

Глава G

Оразмеряване и защита на проводници

Съдържание

1	Общи положения	G2
	1.1 Методология и определения	G2
	1.2 Принципи на защита срещу токови претоварвания	G4
	1.3 Практически стойности на схемите за защита	G4
	1.4 Разположение на защитни устройства	G6
	1.5 Паралелно свързване на проводници	G6
2	Практически метод за определяне на най-малкото допустимо сечение на проводници, кабели и шини	G7
	2.1 Общи положения	G7
	2.2 Общ метод за полагане на кабели	G7
	2.3 Препоръчван опростен метод за определяне сечението на кабели	G16
	2.4 Изолирани шинопроводи	G18
3	Определяне пада на напрежение	G20
	3.1 Максимално допустим пад на напрежение	G20
	3.2 Изчисляване пада на напрежение в режими на постоянен товар	G21
4	Ток на късо съединение	G24
	4.1 Ток на късо съединение на клемите на вторична намотка на разпределителен трансформатор СрН/НН	G24
	4.2 Ток на трифазно късо съединение (I_{sc}) в произволна точка на електрическа уредба ниско напрежение	G25
	4.3 Ток на трифазно късо съединение (I_k) в края на захранващата линия в зависимост от тока на трифазно късо съединение в нейното начало	G28
	4.4 Ток на късо съединение при захранване от генератор за променлив ток или инвертор (честотен преобразувател)	G29
5	Частни случаи на къси съединения	G30
	5.1 Изчисляване минималните стойности на тока на късо съединение	G30
	5.2 Проверка на кабели по ток на късо съединение (на термична устойчивост при къси съединения)	G35
6	Защитен заземяващ проводник	G37
	6.1 Схема на свързване и избор на проводника	G37
	6.2 Оразмеряване на проводника	G38
	6.3 Защитен проводник между понижаваш трансформатор СрН/НН и главно разпределително табло	G40
	6.4 Проводник за изравняване на потенциалите	G41
7	Неутрален проводник	G42
	7.1 Оразмеряване на неутрален проводник	G42
	7.2 Защита на неутралния проводник	G44
	7.3 Изключване на неутралния проводник	G44
	7.4 Изолация (разединяване) на неутралния проводник	G44
8	Работен пример за изчисляване на кабели	G46

G1

Елементите на електрическата мрежа и тяхната защита се определят с отичане изпълнението на всички нормални и аварийни експлоатационни условия

1.1 Методология и определения (виж Фиг. G1)

След предварителен анализ на потребяваната мощност от уредбата, който е описан в т.4 на Глава В, се извършва изучаване на кабелната мрежа⁽¹⁾ и нейната електрическа защита като се започва от източника, през междинните степени към крайните вериги.

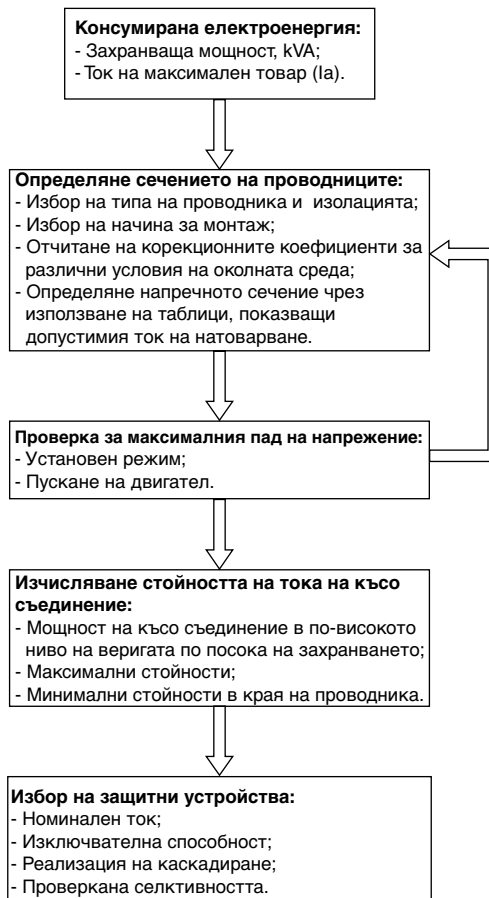
Кабелната мрежа и нейната защита на всяко ниво трябва да удовлетворяват едно временно няколко условия за да се осигури безопасност и надеждност на уредбата. Например, тя:

- Трябва да издържа ток на пълно натоварване и нормални кратковременни токове на претоварвания
- Не трябва да предизвиква падове на напрежение, което да предизвика ниска производителност при определени товари. Например: прекалено дълъг пусков процес на двигател и т.н.

Освен това защитните устройства (автоматични прекъсвачи или предпазители) трябва:

- Да защитават кабелните мрежи и шини от токови претоварвания и токове на къси съединения
- Да осигуряват защита на персонала при индиректен допир особено в схемите TN и IT, където дължината на веригата може да ограничи тока на късо съединение по такъв начин, че да забави автоматичното изключване. Трябва да се запомни, че уредби със схема TT са защитени задължително на входа чрез дефектнотокова защита (RCD), обикновено с настройка 300 mA.

Напречните сечения на проводниците се определят по общ метод, описан в т.1.2 на тази Глава. Освен този метод, някои национални стандарти могат да препоръчват минимална стойност на сечението, което трябва да се спазва, за да се осигури необходимата механическа якост. Определени товари (както се посочва в Глава М) изискват захранващия кабел да има увеличено сечение, а защитата на веригата да бъде модифицирана по определен начин.



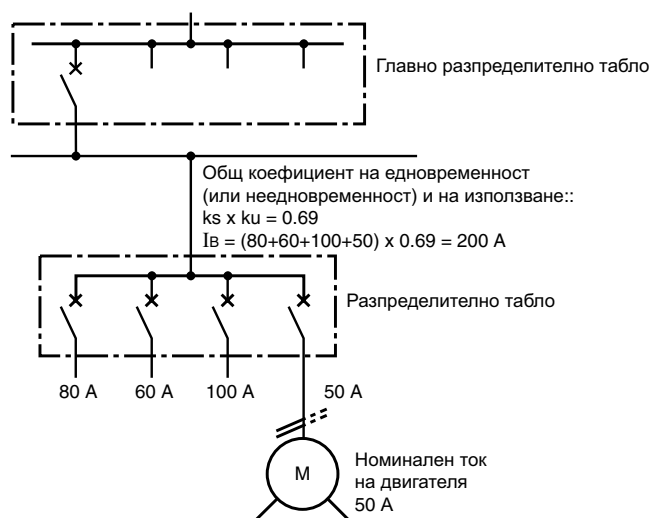
Фиг. G1: Блокова схема за избор на сечение на кабел и на защитно устройство за дадена верига

(1) Терминът „кабелна мрежа“ в тази Глава се използва за всички изолирани проводници, включително многожилни и едножилни кабели и изолирани проводници, положени в тръби и др.

Определения

Максимален ток на натоварване: I_b

- На последното ниво на веригата, този ток съответства на номиналната мощност на товара. В случай на пускане на двигател или други товари, при които възниква голям начален пусков ток, и особено там, където става често пускане (например, двигатели на асансьори, точкова заварка и др.), трябва да бъде отчетено сумарното топлинно действие на токовете претоварвания. На това въздействие се подлагат както кабелите, така и термичните релета.
- На всички горни нива на веригата този ток съответства на пълната потребявана мощност, с отчитане коефициентите на едновременност (неедновременност) и използване, съответно k_s и k_u , както е показано на **Фиг. G2**.



Фигура G2: Изчисляване максималния ток на двигателя I_b

Максимално допустим ток: I_z

Това е максималният ток, който кабела може да провежда неограничено дълго време, без да се намали номиналният му срок на служба.

Токът, за дадено сечение на проводниците, зависи от няколко параметъра:

- Тип на кабела и на кабелната линия (медни или алуминиеви проводници; изолация от PVC или пропилен и др.; брой на жилата);
- Температура на околната среда;
- Начин на монтаж;
- Влияние на съседни вериги.

Токови претоварвания

Токово претоварване възниква всеки път, когато стойността на тока превиши максималната стойност на тока на натоварване I_b .

Този ток трябва да се изключи бързо в зависимост от неговата амплитуда, за да не се получи постоянна повреда в кабелната линия (и обзавеждането, ако токовото претоварване е предизвикано от неизправен елемент на товара).

Токови претоварвания с относително малка продължителност могат да възникнат и по време на нормална работа; различават се два типа токови претоварвания:

■ Претоварвания

Тези токови претоварвания могат да възникнат в изправни електрически вериги, например поради малки кратковременни претоварвания, случайно възникващи от време на време; натоварвания при пускане на двигател и др. Ако всяко от тези условия продължи повече от зададеното време (в зависимост от настройката на защитните релета и параметрите на предпазителите) веригата ще бъде автоматично изключена.

■ Токове на късо съединение

Тези токове са резултат от пробив в изолацията между проводници под напрежение или/и между проводници под напрежение и земя (в системи с неутрален проводник, заземен през ниско съпротивление) при всяка комбинация, а именно:

- Трифазно късо съединение (и с неутралата и/или земята, или не);
- Двухазно късо съединение (и с неутралата и/или земята, или не);
- Еднофазно късо съединение с неутралата (и/или с земята).

1.2 Принципи на защита срещу токови претоварвания

Защитно устройство е поставено на входа на разглежданата верига (виж **Фиг. G3** и **Фиг. G4**). То:

- изключва за време по-малко от определеното с характеристиката I^2t на кабела, но
- допуска протичане на максимален ток на натоварване I_b неограничено дълго време.

Характеристиките на изолираните проводници, когато по тях протичат токове на късо съединение, за интервал от време до 5 s след възникване на късо съединение, могат да бъдат приблизително определени по формулата:

$$I^2t = k^2 S^2.$$

Формулата показва, че допустимото количество отделена топлина е пропорционално на квадрата на напречното сечение на проводника.

където t е продължителността на тока на късо съединение, s;

S – сечението на изолирания проводник, mm^2 ;

I – ефективната стойност на тока на късо съединение, A;

k – константата на изолирания проводник (стойностите на k^2 са показани на **Фиг. G54**).

За даден изолиран проводник максимално допустимият ток се изменя в зависимост от околната среда. Например, при висока температура на околната среда

($\theta a1 > \theta a2$), I_{z1} е по-малко от I_{z2} (виж **Фиг. G5**). Със символа θ е означена температурата.

Забелжка:

- I_{sc} : трифазният ток на късо съединение;
- I_{scv} : номиналният ток на изключване на автоматичния прекъсвач в режим на трифазно късо съединение
- I_r (или I_{rth})⁽¹⁾: регулируемата „номинална“ стойност на тока; например, автоматичен прекъсвач за номинален ток 50 A може да бъде настроен в определен защитен диапазон, (виж **Фиг. G6** на следваща страница).

1.3 Практически стойности на схемите за защита

Следните методи са основани на правила, изложени в стандартите на IEC, и се използват на практика в много страни.

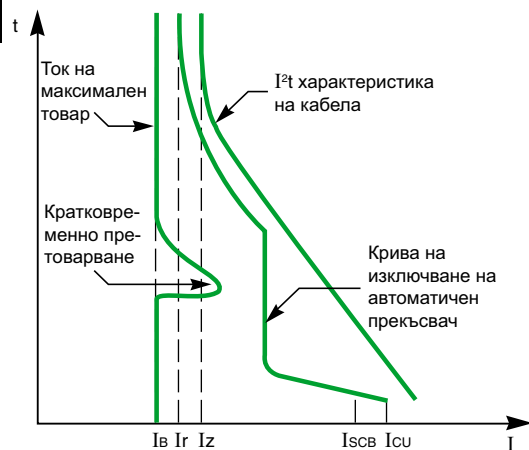
Общи правила

Защитното устройство (автоматичен прекъсвач или предпазител) работи коректно ако:

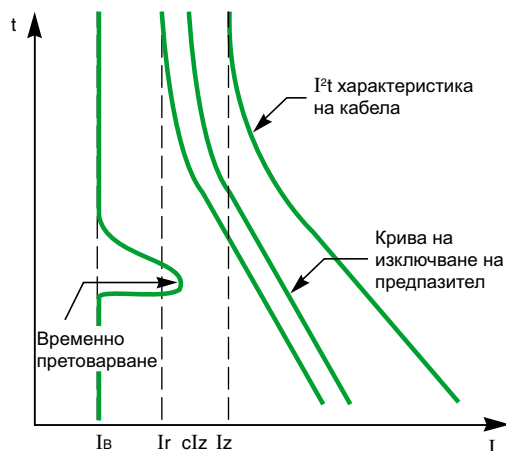
- Неговият номинален ток или тока на настройка I_n е по-голям от тока на максимален товар I_b , но по-малък от максимално допустимия ток I_z за веригата, т.е. $I_b \leq I_n \leq I_z$, което съответства на зона „а“ на **Фиг. G6**;
- Стандартната настройка на неговия ток на изключване I_2 е по-малка от 1.45 I_z , което съответства на зона „b“ на **Фиг. G6**.

Стандартната настройка на времето за изключване може да бъде 1 или 2 часа, съгласно местния стандарт и фактическата стойност, избрана за I_2 . За предпазител I_2 е токът (означен с I_f), при който предпазителят заработва със стандартно времезакъснение;

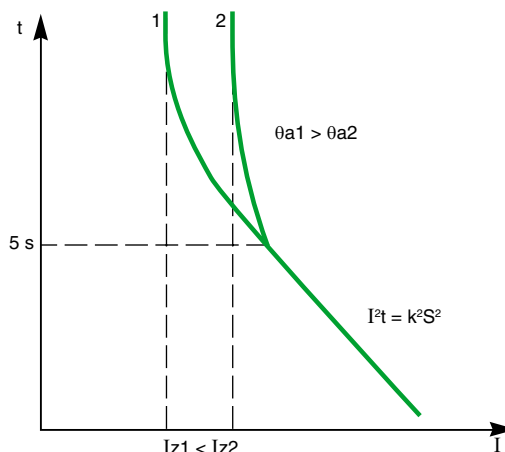
G4



Фигура G3: Защита на верига с автоматичен прекъсвач

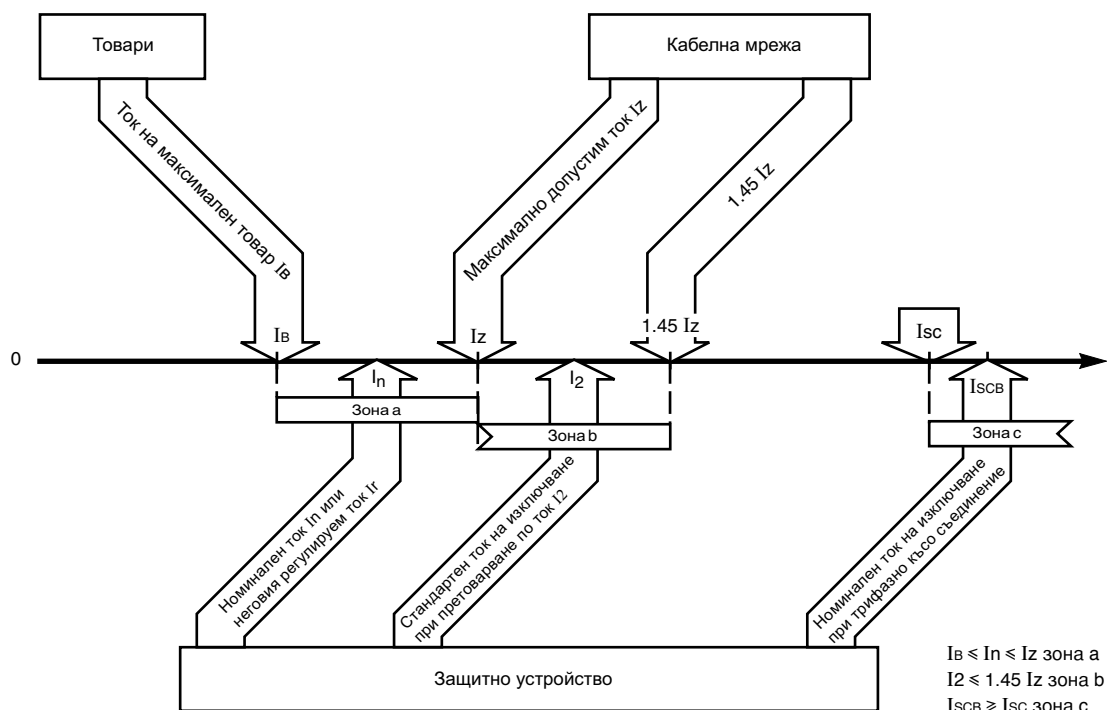


Фигура G4: Защита на верига предпазител



Фигура G5: Характеристика I^2t на изолиран проводник за две различни температури на околната среда

(1) И двете означения са обикновено използвани в различни стандарти.



Фигура G6: Стойности на тока за определяне характеристиките на автоматичен прекъсвач или предпазител

- Неговият номинален ток на изключване за трифазно късо съединение е по-голям от тока на трифазно късо съединение в мястото на неговия монтаж. Това съответства на зона „с“ на Фиг. G6.

Приложения

- Защита с автоматичен прекъсвач

Поради високото ниво на точност токът I_2 е винаги по-малък от $1.45 I_n$ (или $1.45 I_g$). Затова условието $I_2 \leq 1.45 I_z$ (както е посочено по-горе в „Общи правила“) се изпълнява винаги.

- Частен случай

Ако автоматичният прекъсвач не защитава от претоварване, е необходимо, за времето на най-малката стойност на тока на късо съединение, да се осигури изправна работа на устройството за максималнотокова защита, защитаващо веригата. Този частен случай е разгледан в т.5.1.

- Защита с предпазител

Трябва да бъде взето под внимание следното условие $I_2 \leq 1.45 I_z$, където I_2 е токът на изгаряне на предпазителя (нивото на изгаряне), A , $I_2 = k_2 \times I_n$, където $k_2 = (1.6 \dots 1.9)$ е коефициентът, чиято стойност се определя в зависимост от вида на предпазителя.

Допълнителният коефициент k_3 е въведен с израза ($k_3 = \frac{k_2}{1.45}$), за да се изпълни условието $I_2 \leq 1.45 I_z$ при $I_n \leq I_z/k_3$.

За предпазител тип gG:

$I_n < 16 A \rightarrow k_3 = 1.31$

$I_n \geq 16 A \rightarrow k_3 = 1.10$

Освен това, изключвателната възможност на тока на късо съединение на предпазителя I_{scf} трябва да е по-голяма от тока на трифазно късо съединение в мястото на монтажа на предпазителя.

- Комбинация от различни защитни устройства

Използването на защитни устройства, чиято изключвателна възможност е по-ниска от токовете на късо съединение, съществуващи в мястото на техния монтаж, е разрешено от IEC и много национални стандарти при изпълнение на следните условия:

- На горното ниво на веригата е разположено друго защитно устройство, което има необходимите параметри на задействане при къси съединения и
- Токът и времето на задействане на това устройство, т.е. количеството предавана енергия (I^2t), постъпващо в разположената след него уредба (защитни устройства, кабели, обзавеждане) да бъде по-малко от това, което може да издържи обзавеждането на защитаваната уредба.

Критерии за автоматични прекъсвачи:

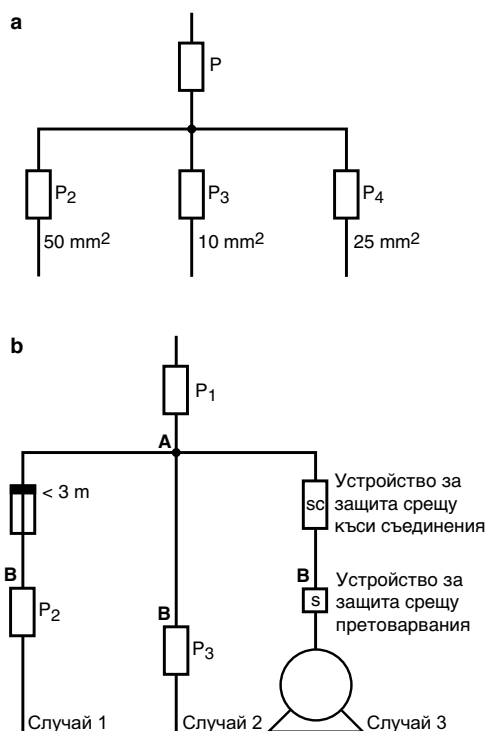
$I_b \leq I_n \leq I_z$ и $I_{scB} \geq I_{sc}$.

Критерии за предпазител:

$I_b \leq I_n \leq I_z/k_3$ и $I_{scf} \geq I_{sc}$.

Защитно устройство е необходимо, в общия случай, на входа на всяка верига

G6



Фигура G7: Разположение на защитни устройства

На практика токова съчетание обикновено се използва в:

- Комбинация автоматични прекъсвачи/предпазители
- Техниката на изпълнение, известна като „каскадиране“, при която високите показатели за ограничаване на тока на късо съединение на някои автоматични прекъсвачи ефективно улесняват изключвателната възможност на долустоящите автоматични прекъсвачи.

Възможните комбинации, които са изпитани в лаборатории, са посочени в съответните каталози на производителя.

1.4 Разположение на защитни устройства

Общо правило (виж Фиг. G7a)

Защитно устройство е необходимо на входа на всяка верига, където възниква намаляване на допустимата стойност на максималния ток.

Възможни варианти на разположение при някои определени обстоятелства (виж Фиг. G7b)

Защитното устройство може да се разположи в коя да е точка по веригата:

- Ако до веригата АВ няма наблизко горящи материали и
- Ако по веригата АВ няма контактни излази или отклонения.

На практика могат да се използват три случая (виж Фиг. G7b):

- Случай 1
 - Веригата АВ ≤ 3 m, и
 - Веригата АВ е монтирана с цел да намали до практически минимум риска от възникване на късо съединение (например, проводник, положен в дебелостенна стоманена тръба)
- Случай 2
 - Устройството „P1“ на горно ниво защитава участъка АВ от къси съединения в съответствие с т. 5.1
- Случай 3
 - Устройството за защита от претоварване „S“ е разположено близо до потребителя. Такова разполагане е подходящо за вериги на електрически двигател. Устройството „S“ осъществява защита и управление (пускане/спиране) и защита от претоварване на двигателя, а „SC“ е автоматичен прекъсвач (предвиден за защита на електрически двигател), или предпазители от типа „aM“;
 - Защитата от късо съединение „SC“, е разположена на входа на веригата и отговаря на принципите, изложени в т.5.1.

Вериги без защита (виж Фиг. G7c)

Или

- Защитното устройство „P1“ е калибрирано за защита на кабела „S2“ от претоварване и къси съединения

или

- Там, където изключването на веригата може да предизвика опасност, например:

- Възбудителни вериги на въртящи машини;
- Вериги на големи подземни електромагнити;
- Вторични вериги на токови трансформатори.

Изключване на веригите не се допуска и затова защитата на кабела има второстепенно значение.

1.5 Паралелно свързване на проводници

Проводници с еднакво сечение, еднаква дължина и от еднакъв материал могат да бъдат съединени паралелно.

Максимално допустимия ток е равен на сумата от максималните токове на жилата във всеки отделен проводник, с отчитане на явлението взаимно нагряване, начин на монтаж и др. Защитата срещу претоварване и къси съединения е аналогична на защитата на еднопроводни вериги.

Необходимо е да се вземат следните предпазни мерки за избягване опасността от възникване на къси съединения на паралелно свързаните кабели:

- Допълнителна защита срещу механични повреди и влага чрез въвеждане на допълнителни защити;
- Кабелното трасе не трябва да преминава в непосредствена близост до горими материали.

2 Практически метод за определяне на най-малкото допустимо сечение на проводници, кабели и шини

2.1 Общи положения

Изучаването на кабелна мрежа става в съответствие със стандарта IEC 60364-5-52 „Електрически уредби в сгради – Раздел 5-52 Избор и изграждане на електрическо обзавеждане – Система от проводници”.

В този раздел се разглеждат изискванията на дадения стандарт с примери за най-често разпространените методи за монтаж. Стойността на допустимия продължителен ток за всички различни варианти на монтаж са посочени в приложение А към стандарта. Опростен метод за използване на дадените таблици в приложение А е представено в информационното приложение В на същия стандарт.

2.2 Общ метод за полагане на кабели

Възможни методи за монтаж на различни типове проводници или кабели

Методите за монтаж на различни типове проводници и кабели са показани в Табл. G8.

G7

Таблица G8: Избор на типа проводници и начина на полагане (табл. 52-1 на IEC 60364-5-52)

Проводници и кабели	Метод за монтаж							
	Без закрепване	Закрепване, непосредствено с помощта на скоби	В кабелен канал	В тръба	Кабелено трасе	Кабелна лавица Кабелен скара Кабелни скоби	На изолятори	Носещо въже
Неизолирани проводници	–	–	–	–	–	–	+	–
Изолирани проводници	–	–	+	+	+	–	+	–
Кабели с обвивка (в това число бронирани кабели и кабели с обвивка, импрегнирана с минерално масло)	Многожилен	+	+	+	+	+	0	+
	Едножилен	0	+	+	+	+	0	+

+ Разрешен.

– Не е разрешен.

0 Не се използва или обикновено не се използва на практика.

2 Практически метод за определяне на най-малкото допустимо сечение на проводници, кабели и шини

Възможни методи за монтаж за различни ситуации:

Различни методи за монтаж могат да се използват в зависимост от ситуацията. Възможните комбинации са показани в Табл. G9.

Номерът, посочен в Табл. G9, означава различни проводникови системи (виж още Табл. G10)

Таблица G9: Изграждане на проводникови системи (табл. 52-2 на IEC 60364-5-52)

Проводници и кабели	Метод за монтаж							
	Без закрепване	Закрепване, непосредствено с помощта на скоби	В тръба	В кабелен канал	Кабелено трасе	Кабелна лавица Кабелен скара Кабелни скоби	На изолятори	Носещо въже
Кухини в сгради	40, 46, 15, 16	0	15, 16, 41, 42	–	43	30, 31, 32, 33, 34	–	–
Кабелен канал	56	56	54, 55	0	44, 45	30, 31, 32, 33, 34	–	–
Подземно полагане	72, 73	0	70, 71	–		70, 71	0	–
Замонитена в строителни елементи	57, 58	3	1, 2, 59, 60	50, 51, 52, 53	44, 45	0	–	–
Открит монтаж	–	20, 21	4, 5	6, 7, 8, 9, 12, 13, 14, 22, 23	6, 7, 8, 9	30, 31, 32, 33, 34	36	–
Въздушно полагане	–	–	0	10, 11	–	30, 31, 32, 33, 34	36	35
Потопен монтаж	80	80	0	–	0	0	–	–

– Не е разрешен.

0 Не се използва или обикновено не се използва на практика.

G8

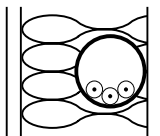
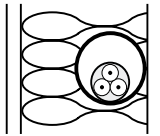
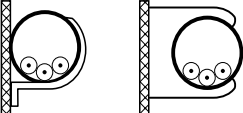
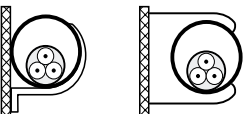
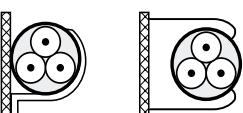
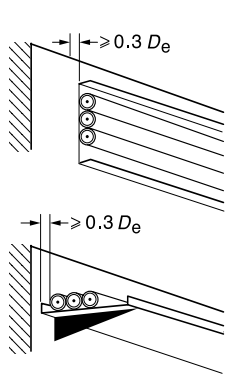
2 Практически метод за определяне на най-малкото допустимо сечение на проводници, кабели и шини

Примери за различни начини на полагане на кабели и проводници

На Табл. G10 са показани някои от многобройните варианти на методи за монтаж.

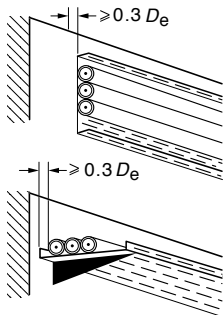

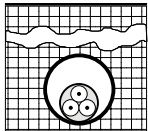
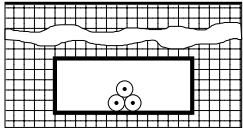
Определени са няколко основни метода (означени с буквен код от А до G), обединени в групи методи за монтаж с еднакви характеристики по отношение на пропускателната способност по ток на системата от проводници.

Таблица G10: Примери на методи за монтаж (част от табл. 52-3 на IEC 60364-5-52) (продължава на следваща страница)

Номер на варианта	Методи за монтаж	Описание	Основен метод за монтаж, използван за постигане пропускателната способност по ток
1	 Помещение	Изолирани проводници или едножилни кабели, положени в тръба в стена с термоизолация	A1
2	 Помещение	Многожилни кабели, положени в тръба в стена с термоизолация	A2
4		Изолирани проводници или едножилни кабели в тръба на дървена стена, по мазилка или положени на разстояние от стената, по-малко от 0,3 x диаметъра на тръбата	B1
5		Многожилни кабели в тръба на дървена стена, на мазилка или положени на разстояние от стената, по-малко от 0,3 x диаметъра на тръбата	B2
20		Едножилни или многожилни кабели: - прикрепени или положени на разстояние от дървена стена, по-малко от 0,3 x диаметъра на кабела	C
30		На неперфорирана кабелна скара	C

2 Практически метод за определяне на най-малкото допустимо сечение на проводници, кабели и шини

Таблица G10: Примери на методи за монтаж (част от табл. 52-3 на IEC 60364-5-52) (продължение)

Номер на варианта	Методи за монтаж	Описание	Основен метод за монтаж, използван за постигане на пропускателната способност по ток
31		На перфорирана кабелна скара	E за многожилни или F за едножилни
36		Неизолирани или изолирани проводници, положени на изолятори	G
70		Многожилни кабели, положени в кабелен канал или в тръби, намиращи се в земя	D
71		Едножилен кабел, положен в кабелен канал или в тръби, намиращи се в земя	D

Максимална работна температура:

Стойностите на допустимия продължителен ток, посочени в следващите таблици, са определени така, че максималната температура на изолацията да не бъде превишавана в продължителен период от време.

В **Табл. G11** са посочени максимално допустими температури за различни типове изолационни материали.

Таблица G11: Стойности на максималната работна температура за различни типове изолации (табл. 52-4 на IEC 60364-5-52)

Тип на изолация	Гранична температура, °C
Поливинилхлорид (PVC)	70 - за тоководещото жило
Омрежен полиетилен (XLPE) и етилен пропиленов каучук (EPR)	90 - за тоководещото жило
Минерална (покритие с PVC или неизолирана, за открит достъп)	70 - за обвивката
Минерална (неизолирана, без открит достъп и без контакт с леснозапалими материали)	105 - за обвивката

Корекционни коефициенти:

За да се отчетат условията на околната среда, или особените условия при полагане на кабели и проводници се използват корекционни коефициенти. Напречното сечение на кабелите се определя чрез използване на номиналната стойност на тока на натоварване I_B , разделен на различни корекционни коефициенти: k_1, k_2, \dots :

$$I'_B = \frac{I_B}{k_1 \cdot k_2 \dots}$$

където I'_B е коригираната стойност на тока на натоварване, която се сравнява с пропускателната способност по ток на съответния

2 Практически метод за определяне на най-малкото допустимо сечение на проводници, кабели и шини

■ Температура на околната среда

Изчисляване на пропускателната способност по ток на кабели, положени във въздух, се основава на средна стойност на температурата на въздуха 30 °С. За други стойности на температурата се използват корекционни коефициенти, посочени в **Табл. G12**, за изолация от PVC, етилен пропиленов каучук (EPR) и омрежен полиетилен (XLPE).

По-долу са посочени стойностите на корекционния коефициент k_1 .

Таблица G12: Корекционни коефициенти за температура на околната среда, различна от 30 °С, използвани за изчисляване пропускателната способност по ток на кабели, положени във въздух (на открито) (табл. А. 52-14 на IEC 60364-5-52)

Температура на околната среда, °С	Изолация	
	Поливинилхлорид PVC	Омрежен полиетилен (XLPE) и етилен пропиленов каучук (EPR)
10	1.22	1.15
15	1.17	1.12
20	1.12	1.08
25	1.06	1.04
35	0.94	0.96
40	0.87	0.91
45	0.79	0.87
50	0.71	0.82
55	0.61	0.76
60	0.50	0.71
65	-	0.65
70	-	0.58
75	-	0.50
80	-	0.41

G11

Пресмятането на пропускателната способност на кабели, положени в земя, се основава на средна стойност на температурата на почвата 20 °С. За други стойности на температурата се използват корекционни коефициенти, посочени в **Табл. G13**, за изолация от PVC, етилен пропиленов каучук (EPR) и омрежен полиетилен (XLPE).

По-долу са посочени стойностите на корекционния коефициент k_2 .

Таблица G13: Корекционни коефициенти за температура на почвата, различна от 20 °С, използвани за изчисляване пропускателната способност по ток на кабели, положени в канали в земя (табл. А. 52-15 на IEC 60364-5-52)

Температура на земята, °С	Изолация	
	Поливинилхлорид PVC	Омрежен полиетилен (XLPE) и етилен пропиленов каучук (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 Практически метод за определяне на най-малкото допустимо сечение на проводници, кабели и шини

■ Специфично топлинно съпротивление на почвата
Пресмятането на пропускателната способност на кабели, положени в земя, се основава на използване на специфично топлинно съпротивление на почвата 2.5 K.m/W. За други стойности се използват корекционни коефициенти, посочени в **Табл. G14**.

По-долу са посочени стойностите на корекционния коефициент k_3 .

Таблица G14: Корекционни коефициенти за кабели, положени в канали в земя, при специфично топлинно съпротивление на почвата различно от 2.5 K.m/W, използвани за изчисляване пропускателната способност по ток на кабели, с помощта на еталонен метод D (табл. А. 52-16 на IEC 60364-5-52)

Специфично топлинно съпротивление на почвата, K.m/W	1	1.5	2	2.5	3
Корекционен коефициент	1.18	1.1	1.05	1	0.96

Опитът показва, че съществува корелация между типа на почвата и нейното специфичното топлинно съпротивление. Затова в **Табл. G15** са посочени емпирични стойности на корекционния коефициент k_3 в зависимост от типа на почвата.

Таблица G15: Корекционен коефициент k_3 в зависимост от типа на почвата

Тип на почвата	k_3
Много влажна (наситена)	1.21
Много влажна	1.13
Влажна	1.05
Суха	1.00
Много суха (изпечена)	0.86

■ Обединяване на проводници и кабели

Стойностите на пропускателната способност по ток, посочени по-долу в таблиците се отнасят за едноконтурни схеми, състоящи се от следния брой проводници:

- Два изолирани проводника или два едножилни кабели или един двужилен кабел (използват се в еднофазни вериги);
- Три изолирани проводника или три едножилни кабели или един трижилен кабел (използват се в трифазни вериги).

Когато при полагане се обединяват в група по-голям брой изолирани проводници или кабели, се използва коефициент на намаляване (отбелязан с k_4).

В **Таблиците от G16 до G18** са дадени примери за различни конфигурации (с указания за методите за монтаж и условията за полагане – на открито или в земя).

Таблица G16 дава стойностите на корекционния коефициент k_4 за различни конфигурации на негорими кабели или проводници, групирани в повече от една верига или многожилни кабели.

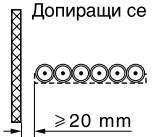
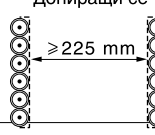
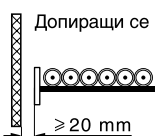
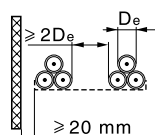
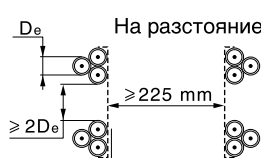
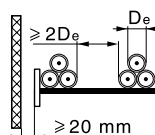
Таблица G16: Коефициенти за намаляване за групи, съдържащи повече от една верига или един многожилен кабел (табл. А. 52-17 на IEC 60364-5-52)

Разположение на кабелите (допиращи се)	Брой на веригите или многожилните кабели										Методи за монтаж		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	16	20	
Кабелен сноп на открито, на стена, зазидан или защитна 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	Методи от А до F
Един слой по стена, по под или на неперфорирана кабелна скара	1.00	0.85	0.79	0.75	0.73	0.72	0.72	0.71	0.70	Няма стойности на коефициента за намаляване за групи, съдържащи повече от девет вериги или многожилни кабели.			Метод С
Един слой, закрепен непосредствено под дървен таван	0.95	0.81	0.72	0.68	0.66	0.64	0.63	0.62	0.61				
Един слой на перфорирана хоризонтална и вертикална кабелна скара	1.00	0.88	0.82	0.77	0.75	0.73	0.73	0.72	0.72				Методи Е и F
Един слой на кабелна лавица, на скоби и др.	1.00	0.87	0.82	0.80	0.80	0.79	0.79	0.78	0.78				

2 Практически метод за определяне на най-малкото допустимо сечение на проводници, кабели и шини

В Таблица G17 са дадени стойности на корекционния коефициент K_4 за различни конфигурации групи от кабели или проводници, съдържащи повече от една верига, положени на открито.

Таблица G17: Коефициенти за намаляване за групи, съдържащи повече от една верига едножилни кабели, използвани като нормирани стойности за една верига едножилни кабели, положени на открито, метод на монтаж F (табл. А. 52-21 на IEC 60364-5-52)

Метод за монтаж		Скари, бр.	Трифазни вериги, бр.			Използва се като множител на номиналната стойност за:
			1	2	3	
На перфорирани скари	31	 <p>Допиращи се</p> <p>$\geq 20 \text{ mm}$</p>	1	0.98	0.91	Три кабела, разположени хоризонтално
			2	0.96	0.87	
			3	0.95	0.85	
На вертикални перфорирани скари	31	 <p>Допиращи се</p> <p>$\geq 225 \text{ mm}$</p>	1	0.96	0.86	Три кабела, разположени вертикално
			2	0.95	0.84	
На кабелна лавица конзоли, скоби и др.	32 33 34	 <p>Допиращи се</p> <p>$\geq 20 \text{ mm}$</p>	1	1.00	0.97	Три кабела, разположени хоризонтално
			2	0.98	0.93	
			3	0.97	0.90	
На перфорирани скари	31	 <p>$\geq 2D_e$</p> <p>D_e</p> <p>$\geq 20 \text{ mm}$</p>	1	1.00	0.98	Три кабела, разположени във вид на трилистник
			2	0.97	0.93	
			3	0.96	0.92	
На вертикални перфорирани скари	31	 <p>На разстояние</p> <p>$\geq 225 \text{ mm}$</p> <p>$\geq 2D_e$</p> <p>D_e</p>	1	1.00	0.91	Три кабела, разположени във вид на трилистник
			2	1.00	0.90	
На кабелни лавици, конзоли, скоби и др.	32 33 34	 <p>$\geq 2D_e$</p> <p>D_e</p> <p>$\geq 20 \text{ mm}$</p>	1	1.00	1.00	Три кабела, разположени във вид на трилистник
			2	0.97	0.95	
			3	0.96	0.94	

G13

2 Практически метод за определяне на най-малкото допустимо сечение на проводници, кабели и шини

В Таблица G18 са дадени стойности на корекционния коефициент k_4 за различни конфигурации на кабели или проводници, положени непосредствено в земя.

Таблица G18: Коефициенти за намаляване за повече от една верига едножилни или многожилни кабели, положени непосредствено в земя. Метод на монтаж D (табл. A. 52-18 на IEC 60364-5-52)

Вериги, бр.	Разстояние между кабелите (a) ^a , m				
	Нула (допиращи се без въздушна междина)	На разстояние един Ø	0.125	0.25	0.5
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

^a Многожилни кабели



^a Едножилни кабели



■ Ток на хармонична съставяща

Изчисляването на пропускателната способност по ток на трифазни четири- или петжилни кабели, се основава на допускането, че само трите проводника имат пълно натоварване.

Независимо от това, поради циркулация на хармонични токове, може да възникне значителен ток в неутралата, чиято стойност може да бъде по-голяма дори от стойността на фазните токове. Това се обуславя от факта, че третите хармоници на тока в трите фази не се компенсират, а се сумират в неутралния проводник.

Това, разбира се, влияе на пропускателната способност по ток на кабела, поради което е необходимо да се използва корекционен коефициент k_5 , стойностите на който са показани по-долу.

Освен това, ако третият хармоник на тока е по-голям от 33 %, то тока през нулевия проводник е по-голям от номиналния фазов ток. Затова сечението на кабела трябва да се избира на основата на стойността на тока в неутралата. Трябва да се отчита и топлинното действие на хармоничните токове във фазовите проводници.

В Таблица G19 са дадени стойностите на коефициента k_5 в зависимост от третия хармоник.

Таблица G19: Стойности на корекционния коефициент k_5 за хармоничните съставящи на тока в четири- и петжилни кабели (табл. D. 52-1 на IEC 60364-5-52)

Относителна големина на третия хармоник спрямо фазовия ток, %	Корекционен коефициент	
	Сечение на кабел, определено по стойността на фазовия ток	Сечение на кабел, определено по стойността на тока в неутралата
0 - 15	1.0	
15 - 33	0.86	
33 - 45		0.86
> 45		1.0

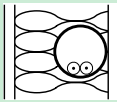
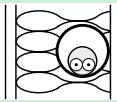
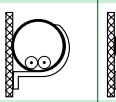
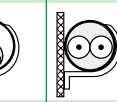
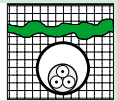

Допустим ток в зависимост от номиналната стойност на сечението на проводниците

В стандарта IEC 60364-5-52 се съдържа подробна информация, съставена във вид на таблици с указание за допустимите стойности на тока в зависимост от сечението на кабелите. При това се отчитат много параметри, например метод за монтаж, типа на изолационния материал, броя на проводниците под товар.

2 Практически метод за определяне на най-малкото допустимо сечение на проводници, кабели и шини

Като пример, в Табл. G20, са дадени стойности на пропускателната способност по ток за различни методи на монтаж, на трижилни медни или алуминиеви проводници с PVC изолация, положени на открито или в земя.

Таблица G20: Стойности на пропускателната способност по ток, в А, за различни методи на монтаж на трижилни медни или алуминиеви проводници с PVC изолация, при температура на проводниците: 70 °С, температура на въздуха 30 °С, температура на почвата 20 °С (табл. А. 52-4 на IEC 60364-5-52)

Номинално напречно сечение на проводниците, mm ²	Методи за монтаж					
	A1	A2	B1	B2	C	D
						
1	2	3	4	5	6	7
Мед						
1.5	13.5	13	15.5	15	17.5	18
2.5	18	17.5	21	20	24	24
4	24	23	28	27	32	31
6	31	29	36	34	41	39
10	42	39	50	46	57	52
16	56	52	68	62	76	67
25	73	68	89	80	96	86
35	89	83	110	99	119	103
50	108	99	134	118	144	122
70	136	125	171	149	184	151
95	164	150	207	179	223	179
120	188	172	239	206	259	203
150	216	196	-	-	299	230
185	245	223	-	-	341	258
240	286	261	-	-	403	297
300	328	298	-	-	464	336
Алуминий						
2.5	14	13.5	16.5	15.5	18.5	18.5
4	18.5	17.5	22	21	25	24
6	24	23	28	27	32	30
10	32	31	39	36	44	40
16	43	41	53	48	59	52
25	57	53	70	62	73	66
35	70	65	86	77	90	80
50	84	78	104	92	110	94
70	107	98	133	116	140	117
95	129	118	161	139	170	138
120	149	135	186	160	197	157
150	170	155	-	-	227	178
185	194	176	-	-	259	200
240	227	207	-	-	305	230
300	261	237	-	-	351	260

2 Практически метод за определяне на най-малкото допустимо сечение на проводници, кабели и шини

2.3 Препоръчван опростен метод за определяне сечението на кабели

За улесняване избора на сечението на кабели, положени на открито или скрито, се предлагат две опростени таблици.

В тези таблици са представени най-разпространените конфигурации, което позволява да се увеличи достъпа до информация.

- Кабели, положени на открито:

Таблица G21a: Стойности на пропускателната способност по ток, в А, (табл. В. 52-1 на IEC 60364-5-52)

Методи за монтаж	Брой на активни проводници и тип на изолация											
	2 PVC	3 PVC	3 XLPE	2 XLPE	3 XLPE	2 XLPE	3 XLPE	2 XLPE	3 XLPE	2 XLPE	3 XLPE	2 XLPE
A1												
A2	3 PVC	2 PVC		3 XLPE	2 XLPE							
B1				3 PVC	2 PVC		3 XLPE		2 XLPE			
B2			3 PVC	2 PVC		3 XLPE	2 XLPE					
C					3 PVC		2 PVC	3 XLPE		2 XLPE		
E						3 PVC		2 PVC	3 XLPE		2 XLPE	
F							3 PVC		2 PVC	3 XLPE		2 XLPE
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Сечение, mm²												
Мед												
1.5	13	13.5	14.5	15.5	17	18.5	13.5	22	23	24	26	-
2.5	17.5	18	19.5	21	23	25	27	30	31	33	36	-
4	23	24	26	28	31	34	36	40	42	45	49	-
6	29	31	34	36	40	43	46	51	54	58	63	-
10	39	42	46	50	54	60	63	70	75	80	86	-
16	52	56	61	68	73	80	85	94	100	107	115	-
25	68	73	80	89	95	101	110	119	127	135	149	161
35	-	-	-	110	117	126	137	147	158	169	185	200
50	-	-	-	134	141	153	167	179	192	207	225	242
70	-	-	-	171	179	196	213	229	246	268	289	310
95	-	-	-	207	216	238	258	278	298	328	352	377
120	-	-	-	239	249	276	299	322	346	382	410	437
150	-	-	-	-	285	318	344	371	395	441	473	504
185	-	-	-	-	324	362	392	424	450	506	542	575
240	-	-	-	-	380	424	461	500	538	599	641	679
Алуминий												
2.5	13.5	14	15	16.5	18.5	19.5	21	23	24	26	28	-
4	17.5	18.5	20	22	25	26	28	31	32	35	38	-
6	23	24	26	28	32	33	36	39	42	45	49	-
10	31	32	36	39	44	46	49	54	58	62	67	-
16	41	43	48	53	58	61	66	73	77	84	91	-
25	53	57	63	70	73	78	83	90	97	101	108	121
35	-	-	-	86	90	96	103	112	120	126	135	150
50	-	-	-	104	110	117	125	136	146	154	164	184
70	-	-	-	133	140	150	160	174	187	198	211	237
95	-	-	-	161	170	183	195	211	227	241	257	289
120	-	-	-	186	197	212	226	245	263	280	300	337
150	-	-	-	-	226	245	261	283	304	324	346	389
185	-	-	-	-	256	280	298	323	347	371	397	447
240	-	-	-	-	300	330	352	382	409	439	470	530

G16

2 Практически метод за определяне на най-малкото допустимо сечение на проводници, кабели и шини

В Табл. G21b са дадени корекционни коефициенти за групи от няколко вериги или многожилни кабели:

Таблица G21b: Коефициенти за намаляване за групи от няколко вериги или многожилни кабели (табл. В. 52-3 на IEC 60364-5-52)

Разположение на кабелите	Брой на веригите или многожилните кабели								
	1	2	3	4	6	9	12	16	20
Зазидани или в защитна обвивка	1.00	0.80	0.70	0.70	0.55	0.50	0.45	0.40	0.40
Един слой по стена, по под или на неперфорирана скара	1.00	0.85	0.80	0.75	0.70	0.70	-	-	-
Един слой, закрепен непосредствено под дървен таван	0.95	0.80	0.70	0.70	0.65	0.60	-	-	-
Един слой на перфорирана хоризонтална или вертикална кабелна скара	1.00	0.90	0.80	0.75	0.75	0.70	-	-	-
Един слой на кабелна лавица, на скоби и др.	1.00	0.85	0.80	0.80	0.80	0.80	-	-	-

G17

■ Скрито полагане:

Таблица G22: Стойности на пропускателната способност по ток, в А, (табл. В. 52-1 на IEC 60364-5-52)

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

2 Практически метод за определяне на най-малкото допустимо сечение на проводници, кабели и шини

2.4 Изолирани шинопроводи

Да се избере шинопровод е много просто, ако се използват данните, представени от производителя. Методът за монтаж, типът на изолационния материал, корекционните коефициенти са основни параметри за тази технология.

Пресмятането на напречното сечение на шините за всеки зададен модел се извършва от производителя, като се използват следните параметри:

- Номинален ток;
- Температура на околния въздух, равна на 35 °C;
- Три работни шини.

Номинален ток

Номиналният ток може да бъде изчислен въз основа на:

- Планът на разполагане на шините;
- Консумираният ток при различни товари, свързани към шинната система.

Външна температура

Корекционният коефициент трябва да бъде използван при температури по-високи от 35 °C. В Табл. G23a е даден корекционния фактор за вериги.

G18

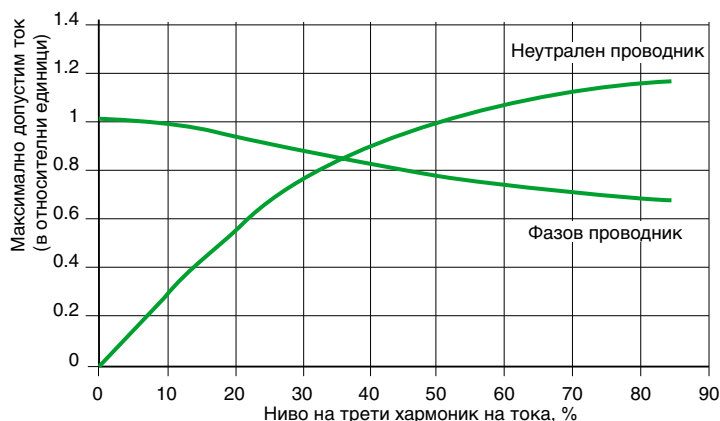
Таблица G23a: Корекционен коефициент за температура на въздуха над 35 °C

Температура на въздуха °C	35	40	45	50	55
Корекционен коефициент	1	0.97	0.93	0.90	0.86

Неутрален проводник

Неутралният проводник може да бъде натоварен със значителен ток, когато протичат третите хармоници на тока. Съответните допълнителни загуби на мощност трябва да бъдат взети под внимание.

Фигура G23b представя зависимостта на максимално допустимия фазов ток и тока в неутралния проводник (в относителни единици) в шинопровод с голяма мощност в зависимост от нивото на третия хармоник.



Фиг. G23b: Зависимост на максимално допустими токове (в относителни единици) в шинопровод от нивото на третия хармоник на тока.

2 Практически метод за определяне на най-малкото допустимо сечение на проводници, кабели и шини

Планът на разположение на шинопровода зависи от мястото на потребителите, мястото на хранящия източник и възможностите за закрепване на системата:

- Шинопроводът се състои от прави елементи за пренос (за пренасяне на енергия) и за разпределение (с фабрично подготвени отклонения) с дължини от 2 до 5м, елементи за промяна на посоката, хранящи и крайни елементи;
- Защитните устройства за потребителите са разположени в кутии, свързани непосредствено към изходните точки за разпределение;
- Една отделна линия, хранява потребители с различна мощност.

След уточняване на плана на разположение на шинопровода е възможно да се изчисли консумирания ток I_n в разпределителната линия.

Токът I_n е равен на сумата от консумираните токове от потребителите:

$$I_n = \sum I_B$$

Потребителите не работят едновременно и постоянно с пълен товар. Затова трябва да се използва коефициента на едновременност k_S : $I_n = \sum (I_B \cdot k_S)$.

Таблица G24: Стойности на коефициента на едновременност k_S в зависимост от броя на потребителите

Приложение	Потребители, бр.	Стойност на коефициента k_S
Осветление, отопление		1
Разпределение (работилници, цехове)	2...3	0.9
	4...5	0.8
	6...9	0.7
	10...40	0.6
	40 и повече	0.5

Забележка: За промишлени уредби, получената стойност на I_n трябва да се повиши, като по този начин се отчита бъдещото обновяване на базата. За разпределително табло, се препоръчва това увеличение да е 20 %, т.е:

$$I_n \leq I_B \times k_S \times 1.2.$$

3 Определяне пада на напрежение

Съпротивлението на проводниците във веригата е малко, но не трябва да се пренебрегва. При преминаване на товарния ток се наблюдава пад на напрежение между началото на веригата и мястото на включване на товара. Правилната работа на потребителя (двигател, верига за осветление и др.) зависи от това дали напрежението на неговите клеми се поддържа до ниво, близко до номиналната стойност. Следователно необходимо е да се оразмеряват проводниците от веригата така, че при ток на пълно натоварване, напрежението на клемите на товара да остане в допустими граници.

В този Раздел се разглеждат методи за определяне пада на напрежение с цел осигуряване на:

- Съответствия с действащи стандарти и правила;
- Изисквания от страна на потребителя;
- Съществени изисквания към работата на електрообзавеждането.

3.1 Максимално допустим пад на напрежение

Максимално допустимите граници на пада на напрежение са различни в отделните страни. Типовите стойности за електрически уредби НН са дадени по-долу в Табл. G25.

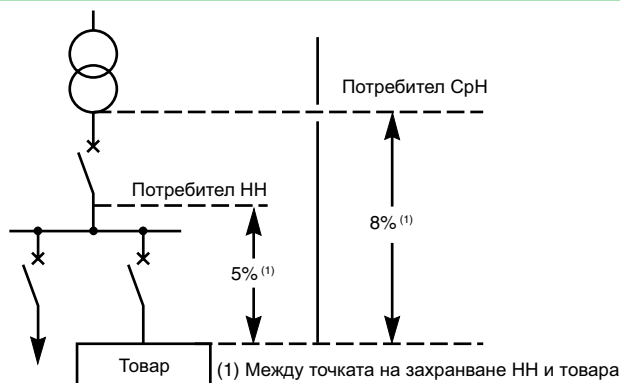
Таблица G25: Максимално допустим пад на напрежение между точката на присъединяване към мрежата и точката на потребление

Тип на уредбите	Осветителни вериги	Други (отопление и силови вериги)
Включване към разпределителна мрежа НН	3%	5%
Потребители на подстанция СрН/НН, захранвани от разпределителна мрежа СрН	6%	8%

Посочените граници на пада на напрежение се отнасят за нормално установен работен режим и не се използват за моменти на пускане на двигатели, едновременно включване (случайно) на няколко товари и т.н., както това е описано в т.4.3 на Глава В (Коефициент на едновременност и т.н.). Ако пада на напрежение надвиши стойностите, дадени в Табл. G25 се използват проводници с по-голямо сечение, за да се коригира тази ситуация.

Ако се допусне пад на напрежение 8 % това може да доведе до проблеми в работата на двигателите, например:

- Обикновено, за удовлетворителната работа на двигателя е необходимо напрежението да бъде в границите $\pm 5\%$ от номиналната стойност в установен режим на работа;
- Пусковият ток на двигателя може да бъде от 5 до 7 пъти по-голям от неговия номинален ток (или даже по-висок). Ако падът на напрежение е 8 % при пълен товар, то по време на пускане на двигателя, може да се наблюдава намаление на напрежението до 40 %, или повече. При такива условия двигателят:
 - или не може да се пусне (остава неподвижен поради недостатъчен въртящ момент, неспособен да преодолее съпротивителния момент на товара), което ще доведе до прегряване на двигателя и до неговото изключване;
 - или ще се ускорява много бавно, така че големият товарен ток (с възможни нежелани въздействия на намаленото напрежение върху друго обзавеждане) да продължи по-дълго, отколкото при нормален период на развъртане.
- И накрая 8 % пад на напрежение представлява постоянна загуба на мощност, която при продължителен товар предизвиква значителни загуби на енергия (отчитана). Поради тази причина се препоръчва максималния пад на напрежение 8 % в установен работен режим да не се допуска във вериги, чувствителни към понижено напрежение.



Фигура G26: Максимално допустим пад на напрежение

3.2 Изчисляване пада на напрежение в режими
на постоянен товар

Формули

В Табл. G27 по-долу са дадени формули, които обикновено се използват за изчисляване пада на напрежение във верига с дължина L km.

Където:

- I_v е пълният ток на товара, A;
- L – дължината на кабела, km;
- R – активното съпротивление на кабел с дължина 1 km, Ω/km :

$$R = \frac{22.5 \Omega \text{ mm}^2 / \text{km}}{S(\text{сечението в mm}^2)} \text{ за мед}$$

$$R = \frac{36 \Omega \text{ mm}^2 / \text{km}}{S(\text{сечението в mm}^2)} \text{ за алуминий}$$

Забележка: R може да се пренебрегне, ако сечението на проводника е над 500 mm².

- X - индуктивното съпротивление на кабел с дължина 1 km, Ω/km .

Забележка: X може да се пренебрегне, ако сечението на проводника е под 50 mm². При отсъствие на всяка друга информация се приема $X=0.08 \Omega/\text{km}$.

- φ - фазовият ъгъл между напрежението и тока в разглежданата верига, обикновено:

□ За осветителна верига с лампи с нажежаема жичка: $\cos \varphi = 1$.

□ За захранване на двигател:

- при пускане: $\cos \varphi = 0.35$;

- в режим на нормална работа: $\cos \varphi = 0.8$.

- U_n – напрежението между фазите, V;

- V_n – напрежението между фаза и нула, V.

За кабелопроводи и шинопроводи заводско изпълнение, стойността на активното и индуктивното съпротивление се дава от производителя.

G21

Таблица G27: Формули за пресмятане пада на напрежение

Верига	Пад на напрежение (ΔU),	
	във V	в %
Една фаза: Фаза/фаза	$\Delta U = 2I_v(R \cos \varphi + X \sin \varphi) L$	$\frac{100 \Delta U}{U_n}$
Една фаза: Фаза/нула	$\Delta U = 2I_v(R \cos \varphi + X \sin \varphi) L$	$\frac{100 \Delta U}{V_n}$
Балансирана трифазна: три фази с или без неутрала	$\Delta U = \sqrt{3} I_v(R \cos \varphi + X \sin \varphi) L$	$\frac{100 \Delta U}{U_n}$

Опростена таблица

Пресмятанията могат да се избегнат чрез използване на Табл. G28, показана на следващата страница. Тя дава с адекватно приближение стойността на пада на междуфазно напрежение на кабел с дължина 1 km при товар 1 A в зависимост от:

- Вида на веригата: захранваща верига на двигател с $\cos \varphi$ приблизително 0.8, или осветителна верига с $\cos \varphi$ приблизително равен на 1.

- Типа на кабела: едножилен или трижилен.

Падът на напрежение ΔU в кабела може да се изчисли по:

$$\Delta U = K \times I_v \times L$$

където K е коефициентът, отчитан от Табл. G28;

I_v – пълният ток на товара, A;

L – дължината на кабела, km.

Колоната „Ток на двигателя - $\cos \varphi = 0.35$ ” на Табл. G28 може да се използва за изчисление на пада на напрежение по време пусковия период (виж пример №1 след Табл. G28).

Таблица G28: Пад на напрежение между фазите ΔU , във V/A.km

Сечение, mm ²		Еднофазна верига			Балансирана трифазна верига		
		Захранване на двигател		Осветление	Захранване на двигател		Осветление
		Работен режим	Пусков режим		Работен режим	Пусков режим	
Cu	Al	cos $\varphi = 0.8$	cos $\varphi = 0.35$	cos $\varphi = 1$	cos $\varphi = 0.8$	cos $\varphi = 0.35$	cos $\varphi = 1$
1.5		24	10.6	30	20	9.4	25
2.5		14.4	6.4	18	12	5.7	15
4		9.1	4.1	11.2	8	3.6	9.5
6	10	6.1	2.9	7.5	5.3	2.5	6.2
10	16	3.7	1.7	4.5	3.2	1.5	3.6
16	25	2.36	1.15	2.8	2.05	1	2.4
25	35	1.5	0.75	1.8	1.3	0.65	1.5
35	50	1.15	0.6	1.29	1	0.52	1.1
50	70	0.86	0.47	0.95	0.75	0.41	0.77
70	120	0.64	0.37	0.64	0.56	0.32	0.55
95	150	0.48	0.30	0.47	0.42	0.26	0.4
120	185	0.39	0.26	0.37	0.34	0.23	0.31
150	240	0.33	0.24	0.30	0.29	0.21	0.27
185	300	0.29	0.22	0.24	0.25	0.19	0.2
240	400	0.24	0.2	0.19	0.21	0.17	0.16
300	500	0.21	0.19	0.15	0.18	0.16	0.13

G22

Примери

Пример 1 (виж Фиг. G29)

Трижилен меден кабел със сечение 35 mm² и дължина 50 m подава напрежение 400 V към трифазен двигател, консумиращ:

- 100 A при cos $\varphi = 0.8$ и постоянен товар;
- 500 A (5 In) при cos $\varphi = 0.35$ в режим на пускане.

Приема се, че падът на напрежение в началото на кабела, свързващ трифазния двигател при нормални обстоятелства (т.е. на разпределително табло от Фиг. G29, разпределящо общ товар от 1,000 A) е 10 V.

Колко е падът на напрежение на клемите на двигателя:

- в работен режим?
- в пусков режим?

Решение:

- Пад на напрежение в режим на нормална работа:

$$\Delta U\% = 100 \frac{\Delta U}{U_n}$$

От Табл. G28 се отчита $K = 1$ V/A.km (за меден проводник със сечение 35 mm² и cos $\varphi = 0.8$ при трифазна верига):

Следователно:

$$\text{за кабела: } \Delta U = 1 \times 100 \times 0.05 = 5 \text{ V}$$

Общ пад на напрежение: $\Delta U = 10 + 5 = 15 \text{ V}$, т.е.

$$\frac{15}{400} \times 100 = 3.75\%$$

Тази стойност е по-малка от разрешената 8 % и следователно е приемлива.

- Пад на напрежение в режим на пускане:

От Табл. G28 се отчита $K = 0.52$ V/A.km (за меден проводник със сечение 35 mm² и за cos $\varphi = 0.35$ при трифазна верига):

Следователно:

$$\text{за кабела: } \Delta U = 0.52 \times 500 \times 0.05 = 13 \text{ V.}$$

Поради допълнителният ток, консумиран по време на пускане на двигателя, падът на напрежение на разпределителното табло ще бъде по-голям от 10 V.

Ако се предположи, че тока, протичащ през разпределителното табло по време на пускане на двигателя е $900 + 500 = 1,400$ A следователно падът на напрежение на разпределителното табло ще се увеличи до

$$\frac{10 \times 1,400}{1,000} = 14 \text{ V}$$

Следователно:

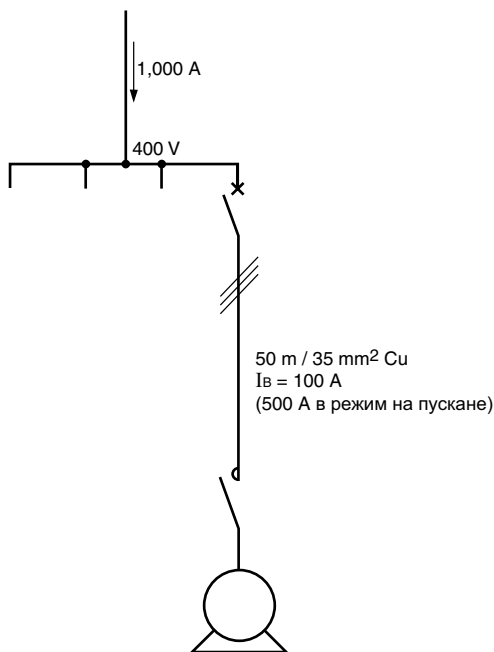
за разпределителното табло: $\Delta U = 14 \text{ V}$;

за кабела, захранващ двигателя: $\Delta U = 13 \text{ V}$;

Общ пад на напрежение: $\Delta U = 13 + 14 = 27 \text{ V}$, т.е.

$$\frac{27}{400} \times 100 = 6.75\%$$

Тази стойност е подходяща за пусков режим.



Фигура G29: Пример 1

3 Определяне пада на напрежение

Пример 2 (виж Фиг. G30)

По трифазна четирипроводна линия от медни проводници със сечение 70 mm^2 и дължина 50 m протича ток 150 A . Линията захранва, освен други товари, три еднофазни вериги за осветление, всяка от които се състои от меден проводник със сечение 2.5 mm^2 , дължина 20 m и пропуска ток 20 A .

Предполага се, че токът в кабелната линия със сечение 70 mm^2 е балансиран и трите осветителни вериги са свързани към линията в една и съща точка.

Колко е падът на напрежение в крайните точки във веригите за осветление?

Решение:

■ Падът на напрежение в четирипроводната линия е:

$$\Delta U\% = 100 \frac{\Delta U}{U_n}$$

От **Табл. G28** се отчита $K = 0.55 \text{ V/A.km}$ (за меден проводник със сечение 70 mm^2 и за $\cos \varphi = 1$ при трифазна верига).

Следователно:

$$\text{за кабела: } \Delta U = 0.55 \times 150 \times 0.05 = 4.125 \text{ V,}$$

което съответства на пад на напрежение между фазата и нула: $\frac{4.125}{\sqrt{3}} = 2.38 \text{ V}$

■ Падът на напрежение във всяка от еднофазните вериги за осветление е:

От **Табл. G28** се отчита $K = 18 \text{ V/A.km}$ (за меден проводник със сечение 2.5 mm^2 и за $\cos \varphi = 1$ при еднофазна верига):

Следователно:

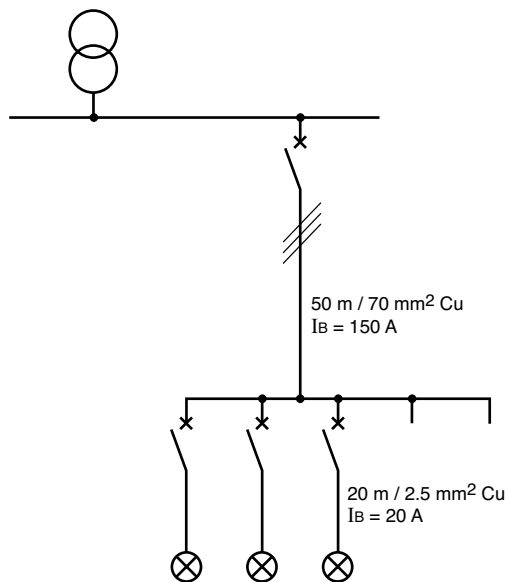
$$\text{за кабела: } \Delta U = 18 \times 20 \times 0.02 = 7.2 \text{ V}$$

Общият пад на напрежение е:

$$7.2 + 2.38 = 9.6 \text{ V}$$

$$\frac{9.6 \text{ V}}{230 \text{ V}} \times 100 = 4.2\%$$

Тази стойност е удовлетворителна, тъй като е по-малко от максимално допустимата стойност на пада на напрежение 6% .



Фигура G30: Пример 2

Познаването на стойностите на симетричните токове при трифазно късо съединение в различни точки на уредбата е необходимо за нейното проектиране.

Познаването на стойностите на симетричните токове при трифазно късо съединение (I_{sc}) в стратегически точки на уредбата е необходимо, за да се изчислят параметрите на разпределителното устройство (номинален ток на късо съединение), кабели (номинален ток на топлинна устойчивост), защитни устройства (настройка селективността на защитата) и др. В следващите примери ще бъде разгледан трифазен ток на късо съединение с нулево съпротивление (така наречения ток на късо съединение при болтово съединение), подаван през типов понижаващ разпределителен трансформатор СрН/НН. Поради необикновените обстоятелства, този тип повреда е най-сериозен и много прост за изчисляване.

Токовете на късо съединение във веригата, захранвана от генератор за променлив ток и постояннотокови вериги, се разглеждат в Глава М.

Най-простите изчисления и практически правила, които трябва да се спазват, дават резултати с достатъчна точност, които в повечето случаи са подходящи за целите при проектиране на уредбата.

4.1 Ток на късо съединение на клемите на вторична намотка на разпределителен трансформатор СрН/НН

В случай на един трансформатор

- С първо приближение, съпротивлението на високоволтовата верига се приема

пренебрежимо малко и затова:

$$I_{sc} = \frac{I_n \times 100}{U_{sc}}$$

където $I_n = \frac{S \times 10^3}{U_{20} \sqrt{3}}$ и:

S - номиналната мощност на трансформатора, kVA;

U_{20} - линейното напрежение на празен ход на вторичната намотка, V;

I_n - номиналният ток, A;

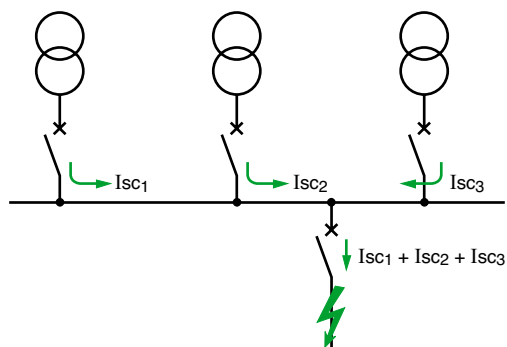
I_{sc} - токът на късо съединение, A;

U_{sc} - напрежението на късо съединение, %.

Типовите стойности на U_{sc} за разпределителни трансформатори са дадени в Табл. G31.

Таблица G31: Типични стойности за U_{sc} за различни номинални мощности на силови трансформатори с напрежение на първичната намотка у 20 kV

Номинална мощност на трансформатора, kVA	U _{sc} , %	
	Силов маслен трансформатор	Силов сух трансформатор с лята изолация
50 до 750	4	6
800 до 3 200	6	6



Фиг. G32: Случай на няколко трансформатора, работещи в паралел

■ Пример

За трансформатор със $S = 400$ kVA, $U_{20} = 420$ V, $U_{sc} = 4\%$

$$I_n = \frac{400 \times 10^3}{420 \times \sqrt{3}} = 550 \text{ A} \quad I_{sc} = \frac{550 \times 100}{4} = 13.7 \text{ kA}$$

В случай на паралелно свързани трансформатори, захранващи шини

Стойността на тока на късо съединение в началото на линията, излизаща от сборни шини (виж Фиг. G32), може да се оцени като сума от токовете I_{sc} , изчислени отделно за всеки трансформатор.

Предполага се, че всички трансформатори се захранват от една мрежа СН. В този случай стойностите, получени от Табл. G31, при събиране ще дадат малко по-голяма стойност на тока на късо съединение от действителния.

Други фактори, които не са били взети под внимание, са съпротивлението на сборните шини и на автоматичните прекъсвачи.

Обаче, получената стойност на тока на късо съединение, е достатъчно точна за целите на проектирането на уредбата. Изборът на автоматичните прекъсвачи и на вградените защитни устройства, срещу токове на късо съединение, е описан в т.4.4 на Глава Н.

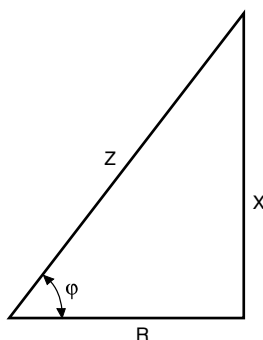
4.2 Ток на трифазно късо съединение (I_{sc}) в произволна точка на електрическа уредба ниско напрежение

Токът I_{sc} в произволна точка на трифазна уредба, се намира чрез израза:

$$I_{sc} = \frac{U_{20}}{\sqrt{3} Z_T}$$

където U_{20} е линейното напрежение на празен ход на вторичната намотка на захранващия трансформатор(-и), V;

Z_T – пълното съпротивление на една фаза от електрическата уредба от трансформатора до точката на повреда, Ω .



Фиг. G33: Триъгълник на съпротивленията

Метод за изчисляване на Z_T

Всеки компонент на уредбата (мрежа СрН, трансформатор, кабел, автоматичен прекъсвач, сборна шина и др.), се характеризира със своето пълно съпротивление Z_T . То се състои от активно съпротивление R и индуктивно съпротивление X. Може да се отбележи, че капацитивните съпротивления не се отчитат при изчисляване на тока на късо съединение.

Параметрите R, X и Z се измерват в Ω и са представени чрез страните на правоъгълен триъгълник (виж Фиг. G33).

Методът се състои в разделяне на мрежата на подходящи участъци и изчисляване стойностите на R и X за всеки един от тях.

Когато участъците от веригата са съединени последователно всички елементи на съпротивленията в участъците се сумират аритметично, както и реактивните съпротивления, и се получават стойностите на R_T и X_T . Пълното съпротивление Z_T за съединените елементи, се изчислява по формулата:

$$Z_T = \sqrt{R_T^2 + X_T^2}$$

Всеки два участъка от мрежата, съединени паралелно може, ако те са преимуществено активни (или и двете са индуктивни), да се обединят и да се получи едно еквивалентно активно (или реактивно) съпротивление, както е показано по-долу.

Нека R1 и R2 са две съпротивления, свързани в паралел. Тогава еквивалентното активно съпротивление R3 се намира по формулата:

$$R_3 = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2} \quad \text{или за реактивното съпротивление} \quad X_3 = \frac{X_1 \times X_2}{X_1 + X_2}$$

Необходимо е да се отбележи, че изчисляването на X_3 се отнася само за отделна верига, без да се отчита явлението взаимна индукция. Ако паралелните вериги са разположени близо една до друга, стойността на X_3 ще бъде значително по-голяма.

Определяне пълното съпротивление на всеки компонент

■ Мрежа СрН, към която е включена първичната намотка на трансформатор СрН/НН (виж Табл. G34)

Стойността на трифазния ток на късо съединение I_{sc} , в kA или мощността P_{sc} , в MVA⁽¹⁾ се дава от доставчика на енергия, от където може да се изчисли еквивалентното пълно съпротивление.

Таблица G34: Пълно съпротивление на мрежа СрН спрямо нисковолтовите изводи на понижаващ трансформатор СрН/НН

Psc	U ₀ , V	R _a , mΩ	X _a , mΩ
250 MVA	420	0.07	0.7
500 MVA	420	0.035	0.351

Формулата, която позволява да се изчисли тази стойност и едновременно привежда пълното съпротивление към неговия еквивалент на страна ниско напрежение е:

$$Z_s = \frac{U_0^2}{P_{sc}}$$

където Z_s е пълното съпротивление на мрежата СрН, mΩ;

U_0 – линейното напрежение на празен ход на нисковолтовата верига, V;

P_{sc} – мощността на трифазно късо съединение, kVA.

Съпротивлението R_a на захранващата мрежа СрН е обикновено нищожно в сравнение със съответното съпротивление X_a . Приема се, че $X_a = Z_a$. За по-точни пресмятания се приема $X_a = 0,995 Z_a$ и $R_a = 0,1 X_a$.

Таблица G34 дава стойностите на R_a и X_a , съответстващи на най-разпространените мощности (а именно 250 и 500 MVA) на късо съединение в разпределителни мрежи СрН⁽²⁾.

(1) Мощност на трифазно късо $P_{sc} = \sqrt{3} E_L \times I_{sc}$, в MVA, където:

■ E_L е линейното номинално напрежение на системата, kV;

■ I_{sc} - номиналният ток на трифазно късо съединение, kA.

(2) До 36 kV.

■ Трансформатори (виж Табл. G35)

Пълното съпротивление на трансформатора Z_{tr} на страна ниско напрежение се намира чрез формулата:

$$Z_{tr} = \frac{U_{20}^2}{S_n} \times \frac{U_{sc}}{100}$$

където U_{20} е линейното напрежение на празен ход на вторичната намотка, V;

S_n – номиналната мощност на трансформатора, kVA;

U_{sc} – напрежението на късо съединение на трансформатора, %.

Активното съпротивление на намотките на трансформатора R_{tr} може да се изчисли от общите загуби чрез уравнението:

$$P_{cu} = 3I_n^2 \times R_{tr}, \text{ така че } R_{tr} = \frac{P_{cu} \times 10^3}{3I_n^2}$$

където P_{cu} са общите загуби на мощност, W;

I_n – номиналният ток, A;

R_{tr} – съпротивлението на една фаза на трансформатора, mΩ (в тази стойност са отчетени съпротивлението на намотката НН и на съответната намотка СpН за една фаза).

$$X_{tr} = \sqrt{Z_{tr}^2 - R_{tr}^2}$$

При приблизителни изчисления стойността на R_{tr} може да се пренебрегне, тъй като $X \approx Z_n$ в стандартните разпределителни трансформатори.

G26

Таблица G35: Стойности на активното, реактивното и пълното съпротивление за типови разпределителни трансформатори 400 V с напрежение на първичните намотки СН у 20 kV

Номинална мощност, kVA	Силов маслен трансформатор				Силов сух трансформатор			
	Usc, %	Rtr, mΩ	Xtr, mΩ	Ztr, mΩ	Usc, %	Rtr, mΩ	Xtr, mΩ	Ztr, mΩ
100	4	37.9	59.5	70.6	6	37.0	99.1	105.8
160	4	16.2	41.0	44.1	6	18.6	63.5	66.2
200	4	11.9	33.2	35.3	6	14.1	51.0	52.9
250	4	9.2	26.7	28.2	6	10.7	41.0	42.3
315	4	6.2	21.5	22.4	6	8.0	32.6	33.6
400	4	5.1	16.9	17.6	6	6.1	25.8	26.5
500	4	3.8	13.6	14.1	6	4.6	20.7	21.2
630	4	2.9	10.8	11.2	6	3.5	16.4	16.8
800	6	2.9	12.9	13.2	6	2.6	13.0	13.2
1,000	6	2.3	10.3	10.6	6	1.9	10.4	10.6
1,250	6	1.8	8.3	8.5	6	1.5	8.3	8.5
1,600	6	1.4	6.5	6.6	6	1.1	6.5	6.6
2,000	6	1.1	5.2	5.3	6	0.9	5.2	5.3

■ Автоматични прекъсвачи

Във веригите НН е необходимо да се отчита пълното съпротивление на автоматичните прекъсвачи, разположени над точката на късо съединение. Стойността на реактивното съпротивление условно се приема 0.15 mΩ за автоматичен прекъсвач. Стойността на активното съпротивление може да се пренебрегне.

■ Сборни шини

Активното съпротивление на сборни шини е нищожно. Практически пълното съпротивление е реактивно и е приблизително 0.15 mΩ/m⁽¹⁾ дължина на сборни шини НН (удвояването на разстоянието между шините, увеличава реактивното съпротивление само с 10 %).

■ Проводници

Активното съпротивление на проводник с намира по формулата:

$$R_c = \rho \frac{L}{S}$$

където ρ е специфичното обемно съпротивление на материала на проводника при нормална работна температура:

□ $\rho = 22.5 \text{ m}\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ за мед;

□ $\rho = 36 \text{ m}\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ за алуминий;

L – дължината на проводника, m;

S – сечението на проводника, mm².

(1) За мрежа с честота $f = 50 \text{ Hz}$.

За мрежа с честота $f = 60 \text{ Hz}$ $\rho = 0.18 \text{ m}\Omega/\text{m}$.

Стойността на реактивното съпротивление на кабели може да се получи от производителите. За кабел със сечение по-малко от 50 mm² стойността на реактивното съпротивление може да се пренебрегне. При отсъствие на друга информация може да се използва стойността 0.08 mΩ/m (за мрежи с честота f = 50 Hz) или 0.096 mΩ/m (за мрежи с честота f = 60 Hz). В случай на фабрично изработени шинопроводи и подобни кабелопроводи в канали, се обърнете за данни към производителя.

■ Двигатели

При късо съединение, работещият двигател ще действа (в продължение на малък интервал от време) като генератор и ще запазва ток мястото на повредата. В общия случай, това увеличение на тока на късо съединение може да се пренебрегне. Обаче, за по-точни изчисления, обикновено в случай на големи двигатели и/или голям брой малки двигатели общото увеличение на тока може да се оцени от формулата:

$I_{scm} = 3.5 I_n$ за всеки двигател, т.е. 3.5I_n за m подобни двигатели, работещи едновременно.

Разглежданите двигатели са само трифазни. Участието на еднофазни двигатели в увеличаването на тока е малко.

■ Съпротивление на електрическата дъга в мястото на повредата

Късите съединения обикновено предизвикват електрическа дъга, която притежава определено съпротивление. Нейното съпротивление не е стабилно и средната му стойност е малка, но при малко напрежение това съпротивление е достатъчно, за да намали в определена степен тока на повреда. Практиката показва, че може да се очаква намаляване на тока с 20 %. Това явление ефективно облекчава работата на автоматичния прекъсвач при изключване на веригата, но не оказва никакво влияние на неговия ток на включване.

■ Справочна таблица (виж Табл. G36).

G27

Таблица G36: Справочна таблица за пълните съпротивления на различни елементи от захранващата система

Елементи от захранващата система	R, mΩ	X, mΩ
Захранваща мрежа Фиг. G34	$\frac{R_a}{X_a} = 0.1$	$X_a = 0.995 Z_a; Z_a = \frac{U_{20}^2}{P_{sc}}$
Трансформатор Фиг. G35	$R_{tr} = \frac{P_{cu} \times 10^3}{3I_n^2}$ R _{tr} често може да се пренебрегне в сравнение с X _{tr} за трансформатори със S _n > 100 kVA	$\sqrt{Z_{tr}^2 - R_{tr}^2}$ със $Z_{tr} = \frac{U_{20}^2}{P_n} \times \frac{U_{sc}}{100}$
Автоматичен прекъсвач	Може да се пренебрегне	X _D = 0.15 mΩ/pole
Сборни шини	Може да се пренебрегне за S > 200 mm ² във формулата: $R = \rho \frac{L}{S}^{(1)}$	X _B = 0.15 mΩ/m
Проводници ⁽²⁾	$R = \rho \frac{L}{S}^{(1)}$	Кабели: X _c = 0.08 mΩ/m
Двигатели	Виж т.4.2 Двигатели (често може да се пренебрегне за случай на НН)	
Ток на трифазно късо съединение, kA	$I_{sc} = \frac{U_{20}}{\sqrt{3} \sqrt{R_T^2 + X_T^2}}$	

U₂₀: линейно напрежение на празен ход на вторичната намотка на понижаващ трансформатор СрН/НН, V;

P_{sc}: мощност на трифазно късо съединение на клемите СрН на трансформатор СрН/НН, kVA;

P_{cu}: общи загуби на трифазна мощност на трансформатор СрН/НН, W;

S_n: номинална мощност на трансформатор СрН/НН, kVA;

U_{sc}: напрежение на късо съединение на трансформатор СрН/НН, %;

R_T: общо активно съпротивление, Ω. X_T: общо реактивно съпротивление, Ω.

(1) ρ: специфично обемно съпротивление на проводници при нормална температура:

■ ρ = 22.5 mΩ x mm²/m за мед;

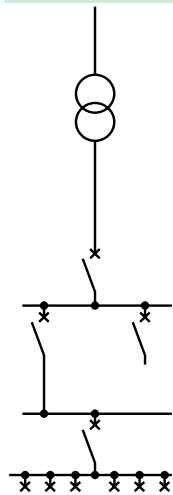
■ ρ = 36 mΩ x mm²/m за алуминий;

(2) Ако за дадена фаза няколко проводници са свързани в паралел, разделете активното съпротивление на единия проводник на броя на проводниците. Стойността на реактивното съпротивление остава практически постоянна.

■ Пример за изчисляване тока на късо съединение (виж Фиг. G37).

Таблица G37: Пример за изчисляване на тока на късо съединение за нисковолтава уредба, захранвана с номинално напрежение 400 V от трансформатор СрН/НН със S=1000 kVA.

Уредба НН	R, mΩ	X, mΩ	RT, mΩ	XT, mΩ	$I_{sc} = \frac{420}{\sqrt{3} \sqrt{R_T^2 + X_T^2}}$
Мрежа СН P _{sc} = 500 MVA	0.035	0.351			
Трансформатор 20 kV/420 V S _n = 1000 kVA U _{sc} = 5% P _{cu} = 13.3 x 10 ³ W	2.24	8.10			
Едножилни кабели 5 m мед 4 x 240 mm ² /фаза	$R_c = \frac{22.5}{4} \times \frac{5}{240} = 0.12$	X _c = 0.08 x 5 = 0.40	2.41	8.85	I _{sc1} = 26 kA
Главен автоматичен прекъсвач	R _D = 0	X _D = 0.15			
Сборни шини 10 m	R _B = 0	X _B = 1.5	2.41	10.5	I _{sc2} = 22 kA
Трижилен кабел 100 m 95 mm ² мед	$R_c = 22.5 \times \frac{100}{95} = 23.68$	X _c = 100 x 0.08 = 8	26.1	18.5	I _{sc3} = 7.4 kA
Кабел 20 m със сечение 10 mm ² на медното жило за крайни вериги	$R_c = 22.5 \times \frac{20}{10} = 45$	X _c = 20 x 0.08 = 1.6	71.1	20.1	I _{sc4} = 3.2 kA



G28

4.3 Ток на трифазно късо съединение (I_{sc}) в края на захранващата линия в зависимост от тока на трифазно късо съединение в нейното начало

Мрежата, показана на Фиг. G38 представлява типичен случай за използване на Табл. G39 на следващата страница, която е съставена по „метода на композицията“ (описан в т.6.2 на Глава F). Такива таблици позволяват бързо да се получи доста-тъчно точна стойност на тока на късо съединение в точка от мрежата знаейки:

- Стойността на тока на късо съединение в точка над мястото на повредата;
- Дължината и състава на веригата между точката, в която е известна стойността на тока на късо съединение и точката, в която той трябва да се определи.

След това е достатъчно да се избере автоматичен прекъсвач, който има стойност на тока на късо съединение, по-голяма от стойността, посочена в таблицата. Ако са нужни по-точни стойности може да се направи подробно изчисляване (виж т.4.2) или да се използва програма, например Ecodial. Освен това, в този случай се препоръчва да се разгледа възможността за използване на каскадна технология. При нея монтирането на токоограничаващ автоматичен прекъсвач на горно ниво във веригата, позволява на всички автоматични прекъсвачи, монтирани надолу по веригата, да имат номинален ток на късо съединение много по-малък, от колкото е необходимо при други условия (виж т.4.5 на Глава H).

Описание на метода (виж Фиг. G38)

От Табл. G39 изберете сечение на проводника от колоната за медни проводници (в дадения пример проводника е със сечение 47,5 mm² и дължина 20 m). Изберете от реда, съответстващ на 47,5 mm², дължина на проводник, равна на дължината на изчисляваната верига (или най-близката до нея по-малка дължина). Спуснете се вертикално по колоната, където е посочена тази дължина и се спрете на реда в средната секция (от трите секции, отделени в таблицата), която съответства на известния ток на късо съединение, посочен в първата колона (или на най-близката до нея по-голяма стойност).

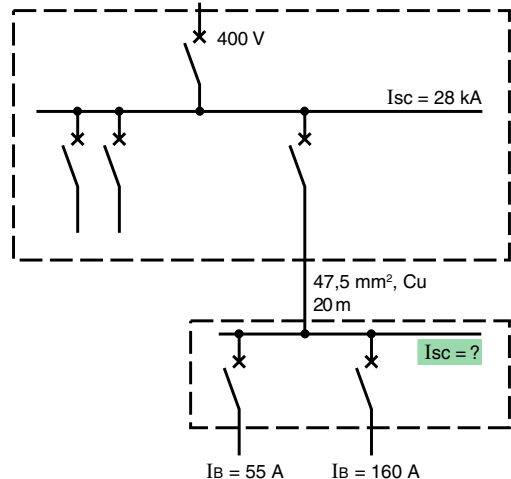
В дадения случай 30 kA е най-близката по-голяма стойност до известната стойност 28 kA. Стойността на тока на късо съединение в началото на 20 m верига се получава чрез пресичане на вертикалната колона, в която е разположена дължината и хоризонталния ред, съответстващ на тока I_{sc} в точката нагоре по веригата (или най-близката до нея по-голяма стойност).

В дадения пример се отчита стойност 14,7 kA.

Процедурата за определяне на тока на късо съединение при алуминиеви проводници е подобна, но трябва да се извърши придвижване от третата секция нагоре към средната.

В резултат може да се използва автоматичен прекъсвач, монтиран на шина DIN, с номинален ток 63 A и I_{sc} = 25 kA (например автоматичен прекъсвач NG125N) за верига с ток 55 A (виж Фиг. G38).

Автоматичен прекъсвач Compact с номинален ток 160 A и I_{sc} = 25 kA (например прекъсвач NS160) може да се използва за защита на верига 160 A.



Фиг. G38: Определяне стойността на тока на късо съединение I_{sc} на долно ниво, чрез използване на Табл. G39

5 Частни случаи на къси съединения

5.1 Изчисляване минималните стойности на тока на късо съединение

Ако защитното устройство трябва да защитава само срещу къси съединения, е необходимо, то да действа при най-ниското възможно ниво на тока на късо съединение, възникващ във веригата.

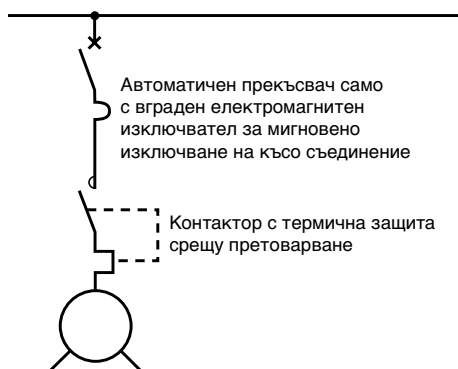
Обикновено, във веригите НН, едно защитно устройство защитава всички нива на токове – от праговото ниво на претоварване до максималния ток на късо съединение, при които става изключване.

В определени случаи обаче, се използват отделни устройства срещу претоварване и срещу къси съединения.

Примери на такива случаи

На **Фиг. G40** до **G42** са показани няколко най-разпространени случаи, където се изпълнява защита срещу претоварване и къси съединения чрез различни устройства.

G30



Фиг. G41: Верига, защитена от автоматичен прекъсвач без термична защита срещу претоварване



Фиг. G40: Верига, защитена със стопяеми предпазители тип aM

Най-често веригите, в които се използват отделни устройства за контрол и защита, се отнасят за двигатели (виж **Фиг. G40** и **Фиг. G41**).

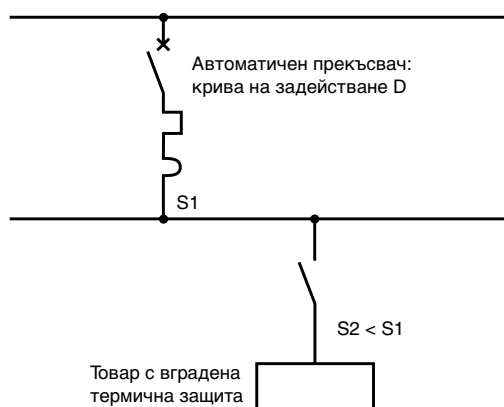
На **Фиг. G42a** е показан още един специфичен случай на защита, който често се използва при фабрични изолирани шинопроводи, за осветление и др.

Регулируемо задвижване с честотен регулатор

Таблица G42b показва защитните функции, осигурявани при регулируемо задвижване, а при необходимост и някои допълнителни функции, изпълнявани от автоматичен прекъсвач, топлинно реле, RCD.

Таблица G42b: Защита, която трябва да бъде осигурена при използване на регулируемо задвижване

Необходима защита	Защита, осигурявана от честотния регулатор	Допълнителна защита
Претоварване на кабел	Да = (1)	Не е необходима, ако е (1)
Претоварване на двигател	Да = (2)	Не е необходима, ако е (2)
Късо съединение надолу по веригата	Да	
Претоварване на честотния регулатор	Да	
Пренапрежение	Да	
Минимално напрежение	Да	
Загуба на фаза	Да	
Късо съединение нагоре по веригата		Автоматичен прекъсвач (изключване при късо съединение)
Вътрешно късо съединение		Автоматичен прекъсвач (изключване при късо съединение и претоварване)
Късо съединение към земя надолу по веригата (индиректен допир)	(самозащита)	RCD \geq 300 mA
Директен допир		RCD \leq 30 mA



Фиг. G42a: Автоматичен прекъсвач, с крива на задействане D, осигуряващ защита срещу къси съединения и претоварване

Защитното устройство трябва да изпълнява следните условия:

- b* Настройка за моментно изключване $I_m < I_{sc_{min}}$ за защита на верига с автоматичен прекъсвач;
- b* Със стопяем предпазител $I_a < I_{sc_{min}}$.

Условия, които трябва да бъдат изпълнени

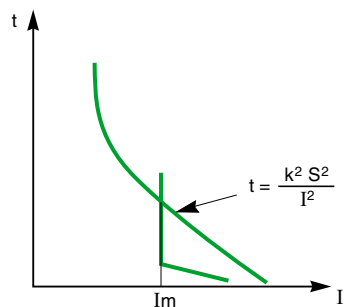
Защитното устройство трябва да удовлетворява следните две условия:

- Номиналният ток на изключване на късо съединение трябва да бъде по-голям от трифазния ток на късо съединение (I_{sc}) в точката на повреда в уредбата.
- Изключване на минимално възможния ток на късо съединение, за време t_c , съответстващо с параметрите на топлинна устойчивост на проводниците във веригата:

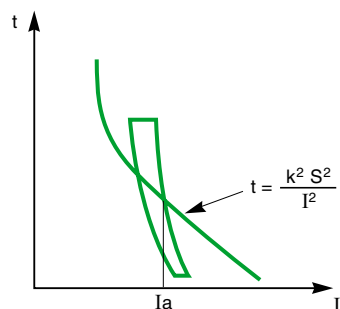
$$t_c \leq \frac{K^2 S^2}{I_{sc_{min}}^2} \quad (\text{валидно за } t_c < 5 \text{ s})$$

Сравняването на кривите на изключване на автоматичните прекъсвачи или на стопяемите предпазители, с граничните криви на термична устойчивост, показва че това условие е спазено, ако:

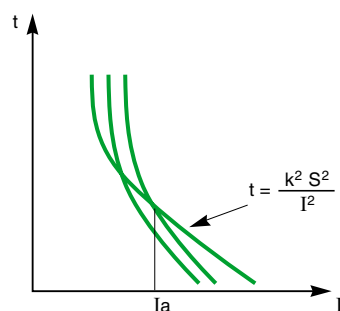
- $I_{sc}(\min) > I_m$, където I_m е токът на настройка на автоматичния прекъсвач за мигновено или с незначително времезакъснение при изключване на веригата (виж **Фиг. G45**).
- $I_{sc}(\min) > I_a$, при защита със стопяеми предпазители. Стойността на тока I_a съответства на точката на пресичане на кривата на стопяемия предпазител и кривата на термична устойчивост на кабела (виж **Фиг. G46** и **Фиг. G47**).



Фиг. G45: Защита с автоматичен прекъсвач



Фиг. G46: Защита със стопяеми предпазители тип aM



Фиг. G47: Защита със стопяеми предпазители тип gL

На практика това означава, че дължината на веригата след защитното устройство в мрежата не трябва да бъде по-голяма от максималната изчислена дължина:

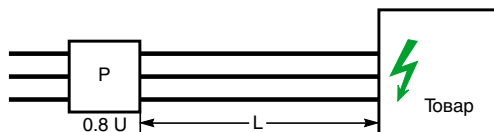
$$L_{\max} = \frac{0.8 U S_{ph}}{2\rho I_m}$$

Практически метод за изчисляване на L_{\max}

Трябва да бъде проверено граничното влияние на пълното съпротивление на проводниците в дълга верига върху стойността на тока на късо съединение и в съответствие с това да бъде ограничена дължината на веригата. Методът за изчисляване на максимално допустимата дължина вече беше показан при схеми на заземяване TN и IT, съответно за първо и второ земно съединение (виж т.6.2 и 7.2 на Глава F). Тези два случая се разглеждат по-долу:

1 - Изчисляване на L_{\max} за трифазна трипроводна верига

Минималният ток на късо съединение се появява тогава, когато възниква късо съединение между два фазови проводника в отдалечения край на веригата (виж Фиг. G48).



Фиг. G48: Определяне на L за трифазна трипроводна верига

При използване на традиционния метод се приема, че напрежението в мястото, където е разположена защитата P , е 80 % от номиналното напрежение по време на късо съединение, т.е. $0.8 \cdot U = I_{sc} \cdot Z_d$, където Z_d е пълното съпротивление на веригата на тока на късо съединение, Ω ;

I_{sc} – токът на късо съединение (фаза-фаза), А;

U – номиналното линейно напрежение, V.

За кабели със сечение $S_{ph} \leq 120 \text{ mm}^2$ индуктивното съпротивление може да бъде пренебрегнато, така че

$$Z_d = \rho \frac{2L}{S_{ph}} \quad (1)$$

където ρ е специфичното електрическо съпротивление на медта⁽²⁾ при средна температура по време на късо съединение,

S_{ph} – сечението на фазовия проводник, mm^2

L – дължината, m

Защитата на кабела се осигурява при $I_m \leq I_{sc}$, където I_m е настройката на тока на задействане на автоматичния прекъсвач, А.

$$\text{В резултат } I_m \leq \frac{0.8 U}{Z_d} \quad \text{или} \quad L \leq \frac{0.8 U S_{ph}}{2\rho I_m}$$

където $U = 400 \text{ V}$.

$$\rho = 1,25 \times 0,018 = 0,023 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}^{(3)}$$

L_{\max} – максималната дължина на веригата, която може да бъде защитена, m.

$$L_{\max} = \frac{k S_{ph}}{I_m}$$

2 - Изчисляване на L_{\max} за трифазна четирипроводна верига при напрежение 230/400 V

Минимална стойност на I_{sc} ще се получи, когато късото съединение е между фазовия и нултурния проовдник.

Необходимото изчисление е подобно на това, в пример 1, но се използва следната формула (за кабели $S_{ph} \leq 120 \text{ mm}^2$ ⁽¹⁾).

■ Ако сеченията на фазовия и нултурния проводник са равни $S_n = S_{ph}$

$$L_{\max} = \frac{3,333 S_{ph}}{I_m}$$

■ Ако $S_n < S_{ph}$, тогава:

$$L_{\max} = 6,666 \frac{S_{ph}}{I_m} \frac{1}{1+m} \quad \text{където } m = \frac{S_{ph}}{S_n}$$

За по-големи сечения от тези, стойността на индуктивното съпротивление трябва да бъде събрана със стойността на активното съпротивление, за да се получи пълното съпротивление (виж Табл. G49). Индуктивното съпротивление на кабели може да се приеме $0,08 \text{ m}\Omega/\text{m}$ (при $f = 50 \text{ Hz}$) и $0,096 \text{ m}\Omega/\text{m}$ (при $f = 60 \text{ Hz}$).

(1) При по-голямо сечение, изчисленото съпротивление на проводниците, трябва да бъде увеличено поради нееднородната плътност на тока (от „скин“ ефекта и от ефекта на „близост“, създаван от непосредствено разположените натоварени с ток проводници).

Използват се следните стойности:

150 mm^2 : R + 15%;

185 mm^2 : R + 20%;

240 mm^2 : R + 25%;

300 mm^2 : R + 30%.

(2) Или за алуминий в съответствие с материала на проводника.

(3) Високата стойност на специфично съпротивление се предизвиква от повишената температура на проводника при протичане на тока на късо съединение.

Таблични стойности за Lmax

В Табл. G49 са дадени максималните дължини на вериги (Lmax), m, за:

- Трифазни четирипроводни вериги с напрежение 400 V (три фази и неутрала);
- Еднофазни двупроводни вериги с напрежение 230 V,

защитени с автоматични прекъсвачи с общо предназначение.

В други случаи, за определяне на максималните дължини се препоръчва използването на корекционен коефициент (виж Фиг. G53). Изчисленията се основават на показаните по-горе методи, а тока на задействане на автоматичния прекъсвач трябва да бъде в границите $\pm 20\%$ от регулируемата стойност Im.

За сечения 50 mm², изчисленията се основават на реално сечение 47.5 mm².

Таблица G49: Максимални дължини Lmax за медни проводници, m (за алуминиеви проводници дължините трябва да бъдат умножени с 0.62)

Ниво на задействане на тока Im на електромагнитния изключвател с мигновено действие, A	Номинално сечение на проводниците, mm ²														
	1.5	2.5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240
50	100	167	267	400											
63	79	133	212	317											
80	63	104	167	250	417										
100	50	83	133	200	333										
125	40	67	107	160	267	427									
160	31	52	83	125	208	333									
200	25	42	67	100	167	267	417								
250	20	33	53	80	133	213	333	467							
320	16	26	42	63	104	167	260	365	495						
400	13	21	33	50	83	133	208	292	396						
500	10	17	27	40	67	107	167	233	317						
560	9	15	24	36	60	95	149	208	283	417					
630	8	13	21	32	63	85	132	185	251	370					
700	7	12	19	29	48	76	119	167	226	333	452				
800	6	10	17	25	42	67	104	146	198	292	396				
875	6	10	15	23	38	61	95	133	181	267	362	457			
1000	5	8	13	20	33	53	83	117	158	233	317	400	435		
1120	4	7	12	18	30	48	74	104	141	208	283	357	388	459	
1250	4	7	11	16	27	43	67	93	127	187	253	320	348	411	
1600		5	8	13	21	33	52	73	99	146	198	250	272	321	400
2000		4	7	10	17	27	42	58	79	117	158	200	217	257	320
2500			5	8	13	21	33	47	63	93	127	160	174	206	256
3200			4	6	10	17	26	36	49	73	99	125	136	161	200
4000				5	8	13	21	29	40	58	79	100	109	128	160
5000				4	7	11	17	23	32	47	63	80	87	103	128
6300					5	8	13	19	25	37	50	63	69	82	102
8000					4	7	10	15	20	29	40	50	54	64	80
10000						5	8	12	16	23	32	40	43	51	64
12500						4	7	9	13	19	25	32	35	41	51

От Табл. G50 до Табл. G52, показани на следваща страница, са дадени максималните дължини на вериги Lmax, в m, за:

- Трифазни четирипроводни вериги с напрежение 400V (три фази и неутрала);
- Еднофазни двупроводни вериги с напрежение 230 V,

защитени и в двата случая с автоматични прекъсвачи за битови цели или с автоматични прекъсвачи, имащи подобни времетокови характеристики.

В други случаи, за определяне на максималните дължини се препоръчва използването на корекционен коефициент. Стойностите на този коефициент са показани на Фиг. G53 на следваща страница.

5 Частни случаи на къси съединения

Таблица G50: Максимална дължина на вериги с медни проводници, защитени с автоматични прекъсвачи с крива на действие B

Номинален ток на автоматични прекъсвачи, А	Сечение на проводниците, mm ²								
	1.5	2.5	4	6	10	16	25	35	50
6	200	333	533	800					
10	120	200	320	480	800				
16	75	125	200	300	500	800			
20	60	100	160	240	400	640			
25	48	80	128	192	320	512	800		
32	37	62	100	150	250	400	625	875	
40	30	50	80	120	200	320	500	700	
50	24	40	64	96	160	256	400	560	760
63	19	32	51	76	127	203	317	444	603
80	15	25	40	60	100	160	250	350	475
100	12	20	32	48	80	128	200	280	380
125	10	16	26	38	64	102	160	224	304

Таблица G51: Максимална дължина на вериги с медни проводници, защитени с автоматични прекъсвачи с крива на действие C

Номинален ток на автоматични прекъсвачи, А	Сечение на проводниците, mm ²								
	1.5	2.5	4	6	10	16	25	35	50
6	100	167	267	400	667				
10	60	100	160	240	400	640			
16	37	62	100	150	250	400	625	875	
20	30	50	80	120	200	320	500	700	
25	24	40	64	96	160	256	400	560	760
32	18.0	31	50	75	125	200	313	438	594
40	15.0	25	40	60	100	160	250	350	475
50	12.0	20	32	48	80	128	200	280	380
63	9.5	16.0	26	38	64	102	159	222	302
80	7.5	12.5	20	30	50	80	125	175	238
100	6.0	10.0	16.0	24	40	64	100	140	190
125	5.0	8.0	13.0	19.0	32	51	80	112	152

Таблица G52: Максимална дължина на вериги с медни проводници, защитени с автоматични прекъсвачи с крива на действие D

Номинален ток на автоматични прекъсвачи, А	Сечение на проводниците, mm ²								
	1.5	2.5	4	6	10	16	25	35	50
1	429	714							
2	214	357	571	857					
3	143	238	381	571	952				
4	107	179	286	429	714				
6	71	119	190	286	476	762			
10	43	71	114	171	286	457	714		
16	27	45	71	107	179	286	446	625	848
20	21	36	57	86	143	229	357	500	679
25	17.0	29	46	69	114	183	286	400	543
32	13.0	22	36	54	89	143	223	313	424
40	11.0	18.0	29	43	71	114	179	250	339
50	9.0	14.0	23	34	57	91	143	200	271
63	7.0	11.0	18.0	27	45	73	113	159	215
80	5.0	9.0	14.0	21	36	57	89	125	170
100	4.0	7.0	11.0	17.0	29	46	71	100	136
125	3.0	6.0	9.0	14.0	23	37	57	80	109

Таблица G53: Корекционен коефициент за дължини, отчетени от Табл. G50 до Табл. G52

Описание на веригата	
Трифазна трипроводна верига с напрежение 400V или (без неутрала)	1.73
Еднофазна двупроводна верига (фаза и нула) с напрежение 230 V	1
Трифазна четирипроводна верига с напрежение 230/400 V или S фаза / S неутрала = 1	1
двуфазна трипроводна верига с напрежение 230/400V (т.е. с неутрала) S фаза / S неутрала = 2	0.67

Забелжка: Стандартът IEC 60898 дава интервал с горна граница на изключване при ток на късо съединение равен на (10...50) In за автоматични прекъсвачи с крива на действие D. Европейските стандарти и Табл. G52 обаче са разработени за интервал (10...20) In, който е подходящ за по-голяма част от битовите и подобни на тях уредби.

Примери

Пример 1

В еднофазна двупроводна уредба, защитата се извършва чрез автоматичен прекъсвач 50А, тип NS80HMA. Настройката на задействане на автоматичния прекъсвач е 500 А ($\pm 20\%$), т.е. в най-лошия случай веригата трябва да се изключи при 600 А. Сечението на кабела е 10 mm², а проводника е изработен от мед. Колко е максималната дължина на веригата, която може да бъде защитена при тези условия?

От **Табл. G49** и колоната за I_m , при стойност за $I_m = 500$ А, се прекарва хоризонтална линия. За сечение на проводника 10 mm², се спуска вертикална линия и пресечната точка показва стойността на $L_{max} = 67$ m. Следователно автоматичният прекъсвач ще защитава кабела от къси съединение при условие, че дължината на веригата не надвишава 67 m.

Пример 2

В трифазна трипроводна верига с напрежение 400 V (без неутрален проводник), защитата се извършва чрез автоматичен прекъсвач 220 А, тип NS250H. Настройката на мигновената защита при ток на късо съединение за устройството от типа MA е 2000 А ($\pm 20\%$), т.е. в най-лошия случай изключването трябва да стане при 2400 А. Сечението на кабела е 120 mm², а проводника е изработен от мед. Колко е максималната дължина на веригата, която може да бъде защитена при тези условия?

От **Табл. G49** и колоната за I_m , при стойност за $I_m = 2000$ А, се прекарва хоризонтална линия. За сечение на проводника 120 mm², се спуска вертикална линия и пресечната точка показва стойността на $L_{max} = 200$ m. Тъй като това е трифазна трипроводна верига с напрежение 400 V без неутрален проводник, трябва да се използва корекционен коефициент от **Табл. G53**. Този коефициент е 1,73. Следователно автоматичният прекъсвач ще защитава кабела от къси съединение, ако дължината на веригата не надвишава $200 \cdot 1,73 = 346$ m.

Обикновено проверка за термична устойчивост на кабели не се изисква освен в случаите, когато кабели с малко сечение са разположени близо до главното разпределително табло или са свързани непосредствено него.

5.2 Проверка на кабели по ток на късо съединение (на термична устойчивост при къси съединения)

Топлинни ограничения

Когато токът на късо съединение не е продължителен (от няколко десетки части от секундата до максимум 5 s) отделената топлина остава в проводника и той се нагрива.

Ако се приеме, че процеса на нагриване е адиабатичен, то това предположение опростява пресмятанията и води до песимистични резултати, тъй като температурата на проводника се получава по-висока, отколкото е в действителност, защото на практика известно количество топлина напуска проводника и преминава в изолационния материал.

За период от 5 s или по-малко равенството $I^2t = k^2S^2$ показва времето в секунди, за което проводник със сечение S , в mm², може да издържи ток I , в А, преди температурата му да се повиши толкова, че да повреди изолационния материал. Коефициентът k^2 е показан в **Табл. G54** по-долу.

Методът за проверка се състои в проверяване на условието топлинната енергия

Таблица G54: Стойност на коефициента k^2

Изолация	Меден проводник	Алуминиев проводник
PVC	13,225	5,776
XLPE	20,449	8,836

I^2t от проводниковия материал, която пропуска автоматичния прекъсвач (от каталога на производителя) да бъде по-малка от установената разрешена енергия I^2t за даден проводник (виж **Табл. G55**).

Таблица G55 Максимално допустимо термично натоварване на кабели I^2t , A².s.10⁶

Сечение S , mm ²	PVC		XLPE	
	Мед	Алуминий	Мед	Алуминий
1.5	0.0297	0.0130	0.0460	0.0199
2.5	0.0826	0.0361	0.1278	0.0552
4	0.2116	0.0924	0.3272	0.1414
6	0.4761	0.2079	0.7362	0.3181
10	1.3225	0.5776	2.0450	0.8836
16	3.3856	1.4786	5.2350	2.2620
25	8.2656	3.6100	12.7806	5.5225
35	16.2006	7.0756	25.0500	10.8241
50	29.839	13.032	46.133	19.936

Пример

Може ли автоматичен прекъсвач C60N надеждно да защити кабел със сечение 4 mm^2 и изолация от типа XLPE?

Таблица G55 показва, че термичната устойчивост на кабела I^2t е $0,3272 \cdot 10^6$. В същото време, максималната „пропускателна“ способност на C60N е $I^2t < 0,1 \cdot 10^6 \text{ A}^2\text{s}$. Следователно $0,1 \cdot 10^6 < 0,3272 \cdot 10^6$ и кабелът ще бъде надеждно защитен от автоматичния прекъсвач при неговата пълна номинална изключвателна способност.

Ограничения по условия на динамично действие на тока на късо съединение

За всички типови вериги (отделни проводници или шини), е важно да се отчита електродинамичния фактор.

За да издържат електродинамичните натоварвания, проводниците трябва да бъдат здраво закрепени и съединени.

За шинопроводи и магистрални електропроводи, е важно да се провери, че характеристиките на електродинамична устойчивост, при протичане на ток на късо съединение са удовлетворителни. Максималната стойност на тока, ограничавана от автоматичния прекъсвач или стопяемия предпазител, трябва да бъде по-малка от съответната номинална стойност за шините. Като правило, производителите публикуват таблици с указания на адекватни условия на защита и експлоатация, което е основно предимство за тези системи.

6 Защитен заземяващ проводник (PE)

6.1 Схема на свързване и избор на проводника

Защитните заземяващи проводници (PE) осигуряват непрекъснато съединение между всички достъпни принадлежащи и чужди токопроводими части на уредбата, за да създадат непрекъсната екипотенциална система. По такива проводници протича електрически ток при пробив в изоляцията (между фазов проводник и достъпна токопроводима част) към заземената неутрала на източника. Защитните проводници се свързват към главната заземителна клемма на уредбата.

Главната заземителна клемма е свързана към заземителя (виж Глава Е) чрез заземяващ проводник (в САЩ – проводник на заземяващия електрод).

Заземяващи проводници трябва да бъдат:

- Покрити с изолационен материал и оцветени в жълт и зелен цвят (на ивици);
- Защитени от механични и химични въздействия.

За схема на заземяване IT и TN се препоръчва PE проводниците да се полагат в непосредствена близост до тоководещите кабели на съответните вериги (т.е. в една тръба, в същите канали, на същата кабелна скара и др.). Това разположение осигурява минимално възможно индуктивно съпротивление във веригите, по които протича тока на земно съединение. Необходимо е да се отбележи, че това условие винаги се изпълнява при шинопроводните системи.

Свързване

Защитните проводници трябва:

- Да не включват никакви устройства, които могат да нарушат непрекъснатостта на веригата (например, прекъсвач, изваждаеми елементи и др.).
- Да присъединяват индивидуално достъпните токопроводими части към главния PE проводник, при това паралелно, а не последователно (виж **Фиг. G56**).
- Да имат отделна клемма на главните заземителни шини в разпределителните табла

При TT схема

Защитният проводник (PE) не трябва задължително да се полага в непосредствена близост до тоководещ проводник от съответната верига, тъй като не се изискват големи стойности на тока на земно съединение, за да заработи дефектнотокова защита (RCD), която се използва при уредби със схема на заземяване TT.

При IT и TN схеми

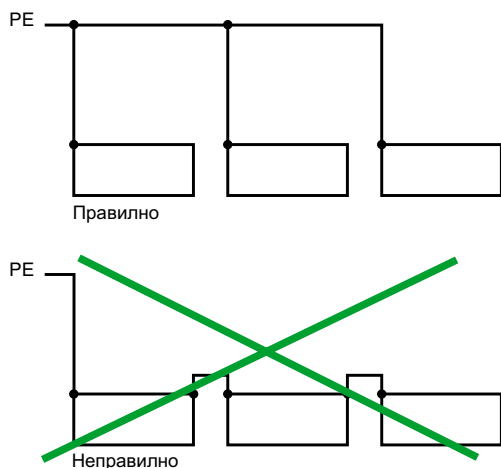
Защитният (PE) или защитният неутрален (PEN) проводник, както се отбеляза по-рано трябва да се полагат колкото се може по-близко до съответните тоководещи проводници на веригата и между тях не трябва да има феромагнитен материал. Защитният неутрален проводник (PEN) винаги трябва да се свързва непосредствено към заземителната клемма на устройството и има с връзка между клемите на неутралата и на заземяването на самото устройство (виж **Фиг. G57**).

- Схемата TN-C (неутралният и защитният проводник са обединени в един общ защитен неутрален проводник (PEN))

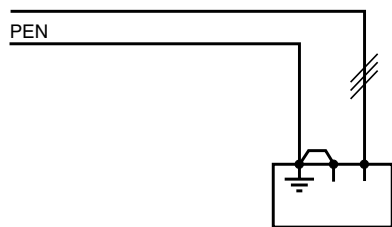
Защитната функция на PEN проводника е с по-висок приоритет и затова всички правила, използвани към защитните проводници, се прилагат стриктно към PEN проводници.

- Преминаване от TN-C в схема TN-S

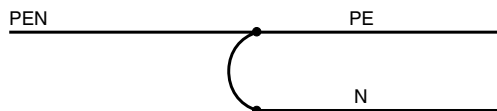
Защитният проводник (PE) се свързва към PEN клемата или шината обикновено на входа на уредбата (виж **Фиг. G58**). След точката на разделяне, PE-проводникът не трябва да се съединява с неутралния проводник (N).



Фиг. G56: Не се допуска последователно свързване на уреди чрез PE-проводник



Фиг. G57: Директно свързване на PEN-проводник към заземителна клемма на устройство



Фиг. G58: Схема TN-C-S

Типове на материали

Всички материали, изброени по-долу в Табл. G59, могат да се използват за заземяващи проводници при условие, че изпълняват условията, посочени в последната колона.

Таблица G59: Избор на защитни проводници (PE)

Тип на защитния проводник (PE)	Схема IT	Схема TN	Схема TT	Условия, които трябва да се изпълняват
Допълнителен В същия кабел заедно с фазовите проводници или в същото кабелно трасе	Препоръчва се силно	Препоръчва се силно	Правилно	Защитният проводник (PE) трябва да има същото ниво на изолация, както и фазовите проводници
Независимо от фазовите проводници	Възможно (1)	Възможно (1) (2)	Правилно	■ Защитният проводник (PE) може да бъде неизолиран или изолиран (2) ■ Непрекъснатостта на проводника трябва да бъде осигурена от защита срещу повреди, свързани с механични, химични и електро-механични въздействия
Метален кожух на шинопровод или други изолирани токопроводи (5)	Възможно (3)	Възможен PE проводник (3) Възможен PEN проводник (6)	Правилно	
Външно покритие на открити проводници с минерална изолация (например, кабели тип «ругоtenax»)	Възможно (3)	Възможен PE проводник (3) Не се препоръчва PEN проводник (2) (3)	Възможно	
Определени чужди токопроводими елементи (6), например: ■ Стоманени строителни конструкции ■ Основи на машини ■ Водопроводи (7)	Възможно (4)	Възможен PE проводник (4) Забранен PEN проводник	Възможно	■ Тяхната електропроводимост трябва да бъде адекватна
Метални кабелопроводи, такива като тръбопроводи (9), канали, скари, лавици и др.	Възможно (4)	Възможен PE проводник (4) Не се препоръчва PEN проводник (2) (4)	Възможно	

Забранява се използването в качеството на PE проводници на: метални тръбопроводи(9), газопроводи, тръбопроводи за гореща вода, защитната метална обвивка на кабел (ленти или оплетки)(9)

- (1) В схемите TN и IT, изключването при ток на повреда обикновено се осъществява от устройства за максималнотокова защита (стопяем предпазител или прекъсвач). Затова съпротивлението на контура на тока на повреда трябва да бъде достатъчно малко, за да осигури правилна работа на защитното реле. Най-надеждното средство да се осигури малко съпротивление на контура е да се използва допълнителен проводник в същия кабел за веригата (или да се положи по същото трасе на веригата). Този подход минимизира индуктивното съпротивление, а следователно и пълното съпротивление на контура.
- (2) PEN-проводникът е неутрален проводник, който се използва и за защитен заземяващ проводник. Това означава, че токът може да протича в него по всяко време (при отсъствие на земно съпротивление). Поради тази причина в качество на PEN-проводник се препоръчва използването на изолиран проводник.
- (3) Производителят предоставя необходимите стойности за елементите на съпротивленията R и X (фаза/PE, фаза/PEN), които се включват при изчисляване пълното съпротивление на контура на късо съединение към земя.
- (4) Възможно е, но не се препоръчва, тъй като пълното съпротивление на контура на късо съединение към земя, на стадий проектиране е неизвестно. Провеждане на измервания на вече изградената уредба е единственото практическо средство за осигуряване на адекватна защита на хората срещу поражения с електрически ток.
- (5) Трябва да има възможност за включване на други заземяващи проводници. Забележка: Тези елементи трябва да имат цветова индикация под формата на жълти и зелени ивици, с дължина от 15 до 100 mm (или буквена маркировка „PE“ на разстояние до 15 cm от всеки край).
- (6) Тези елементи могат да се демонтират, само ако са установени други елементи, осигуряващи непрекъснатост на защитата.
- (7) При съгласие на съответните органи, отговарящи за водоснабдяване.
- (8) В изолираните шинопроводи и др. подобни елементи, металният кожух може да се използва, като PEN-проводник, включен паралелно със съответната шина или друг заземяващ проводник в дадения кожух.
- (9) Забранено е само в някои страни. Обикновено е позволено да се използват като допълнителни еквипотенциални проводници.

6.2 Оразмеряване на проводника

Данните в Табл. G60 са от стандарт IEC 60364-5-54. Тази таблица осигурява два метода за определяне подходящо сечение на PE- или PEN-проводника.

Таблица G60: Минимално сечение на защитни проводници

	Сечение на фазови проводници S_{ph} , mm ²	Минимално сечение на PE-проводник, mm ²	Минимално сечение на PEN-проводник, mm ²	
			Cu	Al
Опростен метод (1)	$S_{ph} \leq 16$	$S_{ph}^{(2)}$	$S_{ph}^{(3)}$	$S_{ph}^{(3)}$
	$16 < S_{ph} \leq 25$	16	16	25
	$25 < S_{ph} \leq 35$			
	$35 < S_{ph} \leq 50$	$S_{ph}/2$	$S_{ph}/2$	$S_{ph}/2$
$S_{ph} > 50$				
Адиабатичен метод	Всеки размер	$S_{PE/PEN} = \frac{\sqrt{I^2 \cdot t}}{k}^{(3) (4)}$		

- (1) Данните са валидни, ако предлагания проводник е изпълнен от същия материал, както и фазовия проводник. В противен случай е необходимо да се използва корекционен коефициент.
- (2) Когато PE-проводникът е отделен от фазовите проводници на веригата е необходимо да се спазват следните минимални стойности:
■ 2.5 mm² ако PE-проводникът е механически защитен;
■ 4 mm² ако PE-проводникът не е механически защитен;
- (3) От условието за механическа якост PEN-проводникът трябва да има сечение не по-малко от 10 mm², ако е изпълнен от мед, или 16 mm², ако е изпълнен от алуминий.
- (4) Използването на дадената формула е показано в Табл. G55.

6 Защитен заземяващ проводник (РЕ)

Описание на двата метода:

■ Адиабатичен (съвпада с описания в IEC 60724)

Този метод, достатъчно икономичен и осигуряващ защита на проводника от прегряване, дава в резултат по-малки стойности на сечения в сравнение с фазовите проводници на веригата. Понякога, резултатът е несъвместим с необходимостта в схеми IT и TN да се минимизира пълното съпротивление на контура на късо съединение към земя, за да се осигури правилна работа на бързодействащите максималнотокови релета. Този метод се използва на практика за уредби от типа TT и за определяне размера на заземяващия проводник ⁽¹⁾.

■ Опростен

Този метод е основан на връзката между сеченията на защитните проводници и сеченията на фазните проводници на съответната верига, и предполага, че във всеки случай се използва един и същи материал за проводника.

По такъв начин в **Табл. G60** за:

$$S_{ph} \leq 16 \text{ mm}^2 \quad S_{PE} = S_{ph}$$

$$16 < S_{ph} \leq 35 \text{ mm}^2 \quad S_{PE} = 16 \text{ mm}^2$$

$$S_{ph} > 35 \text{ mm}^2 \quad S_{PE} = \frac{S_{ph}}{2}$$

Забележка: Когато в схема TT заземителят на уредбата се намира извън зоната на влияние на заземителя на източника, сечението на защитния проводник може да се ограничи до 25 mm² (за мед) или 35 mm² (за алуминий).

Неутралният проводник може да се използва като PEN-проводник само тогава, когато неговото сечение е равно или по-голямо от 10 mm² (за мед) или 16 mm² (за алуминий).

Освен това, използването на PEN-проводник от гъвкав кабел не се разрешава. Тъй като PEN-проводникът също действа в качеството си на неутрален проводник, неговото сечение във всеки случай не може да бъде по-малко, от сечението, необходимо за неутралния проводник, съгласно т.7.1 на тази Глава. Това сечение не може да бъде по-малко от сечението на фазовите проводници освен в случаите:

■ Номиналната мощност, в kVA, на еднофазни товари е по-малка от 10 % от общата стойност на товара, в kVA.

■ Токът I_m, който се очаква да протича през неутралата при нормални обстоятелства е по-малък от тока, допустим за избраното сечение на кабела.

Освен това, неутралният проводник се защитава със същите защитни устройства, както и фазовите проводници (виж т.7.2 на тази Глава).

Стойности на коефициента k при използване в формулата (виж Табл. G60)

Тези стойности са еднакви за няколко национални стандарти. Диапазоните на превишаване на температурата, отчетени със стойностите на коефициента k и горните граници на температурата за различни класове на изолация, съответстват на стойностите, публикувани в IEC 60724 (1984). Данните, представени в **Табл. G61**, се използват най-често при проектиране на уредба НН.

Таблица G61: Стойности на коефициента k за защитни РЕ-проводници НН, обикновено използвани в национални стандарти и удовлетворяващи стандарт IEC 60724

Стойности на коефициента k	Тип на изолация	
	Поливинилхлорид (PVC)	Омрежен полиетилен (XLPE) Етилен-пропиленов каучук (EPR)
Крайна температура, °C	160	250
Начална температура, °C	30	30
Изолиран проводник, неуграден в кабел, или неизолиран проводник в контакт с обвивка на кабел	Мед	143
	Алуминий	95
Проводник на многожилен кабел	Мед	52
	Алуминий	64
Проводник на многожилен кабел	Мед	115
	Алуминий	76
		143
		94

(1) Заземителен проводник.

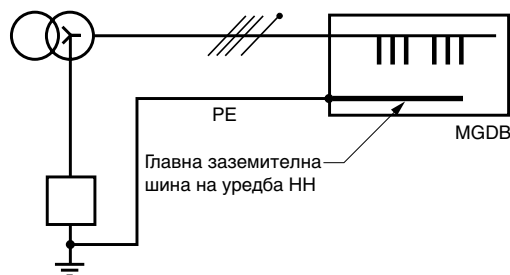
6 Защитен заземяващ проводник (PE)

6.3 Защитен проводник между понижаващ трансформатор СрН/НН и главно разпределително табло (MGDB)

Тези проводници трябва да бъдат оразмерени съгласно приетите национални практики.

Всички фазови и неутрални проводници, разположени нагоре по веригата от главния входен автоматичен прекъсвач, който контролира и защитава главното разпределително табло (MGDB) са защитени с устройства, разположени на страна СрН на трансформатора. Тези проводници, включително и защитния проводник, трябва да бъдат подходящо оразмерени. Определянето на размерите на фазовите и неутралния проводници, излизащи от трансформатора, е обяснено с примери в т.8 от тази Глава (за верига С1 от системата, показана на Фиг. G68).

Препоръчаните размери за изолирани и неизолирани PE-проводници, излизащи от звездния център на трансформатор, показан на Фиг. G62, са изчислени по-долу в Табл.G63. Отчитаната номинална мощност, в kVA, е сума от всички (ако са повече от един) мощности на трансформаторите, включени към общо MGDB.



Фиг. G62: Защитен PE-проводник към главна заземителна шина на главно разпределително табло (MGDB)

Таблицата показва сечението на PE-проводниците, в mm², в зависимост от:

- Номиналната мощност на понижаващия трансформатор, в kVA;
- Времето за отстраняване на повредата от високоволтови релета за защита, в s;
- Типът на изолацията и на материалите на проводниците.

Ако защитата СрН е изпълнена със стопяеми предпазители използвайте колонка „0,2 s“.

В схемите IT, ако се монтира защитно реле срещу увеличено напрежение (между нулевата точка на трансформатора и земята), размерите на проводниците за свързване с устройството трябва да бъдат определени по същия начин, както е описано по-горе за PE-проводниците.

Таблица G63: Сечение на PE-проводника между понижаващия трансформатор и главното разпределително табло в зависимост от номиналната мощност на трансформатора и времето за отстраняване на повредата t, в s

Номинална мощност, kVA (230/400 V)	Материал на проводника	Неизолирани Проводници с						Проводници с						
		проводници		изоляция от PVC		изоляция от XLPE								
		0.2	0.5	-	0.2	0.5	-	0.2	0.5	-				
	Мед	t, s												
	Алуминий	t, s	-	0.2	0.5	-	0.2	0.5	-	0.2	0.5	-	0.2	0.5
≤100	Сечение на PE-проводниците S _{PE} , mm ²		25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
160			25	25	35	25	25	50	25	25	35			
200			25	35	50	25	35	50	25	25	50			
250			25	35	70	35	50	70	25	35	50			
315			35	50	70	35	50	95	35	50	70			
400			50	70	95	50	70	95	35	50	95			
500			50	70	120	70	95	120	50	70	95			
630			70	95	150	70	95	150	70	95	120			
800			70	120	150	95	120	185	70	95	150			
1,000			95	120	185	95	120	185	70	120	150			
1,250			95	150	185	120	150	240	95	120	185			

6 Защитен заземяващ проводник (РЕ)

6.4 Проводник за изравняване на потенциалите Главен еквипотенциален проводник

Обикновено този проводник трябва да има сечение, равно, поне на половината от сечението на най-големия РЕ-проводник. То не трябва да превишава 25 mm² (за мед) или 35 mm² (за алуминий). Минималното сечение на проводника е 6 mm² (за мед) или 10 mm² (за алуминий).

Допълнителен еквипотенциален проводник

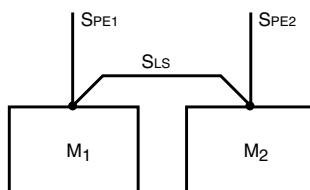
Този проводник позволява да се съединят достъпни токопроводими части, които са отдалечени от главния еквипотенциален проводник (РЕ-проводник), към местния защитен проводник. Неговото сечение трябва да бъде равно, поне на половината от сечението на защитния проводник, към който той е свързан.

Ако той съединява две достъпни токопроводими части (M1 и M2 на **Фиг. G64**), неговото сечение трябва да бъде поне равно или по-малко, от сечението на двата РЕ-проводника (за M1 и M2). Еквипотенциалните проводници, които не са вградени в кабели, трябва да бъдат защитени от механични повреди (полагане в канали, тръби и др.), там, където това е възможно.

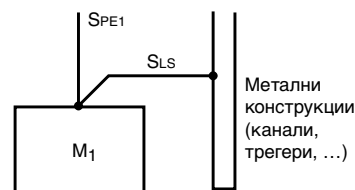
Друга важна цел при използване на допълнителни еквипотенциални проводници е намаляването на пълното съпротивление на контура към земя, особено за схеми за защита срещу индиректен допир в уредби със заземяване TN или IT, и специални места с повишен риск от поражение от електрически ток (съгласно IEC 60364-4-41).

G41

Между две достъпни токопроводими части ако $S_{PE1} \leq S_{PE2}$ тогава $S_{LS} = S_{PE1}$



Между две достъпна токопроводима част и метална конструкция $S_{LS} = \frac{S_{PE}}{2}$



Фиг. G64: Допълнителни еквипотенциални проводници

Сечението и защитата на неутралния проводник освен от изискванията за пропускателна способност по ток, зависят от следните фактори:

- Тип на схемата за заземяване – TT, TN и др.;
- Хармонични токове;
- Метод за защита срещу индиректен директен допир, в съответствие с методите, описани по-горе.

Неутралният проводник, съгласно правилата, трябва да бъде в син цвят.

Изолираният проводник трябва да се означава по един от следните начини:

- Жълто зелена ивица по цялата дължина, и синя маркировка в двата края, или
- Син по цялата дължина, и допълнително жълто зелени маркировки на двата края.

7.1 Оразмеряване на неутрален проводник

Влияние на типа на схемата за заземяване

Схеми TT и TN-S

■ Еднофазни вериги или такива със сечение на проводниците $\leq 16 \text{ mm}^2$ (за мед) и 25 mm^2 (за алуминий): сечението на неутралния проводник трябва да бъде равно на сечението на фазовия проводник.

■ Трифазни вериги със сечение на проводниците $> 16 \text{ mm}^2$ (за мед) и $> 25 \text{ mm}^2$ (за алуминий): сечението на неутралния проводник може да бъде:

□ равно на сечението на фазовите проводници, или

□ по-малко при условие, че:

- токът, който се очаква, че ще протича през неутралата при нормални условия, е по-малък от допустимата стойност I_z . Влиянието на хармоници, кратни на три⁽¹⁾ трябва да се отчита, или

- неутралният проводник трябва да бъде защитен от късо съединение в съответствие с т.7.2

- минималното сечение на неутралния проводник е 16 mm^2 (за мед) и 25 mm^2 (за алуминий).

Схема TN-C

В теорията се използват същите условия, които са описани по-горе, но на практика неутралния проводник не трябва да бъде прекъснат в никакъв случай, тъй като изпълнява функциите на PE- и N-проводник (виж Табл. G60 колона „Сечение на PEN-проводника“).

Схема IT

Като цяло, не се препоръчва да се разпределя неутралния проводник, т.е. трифазната трипроводна схема е за предпочитане. Когато е необходима трифазна четирипроводна уредба, се използват условията, описани по-горе за схеми TT и TN-S.

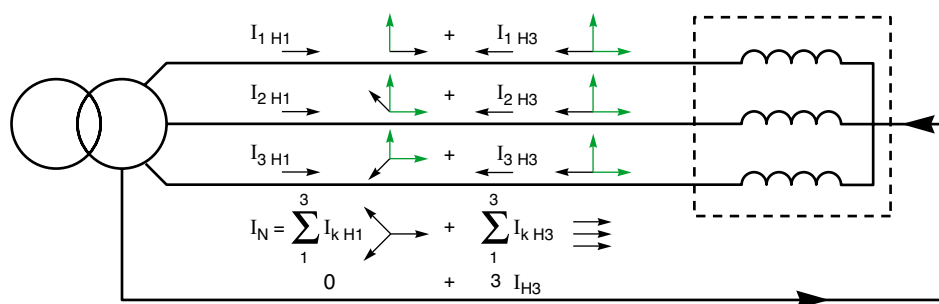
Влияние на хармоничните токове

Влияния на трети хармоник и неговите кратни

Хармоничните токове се генерират от нелинейни товари, включени към уредбата (компютри, луминесцентно осветление, изправители, електронни прекъсвачи) и могат да предизвикат големи токове в неутралния проводник. Особено третият хармоник и неговите кратни, в трифазни уредби проявяват тенденция да се сумират в неутралата, тъй като:

- Основните токове са дефазирани на ъгъл 120° и затова тяхната сума е нула;
- От друга страна, хармониците от трети ред на всички фази винаги се позиционират по еднакъв начин спрямо своите основни токове и затова съвпадат по фаза един с друг (виж Фиг. G65a).

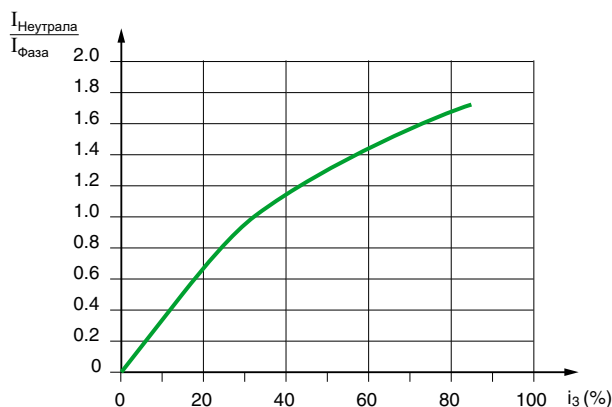
(1) Хармоници от трети ред и кратните им.



Фиг. G65a: Хармониците от трети ред съвпадат по фаза и се сумират в неутралния проводник

Фигура G65b показва зависимостта на коефициента на натоварване на неутрален проводник от наличието на трети хармоник на тока.

На практика, максималната стойност на коефициента на натоварване не може да е по-голяма от $\sqrt{3}$.



Фиг. G65b: Зависимост между коефициента на натоварване на неутралния проводник и третия хармоник на тока

G43

Коефициенти на намаляване за хармонични токове в четири- и петжилни кабели, когато протича ток по четири жила

Базовите пресмятания на кабели се отнасят само за кабели с три тоководещи жила, т.е. по неутралния проводник не протича ток. Но поради третия хармоник на тока, в неутралния проводник протича ток. В резултат, този ток в неутралния проводник повишава температурата на фазовите проводници и следователно е необходимо да се използва коефициент на намаляване при оразмеряване на фазовите проводници (виж **Табл. G66**).

Коефициентите на намаляване, използвани при изчисляване на пропускателната способност по ток на кабел с три тоководещи проводника, дават пропускателна способност на кабел с четири тоководещи проводника, когато в четвъртия проводник протича хармоничен ток. Коефициентите на намаляване се вземат под внимание при нагряване на проводници поради хармонични токове:

- Там, където се очаква, че токът в неутралата ще бъде по-голям от тока във фазовите проводници, сечението на кабела трябва да се определя от тока в неутралния проводник;
- Там, където сечението на жилото на кабела е определено от тока в неутралата, който незначително надвишава фазовия ток, е необходимо да се намали стойността на пропускателната способност по ток за трите фазови жила;
- Ако токът в неутралния проводник е по-голям от 1,35 пъти от фазовите токове и сечението на кабела се избира от тока в неутралата, трите фазови проводници няма да бъдат напълно натоварени.

Намаляването на топлината, отделяна от фазовите проводници намалява топлината, отделяна от неутралния проводник до такава степен, че не е нужно да се използва коефициент на намаляване пропускателната способност по ток за трите натоварени проводника.

Таблица G66: Коефициенти на намаляване поради хармонични токове в четири- и петжилни кабели (съгласно IEC 60364-5-52)

Трета хармонична съставляваща на фазовия ток, %	Коефициент на намаляване	
	Оразмеряване, отчитащо големината на тока във фазовия проводник	Оразмеряване, отчитащо големината на тока в неутралния проводник
0 - 15	1.0	-
15 - 33	0.86	-
33 - 45	-	0.86
> 45	-	1.0

Примери

Разглежда се трифазна верига с изчислителен товар 37 А, в която се използва четирижilen кабел с изолация от PVC, закрепен към стена, метод на монтаж „С“. Съгласно Табл. G24, кабел с медни проводници и сечение 6 mm² има пропускателна способност по ток 40 А и е допустим, ако във веригата не присъстват хармоници.

■ Ако третият хармоник на тока е с големина 20 % се използва коефициент на намаляване 0,86 и за разчетния товар се получава: $37/0,86 = 43$ А.

За този товар трябва да се използва меден кабел със сечение 10 mm².

■ Ако третият хармоник на тока е с големина 40 %, сечението на кабела се избира в зависимост от стойността на тока в неутралния проводник, който е: $37 \times 0,4 \times 3 = 44,4$ А. При коефициент на намаляване 0,86, се получава изчислителен товар: $44,4/0,86 = 51,6$ А.

За този товар трябва да се използва меден кабел със сечение 10 mm².

■ Ако третият хармоник на тока е с големина 50 %, сечението на кабела се избира в зависимост от стойността на тока в неутралния проводник, който е: $37 \times 0,5 \times 3 = 55,5$ А. В този случай коефициентът на намаляване е 1 трябва да се използва меден кабел със сечение 16 mm².

G44

7.2 Защита на неутралния проводник

(виж Табл. G67 на следваща страница)

**Защита срещу претоварване**

Ако сечението на неутралния проводник е избрано правилно (отчетени хармоници), не е нужна специална защита на неутралния проводник. Той се защитава от устройствата за защита на фазовите проводници.

Обаче, на практика, ако сечението на неутралния проводник е по-малко от сечението на фазовия проводник, трябва да бъде монтирана защита на неутралния проводник срещу претоварване.

**Защита срещу късо съединение**

Ако сечението на неутралния проводник е по-малко от сечението на фазовия проводник той трябва да бъде защитен срещу късо съединение.

Ако сечението на неутралния проводник е равно или по-голямо от сечението на фазовия проводник, не се изисква специална защита на неутралния проводник. Той се защитава от устройствата за защита на фазовите проводници.

**7.3 Изключване на неутралния проводник**

(виж Табл. G67 на следваща страница)

Необходимостта да се изключва или не неутралния проводник, е свързана със защитата срещу индиректен допир.

В схема TN-C

Неутралният проводник при никакви обстоятелства не трябва да се прекъсва, тъй като той изпълнява функциите на защитен и неутрален проводник.

В схема TT, TN-S и IT

В случай на авария автоматичният прекъсвач на веригата изключва всички полюси, включително и неутралния.

В случай на защита със стопяеми предпазители, това действие може да бъде постигнато само чрез косвен начин, когато задействането на един или повече предпазители, води до механично разединяване на всички полюси в съответния последователно свързан товаров прекъсвач.

**7.4 Изолация (разединяване) на неутралния проводник**

(виж Табл. G67 на следваща страница)

Смята се за добра практика, когато всяка верига има изолация (разединяване) на неутралния проводник.

Таблица G67: Различни ситуации, свързани с предназначението на неутралния проводник

	TT	TN-C	TN-S	IT
Една фаза (фаза-нула)				
Една фаза (фаза-фаза)				
Три фази четири проводника $S_n \geq S_{ph}$				
Три фази четири проводника $S_n < S_{ph}$				

(A) Разрешена за схеми TT или TN-S, ако е монтирана дефектнотокова защита (RCD) в началото на веригата, или по-нагоре, и отсъства допълнителен неутрален проводник по веригата след точката на защита.

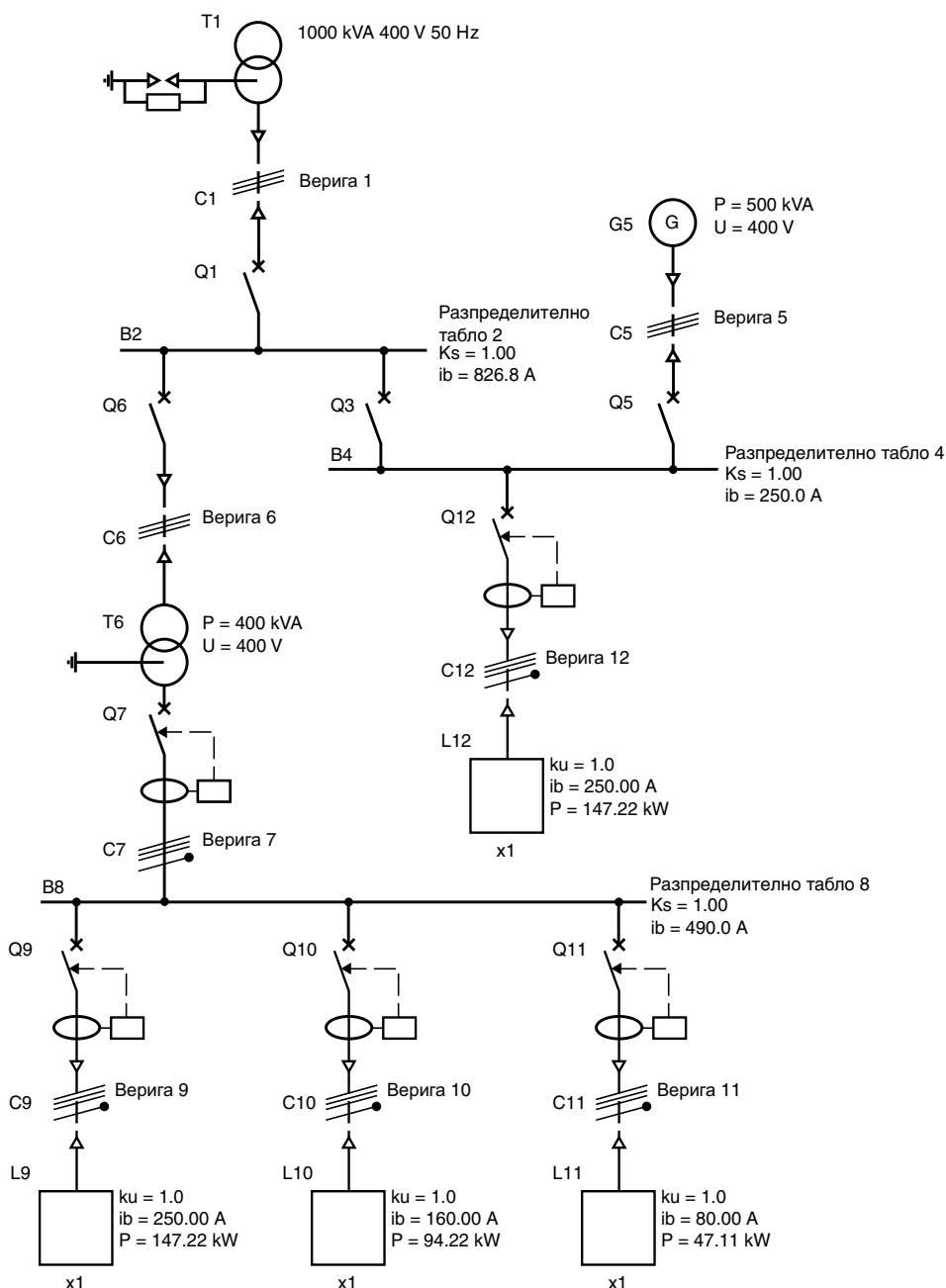
(B) Защитата на неутралния проводник от претоварване по ток не е необходима:

- Ако неутралният проводник е защитен от късо съединение с помощта на устройства, монтирани нагоре по веригата, или
- Ако веригата има защита тип RCD, чувствителността на която е под 15 % от допустимия ток в неутралата.

8 Работен пример за изчисляване на кабели

Работен пример за оразмеряване на кабели (виж Фиг. G68)

Уредбата получава захранване от трансформатор с номинална мощност 1000 kVA. Процесът изисква висока степен на непрекъсваемост на електрозахранването. Тя се осигурява от резервен генератор с мощност 500 kVA, 400 V и избор на трифазна трипроводна система със схема на заземяване IT на главно разпределително табло (MGDB). Останалата част на уредбата е свързана през разделителен трансформатор НН/НН с мощност 400 kVA, 400 V. Изолираната трифазна четирипроводна мрежа е заземена по схема TT. Еднолинейната схема на дадената мрежа е показана по-долу на **Фиг. G68**. Тя е оразмерена с помощта на компютърната програма Ecodial 3.3. (продукт на Schneider Electric), с която са определени параметрите на веригата C1, автоматичният прекъсвач Q1, веригата C6 и автоматичният прекъсвач Q6. По-долу са посочени самите изчисления, изпълнени по метод, описан в даденото Ръководство.



Фиг. G68: Пример за еднолинейна схема на електрическа уредба

Изчисления, реализирани с програмата Ecodial

Общи характеристики на мрежата		Шини В2	
Схема на заземяване	IT	Ток на максимално натоварване, А	1 374
Разпределена неутрала	Ne	Тип	Стандартна по ширина
Напрежение, V	400	Температура на околната среда, °C	30
Честота, Hz	50	Размери (m и mm)	1 m 2x5 mm x 63 mm
Трансформатор Т1		Материал	Мед
Трансформатори, бр.	1	Ток на трифазно късо съединение I _{k3} , kA	23
Мощност на късо съединение на горно ниво, MVA	500	Амплитуда на тока при трифазно късо съединение I _k , kA	48
Номинална пълна мощност, kVA	1 000	Съпротивление на шина R, mΩ	2.52
Напрежение на късо съединение, %	6	Реактивно съпротивление X на шина R, mΩ	10.8
Активно съпротивление на мрежа СрН, mΩ	0.0351	Автоматичен прекъсвач Q6	
Реактивно съпротивление на мрежа СрН, mΩ	0.351	Ток при трифазно късо съединение I _{k3} нагоре по веригата над автоматичния прекъсвач, kA	23
Активно съпротивление на трансформатор R _t , mΩ	2.293	Максимален ток, А	560
Реактивно съпротивление на трансформатор X _t , mΩ	10.333	Брой на полюси и защитени полюси	3P3D
Ток при трифазно късо съединение I _{k3} , kA	23.3	Автоматичен прекъсвач	NS800
Кабел С1		Тип	N – 50 kA
Максимален ток, А	1 374	Тип на защитното устройство	Micrologic 2.0
Тип на изолация	PVC	Номинален ток, А	800
Материал на проводника	Мед	Граница на селективност, kA	Обща
Температура на околна среда, °C	30	Кабел С6	
Едно- или многожилен кабел	Едножилен	Максимален ток, А	560
Начин на полагане на кабела	F	Тип на изолация	PVC
Брой на вериги в непосредствена близост (Табл. G21b)	1	Материал на проводника	Мед
Друг коефициент	1	Температура на околна среда, °C	30
Избрано напречно сечение, mm ²	6 x 95	Едно- или многожилен кабел	Едножилен
Защитен проводник	1 x 120	Начин на полагане на кабела	F
Дължина, m	5	Брой на вериги в непосредствена близост (Табл. G20)	1
Пад на напрежение ΔU, %	.122	Друг коефициент	1
Общ пад на напрежение ΔU total (%)	.122	Избрано напречно сечение, mm ²	1 x 300
Ток на трифазно късо съединение I _{k3} , kA	23	Защитен проводник	1 x 150
Ток на еднофазно късо съединение към земя I _d , kA	17	Дължина, m	15
Автоматичен прекъсвач Q1		Пад на напрежение ΔU, %	0.38
Ток при трифазно късо съединение I _{k3} нагоре по веригата над автоматичния прекъсвач, kA	23	Общ пад на напрежение ΔU, %	0.54
Максимален ток, А	1 374	Ток на трифазно късо съединение I _{k3} , kA	20
Брой на полюси и защитени полюси	3P3D	Ток на еднофазно късо съединение към земя I _d , kA	13.7
Автоматичен прекъсвач	NT 16	Специално ограничение на размера	Претоварвания
Тип	N 1 – 42 kA		
Тип на защитното устройство	Micrologic 5 A		
Номинален ток, А	1 600		

Фиг. G69: Частични резултати от изчисления, извършени с програмата Ecodial software (Merlin Gerin)

3.3 Подобни изчисления реализирани чрез опростен метод, препоръчан в това Ръководство

Определяне параметрите на веригата С1

Понижаващият трансформатор СрН/НН с мощност 1000 kVA има номинално напрежение на празен ход 420 V. Веригата С1 трябва да бъде в състояние да пропусне ток:

$$I_B = \frac{1.000 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 420} = 1\,374 \text{ A за фаза}$$

За всяка фаза ще бъдат използвани шест паралелно свързани едножилни кабели с медни жила и изолация от PVC. Тези кабели се полагат на кабелни скари, съгласно метод на монтаж F. Корекционните коефициенти „k” са:

k₁ = 1 (виж Табл. G12, температура на околната среда 30 °C)

k₄ = 0.87 (виж Табл. G17, кабели разположени в непосредствена близост на скари)

Други корекционни коефициенти не се използват в този пример.

Коригираната стойност на товарния ток е:

$$I'_B = \frac{I_B}{k_1 \cdot k_4} = \frac{1\,374}{0.87} = 1\,579 \text{ A}$$

8 Работен пример за изчисляване на кабели

Следователно, всеки проводник ще пропуска ток 263 A.

От **Табл. G21a** се намира, че необходимото сечението на кабела е 95 mm². Активните и реактивни съпротивления за шестте проводника, свързани в паралел, за участък с дължина 5 m са:

$$R = \frac{22.5 \times 5}{95 \times 6} = 0.20 \text{ m}\Omega \text{ (специфично активно съпротивление на кабела: } 22,5 \text{ m}\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m})$$

$$X = 0,08 \times 5 = 0.40 \text{ m}\Omega \text{ (специфично индуктивно съпротивление на кабела: } 0,08 \text{ m}\Omega/\text{m})$$

Определяне параметрите на веригата С6

Веригата С6 захранва трифазен разделителен трансформатор НН/НН с мощност 400 kVA, 400 V/400 V. Токът в първичната намотка е:

$$\text{Първичният ток} = \frac{400 \cdot 10^3}{420 \cdot \sqrt{3}} = 550 \text{ A}$$

Предлага се използването на едножилен кабел, положен на кабелна скара (без други кабели) при температура на околната среда 30 °C. Автоматичният прекъсвач е настроен на 560 A. Методът на монтаж е тип F, а всички корекционни коефициенти са равни на 1.

Подходящо сечение на кабела е 240 mm².

Активното и реактивното съпротивление на кабела са съответно:

$$R = \frac{22.5 \times 15}{240} = 1.4 \text{ m}\Omega$$

$$X = 0.08 \times 15 = 1.2 \text{ m}\Omega$$

Изчисляване токовете на къси съединения при избор на автоматични прекъсвачи Q1 и Q6 (виж Табл. G70)

Таблица G70: Пример за изчисляване ток на късо съединение

Елементи на веригата	R, mΩ	X, mΩ	Z, mΩ	I _{kmax} , kA
500 MVA на страна CpH	0.04	0.36		
Трансформатор с мощност 1 MVA	2.2	9.8	10.0	23
Кабел С1	0.20	0.4		
Общо за Q1:	2.44	10.6	10.9	23
Шина В2	3.6	7.2		
Кабел С6	1.4	1.2		
Общо за Q6:	4.0	8.4	9.3	20

Защитен проводник

Изисквания за термична устойчивост: **Таблицы G60** и **G61** показват, че при използване на адиабатичен метод, напречното сечение на защитния заземяващ проводник (РЕ-проводник) за верига С1 ще бъде равно на:

$$\frac{34\,800 \times \sqrt{0.2}}{143} = 108 \text{ mm}^2$$

Следователно проводник със сечение 120 mm², чиито размери са определени, съгласно посочените по-долу правила, е подходящ и има голям запас, при условие, че той удовлетворява условията за защитата при индиректен допир (т.е. има достатъчно ниско съпротивление).

Напречното сечение на защитния проводник на веригата С6 трябва да бъде:

$$\frac{29\,300 \times \sqrt{0.2}}{143} = 92 \text{ mm}^2$$

В този случай е подходящ проводник със сечение 95 mm², при условие, че се удовлетворяват условията за защита при индиректен допир.

Защита срещу индиректен допир

За веригата С6 на **Фиг. G68**, **Фиг. F45** и **Фиг. F61** или формулата, посочена на стр. F27, може да бъде използвана за трифазна трипроводна верига.

Максимално допустимата дължина на веригата се определя с израза:

$$L_{\max} = \frac{0.8 \times 240 \times 230 \sqrt{3} \times 1,000}{2 \times 22.5 \left(1 + \frac{240}{95}\right) \times 630 \times 11} = 70 \text{ m}$$

(Стойността на произведението в знаменателя 630 x 11 определя максималния ток I_m , т.е. стойността на тока, при който става „мигновено“ задействане на електромагнитния изключвател за автоматичен прекъсвач 630 А при късо съединение).

Следователно кабел с дължина 15 m е напълно защитен чрез устройствата за максималнотокова защита с „мигновено“ действие.

Пад на напрежение

От **Фиг. G28** може да се види, че:

- За кабела С1 (6 x 95mm² за фаза)

$$\Delta U = \frac{0.42 \text{ (V A}^{-1} \text{ km}^{-1}) \times 1\,374 \text{ (A)} \times 0.008}{3} = 1.54 \text{ V}$$

$$\Delta U\% = \frac{100}{400} \times 1.54 = 0.38 \%$$

- За веригата С6

$$\Delta U = \frac{0.21 \text{ (V A}^{-1} \text{ km}^{-1}) \times 433 \text{ (A)} \times 0.015}{3} = 1.36 \text{ V}$$

$$\Delta U\% = \frac{100}{400} \times 1.36 = 0.34\%$$

На клемите на разделителния трансформатор НН/НН, падът на напрежение, изразен в %, е

$$\Delta U\% = 0.72 \%$$

