z_2 + Z_3 + \frac{Z_2 \cdot Z_3}{Z_1}$	$Z_2 = \frac{Z_{12} \cdot Z_{23}}{Z_{12} + Z_{13} + Z_{23}}$
$Z_{13} = Z_3 + Z_1 + \frac{Z_3 \cdot Z_1}{Z_2}$	$Z_3 = \frac{Z_{23} \cdot Z_{13}}{Z_{12} + Z_{13} + Z_{23}}$

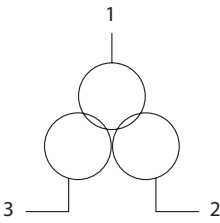
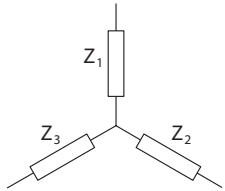
Приложение: Основни физически величини и електротехнически формули

Трансформатори

Трансформатор с две намотки

номинален ток	$I_r = \frac{S_r}{\sqrt{3} \cdot U_r}$
мощност на късо съединение	$S_k = \frac{S_r}{u_k\%} \cdot 100$
ток на късо съединение	$I_k = \frac{S_k}{\sqrt{3} \cdot U_r} = \frac{I_r}{u_k\%} \cdot 100$
надлъжен импеданс (на късо съединение)	$Z_T = \frac{u_k\%}{100} \cdot \frac{U_r^2}{S_r} = \frac{u_k\%}{100} \cdot \frac{S_r}{3 \cdot I_r^2}$
надлъжно съпротивление (на късо съединение)	$R_T = \frac{p_k\%}{100} \cdot \frac{U_r^2}{S_r} = \frac{p_k\%}{100} \cdot \frac{S_r}{3 \cdot I_r^2}$
надлъжно реактивно съпротивление (на късо съединение)	$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2}$

Трасформатор с три намотки

	
$Z_{12} = \frac{u_{12}}{100} \cdot \frac{U_r^2}{S_{r12}}$	$Z_1 = \frac{1}{2} (Z_{12} + Z_{13} - Z_{23})$
$Z_{13} = \frac{u_{13}}{100} \cdot \frac{U_r^2}{S_{r13}}$	$Z_2 = \frac{1}{2} (Z_{12} + Z_{23} - Z_{13})$
$Z_{23} = \frac{u_{23}}{100} \cdot \frac{U_r^2}{S_{r23}}$	$Z_3 = \frac{1}{2} (Z_{13} + Z_{23} - Z_{12})$

Приложение: Основни физически величини и електротехнически формули

Пад на напрежение и мощност

	еднофазен	трифазен	постоянен ток
пад на напрежение	$\Delta U = 2 \cdot I \cdot \ell \cdot (r \cos \varphi + x \sin \varphi)$	$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I \cdot \ell \cdot (r \cos \varphi + x \sin \varphi)$	$\Delta U = 2 \cdot I \cdot \ell \cdot r$
процентен пад на напрежение	$\Delta u = \frac{\Delta U}{U_r} \cdot 100$	$\Delta u = \frac{\Delta U}{U_r} \cdot 100$	$\Delta u = \frac{\Delta U}{U_r} \cdot 100$
активна мощност	$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi$	$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi$	$P = U \cdot I$
реактивна мощност	$Q = U \cdot I \cdot \sin \varphi$	$Q = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \sin \varphi$	–
привидна мощност	$S = U \cdot I = \sqrt{P^2 + Q^2}$	$S = \sqrt{3} \cdot U \cdot I = \sqrt{P^2 + Q^2}$	–
фактор на мощността	$\cos \varphi = \frac{P}{S}$	$\cos \varphi = \frac{P}{S}$	–
загуба на мощност	$\Delta P = 2 \cdot \ell \cdot r \cdot I^2$	$\Delta P = 3 \cdot \ell \cdot r \cdot I^2$	$\Delta P = 2 \cdot \ell \cdot r \cdot I^2$

Легенда

ρ_{20}	специфично съпротивление при 20°C
ℓ	дължина на проводник
S	сечение на проводник
α_{20}	температурен коефициент на проводник при 20°C
ϑ	температура на проводник
ρ_{ϑ}	специфично съпротивление в зависимост от температурата на проводника
ω	ъглова честота
f	честота
r	съпротивление на проводник за единица дължина
x	реактивно съпротивление на проводник за единица дължина
$u_k\%$	процентно напрежение на късо съединение на трансформатора
S_r	номинална привидна мощност на трансформатора
U_r	номинално напрежение на трансформатора
$p_k\%$	процентни загуби в импеданса на трансформатора при условия на късо съединение



АББ България ЕООД
1592 гр. София
бул. "Христофор Колумб" 9
тел.: 02/ 807 55 00
02/ 807 56 00
факс: 02/ 807 55 99

<http://www.abb.bg>

Поради непрекъснат процес на подобряване на продуктите,
в АБВ си запазва правото да променя характеристиките
или самите продукти описани в това ръководство.
За повече информация се обърнете към АББ България ЕООД

№ BGABV011108BG- 10/2008
Печат Република България