

2 Защита фидеров

Прокладка кабеля в грунте: выбор поперечного сечения в соответствии с нагрузочной способностью и типом прокладки

Нагрузочная способность кабеля, проложенного в грунте, определяется с помощью следующей формулы:

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

где:

- I_0 - нагрузочная способность одного проводника для прокладки в грунте при номинальной температуре 20°C;
- k_1 - поправочный коэффициент, если температура грунта не равна 20°C;
- k_2 - поправочный коэффициент для смежных кабелей;
- k_3 - поправочный коэффициент, если удельное тепловое сопротивление грунта отличается от номинального значения, 2,5 К·м/Вт.

Поправочный коэффициент k_1

Нагрузочная способность проложенных в грунте кабелей определена для температуры грунта 20°C. Если температура грунта иная, используйте поправочный коэффициент k_1 , указанный в Таблице 10 с учетом материала изоляции.

Таблица 10: Поправочные коэффициенты для температуры окружающей среды, отличной от 20°C

Температура грунта °C	Изоляция	
	ПВХ	XLPE и EPR
10	1,10	1,07
15	1,05	1,04
25	0,95	0,96
30	0,89	0,93
35	0,84	0,89
40	0,77	0,85
45	0,71	0,80
50	0,63	0,76
55	0,55	0,71
60	0,45	0,65
65	–	0,60
70	–	0,53
75	–	0,46
80	–	0,38

2 Защита фидеров

Поправочный коэффициент k_2

На нагрузочную способность кабеля влияет наличие других кабелей, проложенных рядом. Рассеяние тепла одного кабеля изменится, если его проложить рядом с другими кабелями.

Поправочный коэффициент k_2 определяется с помощью формулы:

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

В таблицах 11, 12 и 13 приведены значения коэффициента k_2 для одножильных и многожильных кабелей, проложенных непосредственно в грунте или в кабелепроводах в грунте, с учетом их расстояния от других кабелей или расстояния между кабелепроводами.

Таблица 11: Понижающие коэффициенты для кабелей, проложенных непосредственно в грунте

Расстояние между кабелями (а)					
Количество цепей	Ноль (касание кабелей)	Диаметр одного кабеля	0,125 м	0,25 м	0,5 м
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

Многожильные кабели



Одножильные кабели



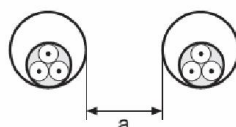
ПРИМЕЧАНИЕ: указанные величины относятся к глубине прокладки 0,7 м и удельному тепловому сопротивлению грунта 2,5 К·м/Вт.

2 Защита фидеров

Таблица 12: Понижающие коэффициенты для многожильных кабелей, проложенных в однонаправленных кабельных каналах в грунте

Количество цепей	Ноль (касание кабелей)	Расстояние между кабелями (а)		
		0,25 м	0,5 м	1,0 м
2	0,85	0,90	0,95	0,95
3	0,75	0,85	0,90	0,95
4	0,70	0,80	0,85	0,90
5	0,65	0,80	0,85	0,90
6	0,60	0,80	0,80	0,90

Многожильные кабели



ПРИМЕЧАНИЕ Указанные значения относятся к глубине прокладки 0,7 м и удельному тепловому сопротивлению грунта 2,5 К·м/Вт.

Таблица 13: Понижающие коэффициенты для одножильных кабелей, проложенных в однонаправленных кабельных каналах в грунте

Количество одножильных цепей из двух или трех кабелей	Ноль (касание кабельных каналов)	Расстояние между кабельными каналами (а)		
		0,25 м	0,5 м	1,0 м
2	0,80	0,90	0,90	0,95
3	0,70	0,80	0,85	0,90
4	0,65	0,75	0,80	0,90
5	0,60	0,70	0,80	0,90
6	0,60	0,70	0,80	0,90

Одножильные кабели



ПРИМЕЧАНИЕ Указанные значения относятся к глубине прокладки 0,7 м и удельному тепловому сопротивлению грунта 2,5 К·м/Вт.

2 Защита фидеров

Поправочный коэффициент k_2'' :

- для кабелей, проложенных непосредственно в грунте, или если в том же кабельном трубопроводе нет других проводников, значение k_2'' равно 1;
- если в том же кабельном трубопроводе имеются несколько проводников одинаковых размеров (значение "группа одинаковых проводников" см. определение выше), k_2'' получают из первой строки Таблицы 5;
- Если проводники не одинакового размера, поправочный коэффициент рассчитывается по формуле:

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

где:

n - количество цепей в кабельном трубопроводе.

Поправочный коэффициент k_3

Удельное тепловое сопротивление грунта влияет на рассеяние тепла кабелем. Грунт с низким удельным тепловым сопротивлением облегчает рассеяние тепла, а грунт с высоким удельным тепловым сопротивлением ограничивает рассеяние. В Стандарте МЭК 60364-5-52 (ГОСТ Р 50571.15) указано в качестве номинального значения удельное тепловое сопротивление грунта $2,5 \text{ К} \cdot \text{м}/\text{Вт}$.

Таблица 14: Поправочные коэффициенты для удельного теплового сопротивления грунта, отличного от $2,5 \text{ К} \cdot \text{м}/\text{Вт}$

Уд. тепловое сопротивление, $\text{К} \cdot \text{м}/\text{Вт}$	1	1,5	2	2,5	3
Поправочный коэффициент, k_3	1,18	1,1	1,05	1	0,96

Примечание 1: Общая точность поправочных коэффициентов - в пределах $\pm 5\%$.

Примечание 2: Поправочные коэффициенты применимы к кабелям, проложенным в кабельных трубопроводах в грунте; для кабелей, проложенных непосредственно в грунте, поправочные коэффициенты для термического сопротивления менее $2,5 \text{ К} \cdot \text{м}/\text{Вт}$ будут выше. Если требуются более точные значения, их можно рассчитать способами, указанными в Стандарте МЭК 60287.

Примечание 3: Поправочные коэффициенты применимы к кабельным трубопроводам, уложенным в грунт на глубину до 0,8 м.

2 Защита фидеров

Выводы:

Используйте следующую методику для определения поперечного сечения кабеля:

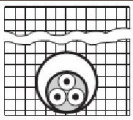
1. Определите по Таблице 10 поправочный коэффициент k_1 с учетом материала изоляции и температуры грунта;
2. Используйте Таблицы 11, 12, 13 или формулу для групп кабелей с разным сечением, чтобы определить поправочный коэффициент k_2 с учетом расстояния между кабелями или кабельными трубопроводами;
3. По Таблице 14 определите коэффициент k_3 в соответствии с удельным тепловым сопротивлением грунта;
4. Рассчитайте значение тока I'_b путем деления тока нагрузки I_b (или номинального тока защитного устройства) на произведение рассчитанных поправочных коэффициентов:

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

5. По Таблице 15 определите поперечное сечение кабеля с $I_0 \geq I'_b$, в соответствии со способом прокладки, материалами изоляции и проводника и количеством проводников под нагрузкой;
6. Реальная нагрузочная способность кабеля рассчитывается по формуле

$$I_z = I_0 k_1 k_2 k_3$$

Таблица 15: Нагрузочная способность кабелей, проложенных в грунте

Способ прокладки	D							
								
	Cu				Al			
	Сшитый полиэтилен (XLPE) Этиленпропиленовый каучук (EPR)		ПВХ		Сшитый полиэтилен (XLPE) Этиленпропиленовый каучук (EPR)		ПВХ	
Изоляция	2	3	2	3	2	3	2	3
Нагруженные проводники	2	3	2	3	2	3	2	3
S [мм²]								
1,5	26	22	22	18				
2,5	34	29	29	24	26	22	22	18,5
4	44	37	38	31	34	29	29	24
6	56	46	47	39	42	36	36	30
10	73	61	63	52	56	47	48	40
16	95	79	81	67	73	61	62	52
25	121	101	104	86	93	78	80	66
35	146	122	125	103	112	94	96	80
50	173	144	148	122	132	112	113	94
70	213	178	183	151	163	138	140	117
95	252	211	216	179	193	164	166	138
120	287	240	246	203	220	186	189	157
150	324	271	278	230	249	210	213	178
185	363	304	312	258	279	236	240	200
240	419	351	361	297	322	272	277	230
300	474	396	408	336	364	308	313	260

1SDC010008F0201

2.2 Выбор кабелей и способов прокладки

2 Защита фидеров

Примечания к таблицам нагрузочной способности и относительно проводников под нагрузкой

В Таблицах 8, 9 и 15 приведена нагрузочная способность проводников под нагрузкой (токонесущие провода) в нормальных условиях эксплуатации.

В однофазных цепях под нагрузкой находятся два проводника.

В сбалансированных или немного несбалансированных трехфазных цепях имеются три проводника под нагрузкой, так как ток в нейтральном проводнике ничтожно мал.

В трехфазных системах с высоким небалансом, где нейтральный проводник в многожильных кабелях проводит ток вследствие небаланса в фазных токах, повышение температуры из-за тока в нейтральном проводнике компенсируется снижением тепла, выделяемого одним или несколькими фазными проводниками. В этом случае проводник должен быть выбран на основе максимального фазного тока. В любом случае нейтральный проводник должен иметь соответствующее поперечное сечение.

Воздействие гармонических составляющих на сбалансированные трехфазные системы: понижающие коэффициенты в четырех- и пятижильных кабелях с четырьмя токопроводящими жилами

В случае, когда нейтральный проводник проводит ток без соответствующего снижения нагрузки фазных проводов, при оценке токопроводящей способности цепи необходимо учитывать ток в нейтральном проводнике.

Этот ток в нейтрали возникает вследствие фазных токов с гармонической составляющей, которая не исчезает в нейтрали. Самая важная гармоника, которая сохраняется в нейтрали, обычно третья гармоника. Величина тока в нейтрали вследствие третьей гармоники может превышать величину фазного тока промышленной частоты. В таком случае ток в нейтрали существенно повлияет на нагрузочную способность кабелей в цепи.

2 Защита фидеров

Оборудование, которое может вызвать появление высоких гармоник в токе, - это, например, блоки люминесцентного освещения и импульсные источники питания постоянного тока, такие, которые применяются в компьютерах (дополнительную информацию о гармоническом возмущении см. в Стандарте МЭК 61000).

Понижающие коэффициенты, данные в Таблице 16, относятся только к кабелям в сбалансированных трехфазных цепях (ток в четвертом проводнике возникает только вследствие гармоник), где нейтральный проводник находится в четырех - или пятижильном кабеле, изготовлен из того же материала и имеет такое же сечение, как и фазные проводники. Эти понижающие коэффициенты были рассчитаны на основе токов третьей гармоники. Если ожидаются значительно более высокие гармоники, т.е. выше более чем на 10 % (например, 9-ая, 12-ая и т.д.), или имеется небаланс между фазами более 50 %, тогда могут быть применены меньшие понижающие коэффициенты: эти коэффициенты могут быть рассчитаны только с учетом реальной формы тока в фазах под нагрузкой.

В случаях, когда ожидается ток в нейтрали выше фазного тока, кабель должен быть выбран на основе тока в нейтрали.

В случаях, когда выбор кабеля основан на токе в нейтрали, который значительно выше фазного тока, необходимо уменьшить табличную нагрузочную способность для трех нагруженных проводников.

Если ток в нейтрали составляет более 135 % фазного тока, и кабель выбирается на основе тока в нейтрали, три фазных проводника не будут полностью нагружены. Снижение тепла, выделяемого фазными проводниками, компенсирует тепло, выделяемое нейтральным проводником, в такой степени, что нет необходимости применять понижающий коэффициент к нагрузочной способности для трех нагруженных проводов.

Таблица 16: Понижающие коэффициенты для гармонических составляющих в токе в четырех - и пятижильных кабелях

Содержание третьей гармоники фазного тока	Понижающий коэффициент			
	Выбор размера основан на фазном токе	Ток, который необходимо учитывать при выборе кабеля I'_b	Выбор размера основан на фазном токе	Ток, который необходимо учитывать при выборе кабеля I'_b
%				
0 ÷ 15	1	$I'_b = \frac{I_b}{k_{tot}}$	-	-
15 ÷ 33	0,86	$I'_b = \frac{I_b}{k_{tot} \cdot 0,86}$	-	-
33 ÷ 45	-	-	0,86	$I'_b = \frac{I_N}{0,86}$
> 45	-	-	1	$I'_b = I_N$

В случае, когда I_N - ток, протекающий в нейтрали; он рассчитывается следующим образом:

$$I_N = \frac{I_b}{k_{tot}} \cdot 3 \cdot k_{III}$$

I_b - ток нагрузки;

k_{tot} - общий поправочный коэффициент;

k_{III} - содержание третьей гармоники фазного тока;

2 Защита фидеров

Пример выбора кабеля в сбалансированной трехфазной цепи без гармоник

Выбор кабеля со следующими характеристиками:

- материал проводника: : медь
- материал изоляции: : ПВХ
- тип кабеля: : многожильный
- способ прокладки: : кабели в пучке на горизонтальном перфорированном лотке
- ток нагрузки: : 100 А

Условия прокладки:

- температура окружающей среды: : 40°C
- смежные цепи с
 - a) трехфазной цепью, состоящей из 4 одножильных кабелей, 4x50 мм²;
 - b) трехфазной цепью, состоящей из одного многожильного кабеля, 1x(3x50) мм²;
 - c) трехфазной цепью, состоящей из 9 одножильных (3 на фазу) кабелей, 9x95 мм²;
 - d) трехфазной цепью, состоящей из 2 одножильных кабелей, 2x70 мм²;

2 Защита фидеров

Порядок расчета:

- Тип прокладки:

В Таблице 3 можно найти соответствующий способу прокладки номер, применяемый в расчетах. В данном примере, соответствующий номер - 31, который соответствует способу Е (многожильный кабель на лотке).

Поправочный температурный коэффициент k_1

Из Таблицы 4, для температуры 40°C и изоляции из материала ПВХ, $k_1 = 0,87$.

$$k_1 = 0,87$$

Поправочный коэффициент для смежных кабелей k_2

Информацию о многожильных кабелях, сгруппированных на перфорированном лотке, смотрите в Таблице 5.

В качестве первого шага необходимо определить количество цепей или многожильных кабелей; с учетом того, что:

- каждая цепь а), b) и d) представляет собой отдельную цепь;
 - цепь c) состоит из трех цепей, так как в нее входят три параллельных кабеля на фазу;
 - кабель, размер которого определяется, является многожильным кабелем и, следовательно, составляет одну цепь;
- общее количество цепей равняется 7.
- Обращаясь к строке расположения (кабели в пучке) и к колонке количества цепей (7), получаем

$$k_2 = 0,54$$

После определения k_1 и k_2 проводится расчет I'_b по формуле:

$$I'_b = \frac{I_b}{k_1 k_2} = \frac{100}{0,87 \cdot 0,54} = 212,85 \text{ A}$$

По Таблице 8, для многожильного медного кабеля с изоляцией ПВХ, способа прокладки Е, с тремя проводниками под нагрузкой, получаем поперечное сечение с нагрузочной способностью $I_0 \geq I'_b = 212,85 \text{ A}$. Кабель с поперечным сечением 95 мм², при номинальных условиях, указанных в Стандарте, может проводить ток 238 А.

Нагрузочная способность, в соответствии с реальными условиями прокладки, составляет

$$I_z = 238 \cdot 0,87 \cdot 0,54 = 111,81 \text{ A}$$

2 Защита фидеров

Пример выбора кабеля в сбалансированной трехфазной цепи со значительным содержанием третьей гармоники

Выбор кабеля со следующими характеристиками:

- материал проводника: : медь
- материал изоляции: : ПВХ
- тип кабеля: : многожильный
- способ прокладки: : в ряд на горизонтальном перфорированном лотке
- ток нагрузки: : 115 А

Условия прокладки:

- температура окружающей среды: : 30°C
- отсутствие смежных цепей.

Процедура:

Тип прокладки:

В Таблице 3 можно найти соответствующий способу прокладки номер, применяемый в расчетах. В данном примере, соответствующий номер - 31, который соответствует способу Е (многожильный кабель на лотке)

Температурный поправочный коэффициент k_1

Из Таблицы 4 для температуры 30°C и изоляции из материала ПВХ

$$k_1 = 1$$

Поправочный коэффициент для смежных кабелей k_2

Поскольку смежные кабели отсутствуют,

$$k_2 = 1$$

После определения k_1 и k_2 проводится расчет I'_b по формуле:

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

2 Защита фидеров

Если не имеется гармоник, по Таблице 8 для многожильного медного кабеля с изоляцией ПВХ, способа прокладки Е, с тремя проводниками под нагрузкой получаем поперечное сечение с нагрузочной способностью $I_0 \geq I'_b = 115$ А. Кабель с поперечным сечением 35 мм² при номинальных условиях, указанных в Стандарте, может проводить ток 126 А.

Таким образом, нагрузочная способность, в соответствии с реальными условиями прокладки, составляет 126 А, так как значение коэффициентов k_1 и k_2 равно 1.

Содержание третьей гармоники принимается равным 28%.

Таблица 16 показывает, что для третьей гармоники, составляющей 28%, кабель должен определяться для тока, проходящего по фазным проводникам, но необходимо применить поправочный коэффициент 0,86. Ток I'_b принимает значение:

$$I'_b = \frac{I_b}{k_1 \cdot k_2 \cdot 0,86} = \frac{115}{0,86} = 133,7 \text{ А}$$

По Таблице 8 должен быть выбран кабель 50 мм² с нагрузочной способностью 153 А.

Если содержание третьей гармоники составляет 40 %, согласно Таблице 16, размер кабеля должен быть определен в соответствии с током нейтрального проводника, необходимо также применить понижающий коэффициент 0,86.

Ток в нейтральном проводнике составляет:

$$I_N = \frac{I_b}{k_{\text{tot}}} \cdot 3 \cdot k_{\text{III}} = 115 \cdot 3 \cdot 0,4 = 138 \text{ А}$$

и ток I'_b равняется:

$$I'_b = \frac{I_N}{0,86} = \frac{138}{0,86} = 160,5 \text{ А}$$

По Таблице 8 следует выбрать кабель 70 мм² с нагрузочной способностью 196 А.

Если содержание третьей гармоники составляет 60 %, то согласно Таблице 16, кабель должен быть определен в соответствии с током нейтрального проводника, необходимо также применить понижающий коэффициент 1.

Ток в нейтральном проводнике составляет:

$$I_N = \frac{I_b}{k_{\text{tot}}} \cdot 3 \cdot k_{\text{III}} = 115 \cdot 3 \cdot 0,6 = 207 \text{ А}$$

и ток I'_b равняется:

$$I'_b = I_N = 207 \text{ А}$$

По Таблице 8 следует выбрать кабель 95 мм² с нагрузочной способностью 238 А.