

Коммутационные устройства

Стандарты IEC 947 -1 и IEC 947 -3

► Определения

Выключатель (IEC 947 -3 и 2.1)



Механическое разъединительное устройство, предназначенное для:

- включения, проведения и отключения тока в нормальных условиях работы цепи (а), возможно наличие особых условий работы при перегрузке;
- проведения тока в аномальных условиях работы цепи – например при коротком замыкании определенной длительности (выключатель может иметь возможность создавать ток короткого замыкания, но не имеет возможности отключать его).

(а) Под нормальными условиями обычно понимается использование оборудования при температуре окружающей среды 40° С на протяжении 8 часов.

Разъединитель (IEC 947 -3 и 2.2)



«Механическое коммутационное устройство, которое в открытом состоянии отвечает требованиям к изоляции. Данное устройство может проводить ток как в нормальных условиях работы цепи, так и в аномальных на протяжении определенного промежутка времени.

Разъединитель предназначен для коммутации без нагрузки.

Выключатель-разъединитель (IEC 947 -3 § 2.3)



Выключатель, который в открытом положении соответствует определенным требованиям к выключателям-разъединителям.

Выключатель-разъединитель с предохран. (IEC 947 -3 § 2.9)



Выключатель-разъединитель, в одном или нескольких контактах которого присутствует последовательно подключенный предохранитель.

УСТР-ВО \ ДЕЙСТВИЯ				
Включение				
Проведение				
Отключение				

(1) Не включено в стандарт.

(2) С помощью предохранителя.

Нормальный ток.

Ток перегрузки.

Ток короткого замыкания.

► Функции

Разделение контактов

В соответствии со стандартом для механических коммутационных устройств IEC 947 -3 или IEC 364 -5 -537 все разъединительные устройства должны обеспечивать надлежащее разделение контактов.

Проверка способности к разделению контактов в соответствии со стандартом IEC 947 -3 выполняется с помощью трех тестов:

- тест изоляции определяет сопротивление искровому пробую (U_{imp} : импульсное напряжение) в зависимости от зазора между контактами (Обычно $U_{imp} = 8 \text{ kV}$ при $U_n = 400/690 \text{ V}$);
- измерение тока утечки (I_p) определяет сопротивление изоляции в разомкнутом положении в частной зависимости длины пути тока утечки. При 110% от U_n , $I_p < 0,5 \text{ mA}$ (новые устройства) и $I_p < 6 \text{ mA}$ (устройства на стадии завершения рабочего цикла);

- проверка прочности исполнительного механизма и указателя положения проводится для проверки «механической» надежности указания положения. Устройство фиксируется в положении «I» и на исполнительный механизм подается усилие, в три раза превышающее стандартное рабочее усилие. Во время проведения теста, устройство не должно иметь возможности фиксации в положении «O», а устройство не должно оставаться в этом положении после проведения теста. Данный тест не является обязательным в том случае, если размыкание/замыкание контактов отображается другими средствами, например с помощью механического индикатора, за счет прямой видимости контактов и т.д.

Третий тест определяет соответствие принципу «полностью видимого» разрыва цепи, что требуется в соответствии с Указом от 14 ноября 1988 года для обеспечения функции изоляции в низковольтных системах класса В (500 В < U ≤ 1000 В переменного и 750 В < U ≤ 1500 В постоянного напряжения).

Последняя характеристика требуется в соответствии со стандартом NF C 15-100, за исключением устройств SELV или PELV (U ≤ 50 В переменного или 120 В постоянного напряжения).

Размыкание под нагрузкой и при перегрузке

Обеспечивается с помощью устройств, выполняющих функцию включения и отключения в нормальных условиях и в условиях перегрузки. По результатам тестов определяется способность устройств подключать и отключать определенные нагрузки. Здесь могут присутствовать большие токи перегрузки при низком значении cos φ (запуск двигателя или заблокированный ротор).

Тип нагрузки или режим нагрузки определяют **категорию режима нагрузки устройства**.

Размыкающее действие в случае короткого замыкания

Выключатель не предназначен для размыкания при возникновении тока КЗ. Однако его динамическая устойчивость должна быть достаточной для пропускания тока КЗ до момента срабатывания соответствующего защитного устройства.

В случае наличия предохранителя на выключателе, цепь при КЗ размыкается с помощью предохранителя (см. гл. «Предохранители», стр. D.44), что дает хорошие возможности ограничения высоких токов КЗ.

Стандарты IEC 947 -1 и IEC 947 -3 (продолжение)

Характеристики

Условия и категория применения в соответствии со стандартом IEC 947 -3

Таблица А.

КАТЕГОРИЯ ПРИМЕНЕНИЯ		ПРИМЕНЕНИЕ	ОБОРУДОВАНИЕ
AC	DC		
AC20	DC20	Замыкание и размыкание без нагрузки.	Разъединитель(1).
AC21	DC21	Резистивные нагрузки и небольшие перегрузки.	Выключатели, устанавливаемые на входе для резистивных цепей (нагрев, освещение кроме газоразрядных ламп и т.д.).
AC22	DC22	Индуктивные и резистивные смешанные нагрузки, в т.ч. небольшие перегрузки.	Выключатели, устанавливаемые на вторичных цепях или в реактивных цепях (конденсаторные батареи, разрядные лампы, шунтовые двигатели и т.д.).
AC23	DC23	Двигатели или другие высокоиндуктивные нагрузки.	Включение питания одного или нескольких двигателей или индуктивных цепей (электротранспортеры, тормозные магниты, двигатели с последовательным возбуждением и т.д.).

(1) Сейчас такие устройства заменяются размыкающими переключателями из соображений повышения безопасности.

Отключающая и включающая способность

В отличие от размыкателей цепи, для которых данные характеристики показывали бы размыкающие характеристики или характеристики КЗ (что, вероятно, приводило бы к необходимости замены оборудования), отключающая и включающая способность выключателей показывает максимально возможные значения в категории их использования. В таких экстремальных условиях эксплуатации выключатель должен сохранять свои характеристики, в частности стойкость к утечке тока и повышению температуры.

Таблица В.

	Включение		Отключение		Кол-во рабочих циклов
	I/I_e	$\cos \varphi$	I/I_e	$\cos \varphi$	
AC 21	1.5	0.95	1.5	0.95	5
AC 22	3	0.65	3	0.65	5
AC 23 $I_e \leq 100$ A	10	0.45	8	0.45	5
$I_e > 100$ A	10	0.35	8	0.35	3
	L/R (мс)		L/R (мс)		
DC 21	1.5	1	1.5	1	5
DC 22	4	2.5	4	2.5	5
DC 23	4	15	4	15	5

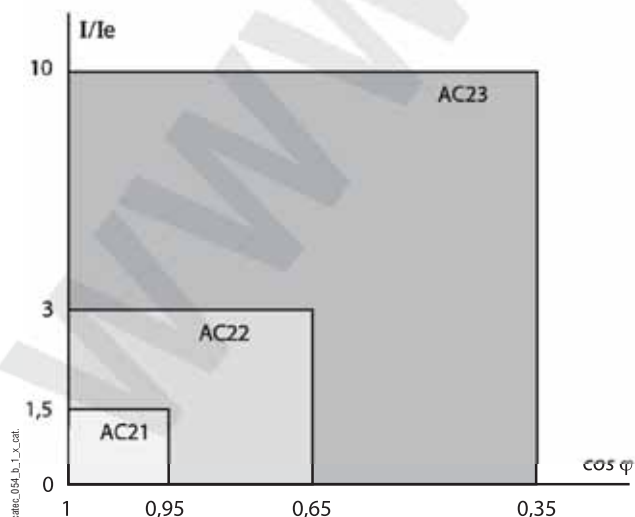


Рис. 1. Отключающая и включающая способность.

Электрическая и механическая долговечность

Данный стандарт устанавливает минимальное количество электрических (при полной нагрузке) и механических (без нагрузки) рабочих циклов, которые должны выполнять устройства. Эти характеристики показывают теоретический срок эксплуатации, во время которого устройства должны сохранять свои характеристики, в частности, сопротивляемость к утечке тока и повышению температуры.

Данные характеристики зависят от режима использования и номинала устройства. В соответствии с предполагаемым режимом использования, выделяют две дополнительные категории применения:

- категория А: частая коммутация (вблизи к нагрузке);
- категория В: нечастая коммутация (в начале установки или системы электропроводки).

Таблица С.

I_e (A)	≤ 100	≤ 315	≤ 630	≤ 2500	> 2500
Кол-во циклов в час	120	120	60	20	10
Количество срабатываний, кат. А					
Без тока	8500	7000	4000	2500	1500
С током	1500	1000	1000	500	500
Итого	10000	8000	5000	3000	2000
Количество срабатываний, кат. В					
без тока	1700	1400	800	500	300
с током	300	200	200	100	100
Итого	2000	1600	1000	600	400

Рабочий ток I_e

Рабочий ток определяется с помощью тестов на выносливость (как механическую, так и электрическую) и тестов на включающую, а также отключающую способность.

Характеристики кратковременного тока

- сопротивляемость кратковременному току (I_{cw}): Допустимый действующий ток rms на протяжении 1 сек.;
- отключающая способность (I_{cm}): пиковое значение тока, который может выдержать устройство во время К.З.;
- условный ток КЗ: действующий ток, который может выдержать устройство в случае использования совместно с защитным устройством, ограничивающим как ток, так и его продолжительность;
- динамическая сопротивляемость: пиковый ток, который выдерживает устройство в замкнутом положении.

Характеристика, определяемая данным стандартом – это сопротивляемость кратковременному току (I_{cw}), из которой выводится минимальная динамическая сопротивляемость. Она определяет ток, который выключатель может выдержать без плавления.

Коммутационные устройства

Стандарты установки IEC 60364 и IEC 60204

▶ Отключение

Данная функция предназначена для обеспечения полного или частичного отключения устройства в целях обеспечения безопасности. Функция отключения подразумевает следующие действия:

- **отключение всех проводников, находящихся под напряжением;**
- **гарантированное отключение без нагрузки**, в том случае, если присутствуют дополнительные меры (например, вспомогательный контакт “не включать при нагрузке” и т.д.), которые обеспечивают возможность избежать отключения рабочего тока при полной нагрузке. Для повышения безопасности может использоваться коммутационное устройство, способное разрывать цепь под нагрузкой или изолировать ее;
- **разделение контактов.**

▶ Отключение для проведения технического обслуживания механических узлов

Данная функция предназначена для отключения устройства с целью проведения техобслуживания без риска получения физического повреждения, либо же для более длительных отключений.

Устройства должны быть легко идентифицируемыми и использоваться в соответствии со своим назначением.

Функция отключения устройства с целью проведения техобслуживания подразумевает следующие действия:

- **Возможность отключения под нагрузкой.** Поскольку персонал, выполняющий обслуживание, не обязательно состоит только из квалифицированных электриков, должна быть обеспечена возможность разрыва цепи без предварительного снятия нагрузки или проверки категории применения устройства;
- **Разделение контактов.** Обеспечивает невозможность случайного включения устройства.

Такую же функцию может выполнять локальный защитный корпус.

В таких корпусах обычно используются видимые размыкающие выключатели в тех случаях, когда требуется внешний контроль за состоянием устройства. Визуальное отключение используется для увеличения безопасности персонала, работающего в опасных местах (особенно в местах с повышенными механическими рисками), а также в тех случаях, если поврежденная рукоятка рубильника исключает возможность индикации позиции выключателя.

▶ Аварийное отключение

Данная функция обеспечивает отключение от клемм цепи. Целью этой функции является отключение нагрузок во избежание опасности возгорания, ожогов или поражения электротоком. Это подразумевает возможность быстрого доступа к отключаемому устройству, равно как и его идентификации. Быстрота доступа зависит от планировки места установки устройства, рабочего оборудования и наличия персонала.

Функция аварийного отключения подразумевает следующие действия:

- **возможность отключения под нагрузкой;**
- **обесточивание всех проводников под напряжением.**

▶ Аварийная остановка

Отличается от аварийного отключения тем, что учитывает риски, связанные с движущимися частями машины.

Аварийная остановка подразумевает следующие действия:

- **возможность отключения под нагрузкой;**
- **обесточивание всех проводников под напряжением;**
- **возможность сохранения напряжения**, используемого, например, для торможения движущихся частей.

▶ Функциональное отключение

На практике, при эксплуатации электрической установки должна присутствовать возможность локального воздействия без отключения всей установки.

Функция функционального управления подразумевает следующие действия:

- **возможность отключения под нагрузкой;**
- **обесточивание отдельных проводников под напряжением** (например, 2 из 3 фаз двигателя).

Выбор коммутационного устройства

Выбор по признаку схемы подключения нейтрали

Трехфазная сеть с распределенной нейтралью

НЕЙТРАЛИ	СЕЧЕНИЕ НЕЙТРАЛИ $\geq$ СЕЧЕНИЕ ФАЗЫ	СЕЧЕНИЕ НЕЙТРАЛИ $<$ СЕЧЕНИЕ ФАЗЫ
TT		
TNC		
TNS		
IT с нейтралью		

ПОЛЮС ДЛЯ ОТКЛЮЧЕНИЯ ПОЛЮС ДЛЯ ЗАЩИТЫ

(1) Нейтраль не обязательно должна быть защищена в том случае, если ее защита от КЗ обеспечивается защитным устройством фазы, а также, если максимальный ток повреждения в нейтрали гораздо ниже максимально допустимого стандартом тока для данного кабеля (IEC 60364 § 473.3).

Коммутационные устройства

Таблица А

Устройства	Размыкание		Переключатели полюсов	Устройство с предохранителями	Расцепляющее устройство	Моторизованные устройства
	Визуальное	Видим.				
CMP	•	•			•	опция
SIDERMAT с предопр.	•	•		•	•	
SIDER переключатель	•	•	•			
SIRCO VM переключатель	•	•	•			
COMO C	•		•			
COMO I	•					
COMO M	•					
IDE	•				•	
SIRCO VM	•	•				
SIRCO	•					опция
SIDER	•	•				опция
SIDER ND	•	•				
SIDERMAT	•	•			•	
SIRCOVER	•		•			
Моторизованный SIRCOVER	•		•			•
FUSERBLOC	•			•		
FUSERBLOC V	•	•*		•		
FUSOMAT	•	•*		•	•	

* Кроме номинала 1250A.

Применение в сетях постоянного тока

Характеристики рабочего тока, указанные в общем каталоге, относятся к схеме, показанной на рис. 2 (кроме тех случаев, когда дополнительно указано "2 последовательных"; в данном случае, см. рис. 3).



Рис. 2. 1. Полюс на полярность.



Рис. 3. 2. Последовательных полюса на полярность.

Пример 1. Последовательные полюса

Устройство 400 A SIRCO, используемое в сети 500 В постоянного тока с рабочим током 400 А в категории DC 23, должно иметь 2 полюса на полярность.

Пример 2. При параллельном подключении двух параллельных полюсов убедиться в правильном распределении на обеих линиях.

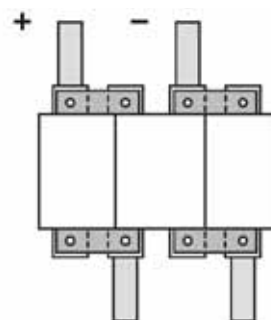


Рис. 4. Параллельные полюса.

Коммутационные устройства

Применение

Защита

При использовании устройств типа SIDERMAT или FUSOMAT, а также размыкающих устройств, предназначенных для защиты от непрямого контакта или короткого замыкания, следует принимать во внимание время размыкания цепи. Время между срабатыванием и фактическим размыканием контакта – менее 0,05 сек.

Переключение источников электропитания

Время срабатывания О - I или О - II от 0,7 до 2,1 сек. в зависимости от устройства.

Время переключения I - II - от 1,1 до 3,6 сек. (подробнее см. главу «Моторизированный переключатель SIRCOVER»).

Перед конденсаторной батареей

Выбирайте выключатель с номиналом в 1,5 раза больше номинального тока конденсаторной батареи (I_c).

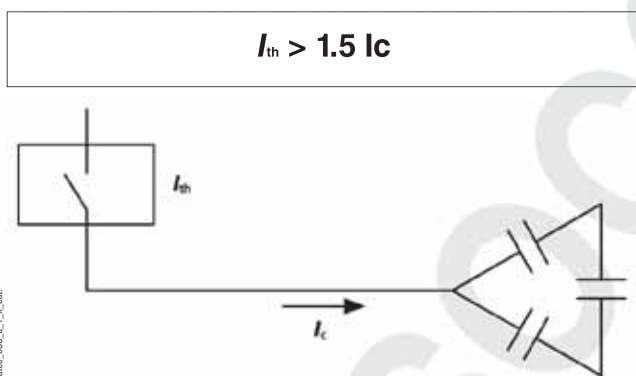


Рис. 1. Выключатель перед конденсаторной батареей.

На первичной обмотке трансформатора

Убедитесь, что включающая способность (включающая способность) выключателя превышает ток холостого хода трансформатора.

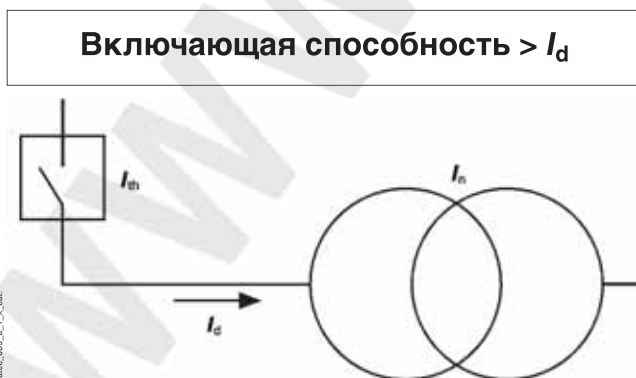


Рис. 2. Установка выключателя на первичной обмотке трансформатора.

Таблица А.

Р кВА	50	100	160	250	400	630	1000	1250	1600
I_d / I_n	15	14.5	14	13	12	11	10	9	8.5

I_d – холостой ток трансформатора

I_n – номинальный ток трансформатора

Перед двигателями

- Для локального аварийного выключателя номинал составляет - AC23 от номинального тока (I_n) двигателя;
- в цепях с частыми запусками двигателей требуется расчет эквивалентного теплового тока (I_{thq}).

Ток при запуске варьируется в зависимости от характеристик инерционности двигателя. При прямом пуске значения обычно находятся в следующих пределах:

- пиковый ток: от 8 до 10 I_n ;
- продолжительность пикового тока: от 20 до 30 мс;
- пусковой ток I_d от 4 до 8 I_n ;
- время запуска t_d от 2 до 4 сек.



Рис. 3. Выключатель перед двигателем.

Пример изменения номинального значения в зависимости от типа запуска.

$$I_{thq} = I_n \times K_d \text{ и } I_{th} \geq I_{thq}$$

Таблица В.

ВРЕМЯ ЗАПУСКА	$\frac{I_p^{(4)}}{I_n}$	$t_d^{(4)}$ (s)	$n^{(1)}$	$K_d^{(2)}$
Прямой запуск до 170 кВт	6 to 8	0.5 to 4	$n > 10$	$\frac{1}{3.16} \sqrt{n}$
Y - Δ ($I_d/3$)	2 to 2.5	3 to 6	$n > 85$	$\frac{1}{9.2} \sqrt{n}$
Прямой запуск высокоинерционных двигателей ⁽³⁾	6 to 8	6 to 10	$n > 2$	$\frac{1}{1.4} \sqrt{n}$

(1) n – кол-во запусков в час, при которых требуется изменение номинала;

(2) K_d – пусковой коэффициент ≥ 1 ;

(3) вентиляторы, насосы и т.д.;

(4) средние значения значительно колеблются в зависимости от типа двигателя и потребителя.

- Циклические перегрузки (кроме запусков). При использовании со специализированным оборудованием (сварочные машины, двигатели) и генераторами с периодическими пиковыми токами, расчет эквивалентного тока (I_{thq}) производится по следующей формуле:

$$I_{thq} = \sqrt{\frac{(I_1^2 \times t_1) + (I_2^2 \times t_2) + I_n^2 \times (t_c - [t_1 + t_2])}{t_c}}$$

I_1 – ток перегрузки;

I_2 – возможная промежуточная перегрузка;

I_n – номинальный рабочий ток;

t_1 и t_2 – продолжительность токов I_1 и I_2 в секундах;

t_c – продолжительность цикла в секундах (нижний предел 30 сек).

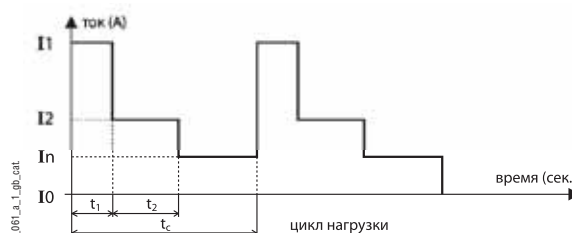


Рис. 4. Циклическая перегрузка.

Корректировочный коэффициент

Для некоторых условий работы требуется корректировка теплового тока с помощью корректировочного коэффициента.

Корректирующий коэффициент K_t в зависимости от температуры окружающей среды

Температура окружающего воздуха вокруг устройства
• Упрощенный метод.

$$I_{thu} \leq I_{th} \times K_t$$

Табл. А: коэф. корректировки в зависимости от темп. окружающей среды.

K_t : корректирующий коэффициент.	
0.9	$40^\circ \text{C} < t_a \leq 50^\circ \text{C}$
0.8	$50^\circ \text{C} < t_a \leq 60^\circ \text{C}$
0.7	$60^\circ \text{C} < t_a \leq 70^\circ \text{C}$

• Для конкретного применения можно выполнить более точный расчет. Для выполнения такого расчета обращайтесь, пожалуйста, в нашу компанию.

Использование в сочетании с предохранителями

Упрощенный метод.

Номинал выключателя должен быть скорректирован на коэффициент 0,8, если напрямую к клеммам выключателя подключены плавкие предохранители.

Пример: Комплект с предохранителями 1250 A состоит из выключателя 1600 A и трех предохранителей 1250 A gG.

• Для конкретного применения можно выполнить более точный расчет. Для выполнения такого расчета обращайтесь, пожалуйста, в нашу компанию.

Изменение других номинальных значений в зависимости от температуры:

- выключатели с плавкими предохранителями, оснащенные быстродействующими предохранителями;
- в некоторых случаях, пересчет номиналов требуется при эксплуатации 24 часа в сутки на полной нагрузке. Обращайтесь, пожалуйста, в нашу компанию.

Коэффициент корректировки K_f в зависимости от частоты

$$I_{thu} \leq I_{th} \times K_f$$

Таблица В. Коэфф. корректировки в зависимости от частоты f.

K_f : коэфф. корректировки.	
0.9	$100 \text{ Гц} < f \leq 1000 \text{ Гц}$
0.8	$1000 \text{ Гц} < f \leq 2000 \text{ Гц}$
0.7	$2000 \text{ Гц} < f \leq 6000 \text{ Гц}$
0.6	$6000 \text{ Гц} < f \leq 10000 \text{ Гц}$

Коэффициент корректировки K_a коррекция в зависимости от высоты

- Номинал I_{th} не изменяется;
- изменяются номиналы U_e и I_e как для постоянного, так и для переменного тока.

Таблица С. Коэфф. корректировки в зависимости от высоты А.

	$2000 \text{ м} < A \leq 3000 \text{ м}$	$3000 \text{ м} < A \leq 4000 \text{ м}$
U_e	0.95	0.80
I_e	0.85	0.85

Коэффициент корректировки K_p в зависимости от положения устройства

Подключение выключателей

Поскольку весь модельный ряд выключателей SOCOMEC имеет систему двойного размыкания на полюс, источник питания может быть подключен как сверху, так и снизу устройства (кроме случаев, когда регламентирующие нормы требуют подключения только с нижней стороны).

Коэффициент корректировки K_p в зависимости от положения устройства



Рис. 1. Направление подключения питания.

Монтаж и размещение выключателей

$$I_{thu} \leq I_{th} \times K_p$$

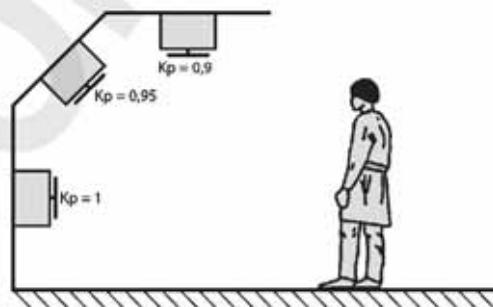


Рис. 2. Изменение номинала в зависимости от положения.

Вращение места установки устройства может производиться либо только по часовой стрелке, либо только против часовой стрелки. Это предусмотрено для обеспечения независимости переключающих характеристик от скорости работы.

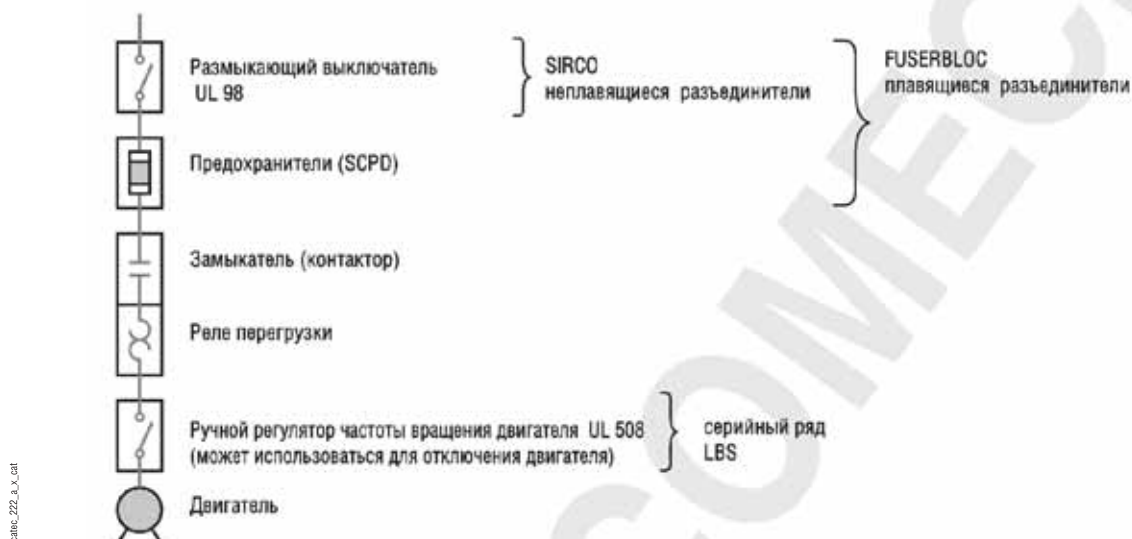
Таблица D.

			90° пр. часовой	180° по часовой	90° пр. часовой
COMO M, COMO I, COMO C			ДА	ДА	ДА
SIRCO VM	VM0, VM2	32 ... 40; 125 ... 160	ДА	ДА	ДА
	VM1	63 ... 125	ДА	ДА	ДА
	3/4 полюсов	40 ... 3150 A	ДА	ДА	ДА
SIRCO	4000 A		ДА	ДА	ДА
	6/8 полюсов	125 ... 630 A	ДА	ДА	ДА
	800 ... 3150 A		ДА	ДА	ДА
SIRCO UL	V 60 ... V 400 A		ДА	ДА	ДА
SIDERMAT	Незав. расцеп.	250 ... 1800 A	ДА	ДА	ДА
	Расцепитель мин. напряжения	250 ... 1800 A	ДА	ДА	ДА
SIRCO VM1	Переключатель	I - 0 - II / I - II - II	ДА	ДА	ДА
SIRCOVER	I - 0 - II	CD 125 ... CD 630 A	ДА	ДА	ДА
		CD 800 ... 3150 A	ДА	ДА	ДА
	I - II - II	CD 125 ... 3150 A	ДА	ДА	ДА
	6/8 полюсов	CD 125 ... CD 630 A	ДА	ДА	ДА
		CD 800 ... 3150 A	ДА	ДА	ДА
SIRCOVER By-Pass	I - 0 - II	CD 125 ... CD 630 A	ДА	ДА	ДА
		CD 800 ... 3150 A	ДА	ДА	ДА
	I - II - II	CD 125 ... CD 630 A	ДА	ДА	ДА
Моториз. SIRCOVER VE	I - 0 - II	250 ... 3150 A	ДА	ДА	ДА
	I - II - II	250 ... 3150 A	ДА	ДА	ДА
ATyS	I - 0 - II / I - II - II	125 ... 630 A	ДА	ДА	ДА
FUSERBLOC	CD	CD 25 ... 1250 A	ДА	ДА	ДА
FUSOMAT	Незав. расцеп.	250 ... 1250 A	ДА	ДА	ДА
	Расцепитель мин. напряжения	250 ... 1250 A	ДА	ДА	ДА

Спецификации UL и NEMA

Общая информация о защите двигателя

► Обычная конструкция стартера двигателя



Основные составляющие ветви цепи двигателя согласно требованиям национальных правил по установке электрооборудования

- Разъединители;
- Устройство защиты ветви цепи от короткого замыкания;
- Блок управления двигателем;
- Устройства защиты двигателя от перегрузки.

Разъединители

В качестве разъединителя можно использовать ручной размыкающий выключатель в соответствии с UL 98.

Ручной блок управления двигателем (в соответствии с UL 508) с дополнительной маркировкой "может использоваться для отключения двигателя" разрешается использовать в качестве разъединителя, только если его устанавливают между устройством защиты от короткого замыкания и неисправности заземления в последней ответвленной цепи и двигателем (NEC 2002 Article 430.109).

Устройство защиты ответвленной цепи от короткого замыкания

В качестве устройства защиты от короткого замыкания может использоваться предохранитель или выключатель с зависимой выдержкой времени.

Блок управления двигателем

Любой выключатель или устройство, используемое обычно для включения и остановки двигателя в соответствии со статьей Национальных правил по установке электрооборудования 430.81.

Устройства защиты двигателя от перегрузки

Национальные правила по установке электрооборудования разрешают использовать только предохранители, как единственные средства защиты ответвленных цепей двигателя от перегрузок. Такой подход часто удобен только для небольших однофазных двигателей.

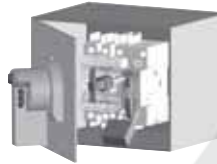
3-х фазные двигатели с большой интегральной мощностью в большинстве случаев управляются пускателем двигателя, в состав которого входит и противоперегрузочное реле. Так как противоперегрузочное реле обеспечивает защиту ответвленной цепи двигателя от перегрузок, предохранители можно применять для защиты от короткого замыкания.

Общая информация о защите двигателя (продолжение)

Обозначение площади сечения диаметра провода

AWG	мм ²	KCMIL/MCM	мм ²
14	2.1	250	127
12	3.3	300	152
10	5.3	350	177
8	8.4	400	203
6	13.3	500	253
4	21.2	600	304
3	26.7	700	355
2	33.6	750	380
1	42.4	800	405
1/0	53.5	900	456
2/0	67.4	1000	507
3/0	85.0	1250	633
4/0	107.2	1500	760
		1750	887
		2000	1014

Новые требования NFPA 79 и технические решения



Как указано в стандарте NFPA 79, раздел 5.3.3.1 и 6.2.3.1.2, предлагаемые нами разъединители полностью соответствуют всем указанным ниже требованиям.

1. Изоляция электрооборудования от сети электропитания и наличие только двух положений: выключить (разомкнуть) и включить (замкнуть).
2. Наличие дополнительных рабочих механизмов

(например, рукоятки).

3. Возможность зафиксировать устройство только в положении «выключить» (разомкнуть) (например, наличие висячего замка), независимо от положения дверцы. В зафиксированном виде необходимо предупреждать как удаленное, так и местное замыкание (включение).

4. Возможность управления устройством (только квалифицированными специалистами) независимо от положения дверцы, без использования вспомогательных инструментов или устройств.

Фланцевые и боковые выключатели.

Как фланцевые, так и боковые выключатели отвечают требованиям NFPA79 и не требуют дополнительных приспособлений.

Степени защиты Nema и соответствующие значения IP

Индекс	Предполагаемое использование, описание	Индексы NEMA и их связь с IP
1	Используется в помещении прежде всего для того, чтобы предупредить контакт с закрытым оборудованием и сократить степень загрязнения устройства.	NEMA 1 соответствует или превышает IP10
2	Используется в помещении, чтобы существенно сократить попадание воды и грязи в устройство.	NEMA 2 соответствует или превышает IP11
3	Предназначен для использования вне помещения, прежде всего для обеспечения защиты от дождя, слякоти, задуваемой ветром пыли и повреждений от наружного обледенения.	NEMA 3 соответствует или превышает IP54
3R	Предназначен для использования вне помещения, прежде всего для обеспечения защиты от дождя, слякоти, и повреждений от наружного обледенения.	NEMA 3R соответствует или превышает IP14
3S	Предназначен для использования вне помещения, прежде всего для обеспечения защиты от дождя, слякоти, задуваемой ветром пыли и для обеспечения работы дополнительных механизмов при обледенении.	NEMA 3S соответствует или превышает IP54
4	Предназначен для использования как в помещении, так и вне его, прежде всего для обеспечения защиты от задуваемой ветром пыли и дождя, сплошного обрызгивания, действия струй и повреждений от наружного обледенения.	NEMA 4 соответствует или превышает IP56
4X	Предназначен для использования как в помещении, так и вне его, прежде всего для обеспечения защиты от коррозии, задуваемой ветром пыли и дождя, сплошного обрызгивания, действия струй, и повреждений от наружного обледенения.	NEMA 4X соответствует или превышает IP56
6	Предназначен для использования как в помещении, так и вне его, прежде всего для обеспечения защиты от действия струй, доступа воды при кратковременном погружении на ограниченную глубину, и повреждений от наружного обледенения.	NEMA 6 соответствует или превышает IP67
6P	Предназначен для использования, как в помещении, так и вне его, прежде всего для обеспечения защиты от действия струй, доступа воды при длительном погружении на ограниченную глубину, и повреждений от наружного обледенения.	NEMA 6P соответствует или превышает IP67
12	Используется в помещении, прежде всего для обеспечения пыленепроницаемой защиты, защиты от попадания грязи и каплепадения жидкостей, не вызывающих коррозию.	NEMA 12 соответствует или превышает IP52
12K	Тип 12 с защитой от доступа.	NEMA 12K соотв-ет или превышает IP52

Данная таблица представляет собой руководство по преобразованию индексов защиты NEMA в индексы защиты IP. Коды NEMA соответствуют или превышают технические требования соответствующих европейских классификаций; по этой причине таблицу не следует использовать для преобразования «степени защиты IP в NEMA»; а преобразование «степени защиты NEMA в IP» следует проверить при помощи тестирования.

Спецификации UL и NEMA

Схема использования разъединителей с плавкими предохранителями UL (для обычного времени разгона двигателя)

► Выбор предохранителя для трехфазного двигателя и плавкого разъединителя типа UL класс CC

Мощность двигателя в л/с	Полная нагрузка, А	Рекомендуемый номинальный ток предохранителя для типичного времени разгона двигателя * 5 сек.	Рекомендуемый плавкий разъединитель	
208 В		Номинальный ток (А)	Номинальный ток (А)	Коды заказа
1/2	2.4	8	30	3710 3003
3/4	3.5	10		3712 3003
1	4.6	15		3712 6003
1-1/2	6.6	20		3716 3003
2	7.5	20		3716 6003
3	10.6	30		
240 В		Номинальный ток (А)	Номинальный ток (А)	Коды заказа
1/2	2.2	7	30	3710 3003
3/4	3.2	10		3712 3003
1	4.2	12		3712 6003
1-1/2	6	17-1/2		3716 3003
2	6.8	20		3716 6003
3	9.6	30		
480 В		Номинальный ток (А)	Номинальный ток (А)	Коды заказа
1/2	1.1	3-1/2	30	
3/4	1.6	5		3710 3003
1	2.1	6-1/4		3712 3003
1-1/2	3	9		3712 6003
2	3.4	10		3716 3003
3	4.8	15		3716 6003
5	7.6	25		
7-1/2	11	30		
600 В		Номинальный ток (А)	Номинальный ток (А)	Коды заказа
1/2	0.9	2-8/10	30	
3/4	1.3	4		3710 3003
1	1.7	5-6/10		3712 3003
1-1/2	2.4	8		3712 6003
2	2.7	8		3716 3003
3	3.9	12		3716 6003
5	6.1	17-1/2		
7-1/2	9	30		
10	11	30		

► Выбор предохранителя для трехфазного двигателя и плавкого разъединителя типа UL класс J

Мощность двигателя в л/с	Полная нагрузка, А	Рекомендуемый номинальный ток предохранителя для типичного времени разгона двигателя * 5 сек.	Рекомендуемый плавкий разъединитель	
208 В		Номинальный ток (А)	Номинальный ток (А)	Коды заказа
1/2	2.4	3-1/2	30	
3/4	3.5	5		3710 3004
1	4.6	7		3712 3004
1-1/2	6.6	10		3712 6004
2	7.5	10		3716 3004
3	10.6	15		3716 6004
5	16.7	25	60	
7-1/2	24.2	35		3716 3006 3712 6006
10	30.8	45		3716 3006 3716 6006
15	46.2	70	100	3712 3010 3712 6010
20	60	90		3716 3010 3716 6010
25	75	110	200	
30	88	150		3712 3020 3712 6020
40	114	175		3716 3020 3716 6020
50	143	225		
60	169	250	400	
75	211	350		3712 3040 3712 6040
100	273	400		3716 3040 3716 6040
125	343	500		
150	396	600	600	3712 3060 3712 6060

* Рекомендуются в большинстве случаев. Сочетаются с реле перегрузки NEMA-класса 20. Подходят при времени разгона двигателя до 5 секунд.

Схема использования плавких разъединителей с предохранителями UL (для обычного времени разгона двигателя)

Выбор предохранителя для трехфазного двигателя и плавкого разъединителя типа UL класс J

Мощность двигателя в л/с	Полная нагрузка, А	Рекомендуемый номинальный ток предохранителя для типичного времени разгона двигателя * 5 сек.	Рекомендуемый плавкий разъединитель		
240 В		Номинальный ток (А)	Номинальный ток (А)	Коды заказа	
1/2	2.2	3-1/2	30	3710 3004 3712 3004 3712 6004 3716 3004 3716 6004	
3/4	3.2	5			
1	4.2	6-1/4			
1-1/2	6	9			
2	6.8	10			
3	9.6	15			
5	15.2	25	60	3716 3006 3712 6006 3716 3006 3716 6006	
7-1/2	22	35			
10	28	40			
15	42	60	100	3712 3010 3712 6010 3716 3010 3716 6010	
20	54	80	200		
25	68	100			
30	80	125	400	3712 3020 3712 6020 3716 3020 3716 6020	
40	104	150			
50	130	200			
60	154	225	600	3712 3040 3712 6040 3716 3040 3716 6040	
75	192	300			
100	248	350			
125	312	450	600	3712 3060 3712 6060	
150	360	500			
480 В		Номинальный ток (А)	Номинальный ток (А)	Коды заказа	
1/2	1.1	1-6/10	30	3710 3004 3712 3004 3712 6004 3716 3004 3716 6004	
3/4	1.6	2-1/4			
1	2.1	3-2/10			
1-1/2	3	4-1/2			
2	3.4	5			
3	4.8	8			
5	7.6	12	60	3716 3006 3712 6006 3716 3006 3716 6006	
7-1/2	11	17-1/2			
10	14	20			
15	21	30	100	3712 3010 3712 6010 3716 3010 3716 6010	
20	27	40			
25	34	50			
30	40	60	200	3712 3020 3712 6020 3716 3020 3716 6020	
40	52	80			
50	65	100			
60	77	125	400	3712 3040 3712 6040 3716 3040 3716 6040	
75	96	150			
100	124	200			
125	156	225	600	3712 3060 3712 6060	
150	180	250			
200	240	350			
250	302	450	600	3712 3060 3712 6060	
300	361	600			
600 В		Номинальный ток (А)	Номинальный ток (А)	Коды заказа	
1/2	0.9	1-1/2	30	3710 3004 3712 3004 3712 6004 3716 3004 3716 6004	
3/4	1.3	2			
1	1.7	2-1/2			
1-1/2	2.4	3-1/2			
2	2.7	4			
3	3.9	6			
5	6.1	10	60	3716 3006 3712 6006 3716 3006 3716 6006	
7-1/2	9	15			
10	11	17-1/2			
15	17	25	100	3712 3010 3712 6010 3716 3010 3716 6010	
20	22	35			
25	27	40			
30	32	50	200	3712 3020 3712 6020 3716 3020 3716 6020	
40	41	60			
50	52	80			
60	62	90	400	3712 3040 3712 6040 3716 3040 3716 6040	
75	77	125			
100	99	150			
125	125	200	600	3712 3060 3712 6060	
150	144	225			
200	192	300			
250	240	350	600	3712 3060 3712 6060	
300	289	450			

* Рекомендуются в большинстве случаев. Сочетаются с реле перегрузки NEMA-класса 20. Подходят при времени разгона двигателя до 5 секунд.

Предохранители

Общие данные

Введение

Предохранители предназначены для разрыва электрической цепи при аномальном токе. Они также обладают дополнительным свойством ограничивать негативное воздействие высокого тока (см. пример ниже). Основными свойствами предохранителя являются надежность защиты, простота конструкции и невысокая цена. Оптимальный выбор предохранителя зависит от следующих технических характеристик:

• Преддуговое время

Это время, необходимое току для доведения предохранительного элемента до точки испарения перед началом плавления.

Преддуговое время не зависит от сетевого напряжения.

• Время горения дуги

Определяется как период с момента появления дуги до ее полного гашения (нулевой ток). Время горения дуги зависит от сетевого напряжения, но незначительно в сравнении с преддуговым временем для полного времени плавления >40 мсек.

• Время выполнения операции

Сумма преддугового времени и времени горения дуги.

• Разрывная мощность

Это предполагаемая величина тока короткого замыкания, при которой может расплавиться предохранитель при заданном рабочем напряжении.

• Интеграл Джоуля

$$\int_0^t I^2 dt$$

Это интегральное значение падения тока за полное время плавления, выраженное в единицах А²сек (ампер в квадрате на секунду).

Отсечка тока короткого замыкания

При отсечке тока короткого замыкания необходимо учитывать следующие два параметра:

- точное пиковое значение тока в защищаемой цепи;
- предполагаемое значение действующего тока, который может развиваться при отсутствии в цепи предохранителей.

Примечание: При t преддуговое <5 мс (сеть 50 Гц) значение отсекаемого тока будет только одно. На графике отсекаемого тока приводится соотношение между этими двумя параметрами (см. стр. D.47 и D.49).

Чтобы определить максимальный ток (значение которого может расти в электрических цепях, защищенных предохранителями), необходимо выполнить следующее:

- рассчитать максимальный действующий ток короткого замыкания (см. стр. D.21);
- нанести это значение тока на график отключаемого тока и получить пиковое значение тока, соответствующее токовому номиналу предохранителя, защищающего цепь.

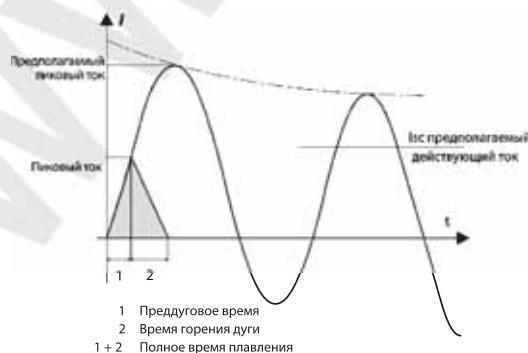


Рис.1. Отсекаемый ток короткого замыкания.

Отсечка тока короткого замыкания (продолжение)

Пример:

Требуется отключить с помощью предохранителя ток короткого замыкания со следующими характеристиками: симметричный, 100 кА, предохранитель 630 А gG.

Предполагаемый действующий ток 100 кА дает следующий предполагаемый пиковый ток: $100 \times 2,2 = 220$ кА.

Пиковый ток предохранителя 50 кА (см. рис. 2), представляющий 35% от предполагаемого пикового тока (см. рис. 2) ведет к сокращению незащищенной величины электродинамических сил на 13% (см. рис. 3) и уменьшению I^2t до 2,1% своей величины (см. рис. 4).

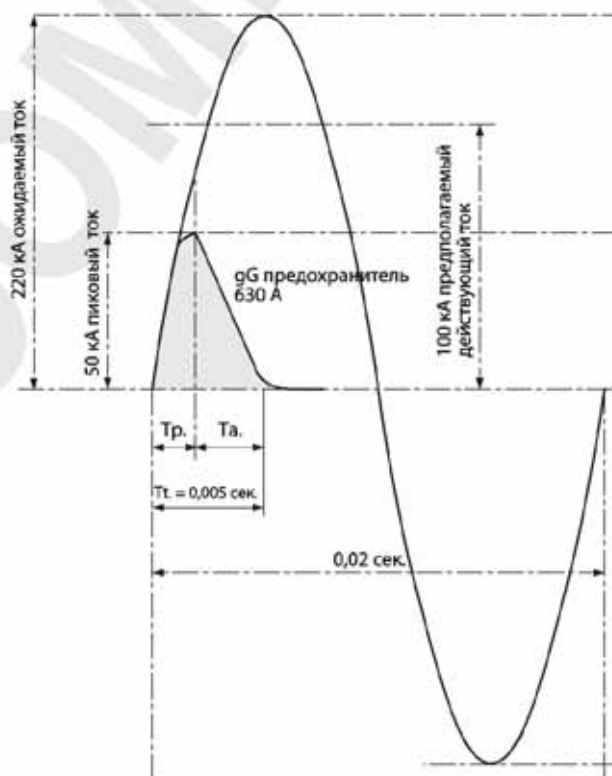


Рис. 2. Отсекаемый максимальный ток.



Рис.3. Ограничение электродинамических сил прямо пропорционально квадрату значения тока.

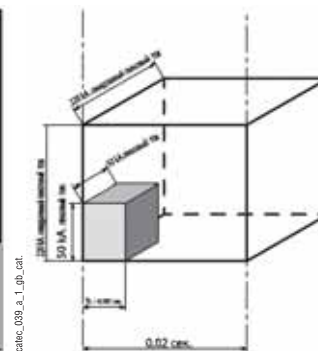


Рис. 4. Ограничение I^2t пропорционально квадрату значения тока.

Выбор предохранителей “gG” и “aM”

При выборе системы защиты нужно принимать во внимание три параметра:

- характеристики электросети;
- характеристики установки;
- характеристики цепи.

Приведенные далее расчеты носят только информационный характер. Пожалуйста, обратитесь в компанию для проведения расчетов для вашего конкретного оборудования, используемого для решения отдельных прикладных задач.

Характеристики электросети

Напряжение

Предохранитель нельзя использовать с действующим напряжением, превышающим его номинальное напряжение. Он нормально работает при более низком напряжении.

Частота

- $f < 5$ Гц: рабочее напряжение (U_e) считается эквивалентным постоянному напряжению и $U_e = U_{max}$.
- $5 \leq f < 48$ Гц:

$$U_e \leq k_u \times U_n$$

f (в Гц)	5	10	20	30	40
k_u	0.55	0.65	0.78	0.87	0.94

k_u : коэффициент уменьшения номинального напряжения в соответствии с частотой.

- $48 \leq f < 1000$ Гц: изменение номинального напряжения отсутствует.

Ток короткого замыкания

После определения значения, его нужно проверить (оно должно быть меньше разрывной мощности предохранителей):

- 100 kA действующее значение для размеров 14 x 51, 22 x 58, T00, T0, T1, T2, T3, T4, T4A;
- 50 kA действующее значение для размеров 10.3 x 38.

Характеристики установки

Установка заземления

В зависимости от режима заземления нейтрали, предохранители обладают одной или двумя защитными функциями:

- защита от токов перегрузки A;
- защита от непрямого контакта B.

РЕЖИМ	ЗАЩИТА
TT	A
IT	A + B
TNC	A + B
TNS	A + B

Характеристики цепи

Использование предохранителя ограничено температурой воздуха (t_a), окружающего устройство.

$$I_{th} u \leq I_n \times Kt$$

I_{thu} : рабочий тепловой ток: максимальный непрерывный ток, допускаемый устройством в течение 8 часов в определенных условиях работы;

I_n : номинальный ток предохранителя;

Kt : коэффициент, приведенный в таблице ниже.

t_a	Kt			
	gG предохранитель		aM предохранитель	
	Основание предопр.	Оборудование и соединение	Основание предопр.	Оборудование и соединение
40 °	1	1	1	1
45 °	1	0.95	1	1
50 °	0.93	0.90	0.95	0.95
55 °	0.90	0.86	0.93	0.90
60 °	0.86	0.83	0.90	0.86
65 °	0.83	0.79	0.86	0.83
70 °	0.80	0.76	0.84	0.80

Если предохранитель установлен в вентилируемом корпусе, необходимо перемножить величины Kt и K_v .

- Скорость воздуха $V < 5$ м/с. $K_v = 1 + 0,05 V$

- Скорость воздуха $V \geq 5$ м/с. $K_v = 1,25$

Пример: Предохранитель gG установлен в вентилируемом корпусе.

- температура внутри ограждения: 60° C;

- скорость воздуха: 2 м/с.

$$K_v = 1 + 0,05 \times 2 = 1,1;$$

$$Kt = 1,1 \times 0,86 = 0,95.$$

Предохранители

Выбор предохранителей “gG” и “aM” (продолжение)

Характеристики цепи (продолжение)

Предупреждения при использовании на высотах >2000 м

- Отсутствует изменение номинального тока.
- Ограничена разрывная мощность. Пожалуйста, обратитесь к производителю.
- Рекомендуется изменение номинального размера.

Установка перед изолирующим трансформатором

При включении ненагруженного трансформатора происходит большой бросок тока. На первичной обмотке устанавливают предохранитель aM, способный выдержать повторные перегрузки. Вторичная обмотка защищается предохранителями gG.

Установка перед двигателем

За защиту двигателя обычно отвечает тепловое реле. Защита проводников, подводящих ток к двигателю, обеспечивается предохранителями aM или gG. В таблице А приведены номинальные мощности предохранителей, которые подбираются соответственно тепловому реле и с учетом мощности двигателя.

Примечание:

- Величина номинального тока двигателя варьируется среди производителей. В таблице А приведены стандартные величины.
- Предохранители aM с точки зрения применения предпочтительнее предохранителей gG.
- В случае частых запусков или в тяжелых условиях пуска (прямой запуск при токе $>7 I_n$ в течение 2 или более секунд или запуск при токе $>4 I_n$ в течение 10 или более секунд) рекомендуется выбирать больший размер, чем приведен в таблице. Тем не менее, необходимо проверить согласованность избирательности между предохранителем и прерывателем цепи (см. стр. D.52).
- Если предохранитель aM плавится, рекомендуется заменить предохранители во всех трех фазах.

Таблица А. Защита двигателей с помощью предохранителей aM.

Двигатель									
400 В			500 В			Мощность	Рекомендуемый размер	Соотв. выключатель с предохранителем рек-мого размера	
кВт	л/с	в А	кВт	л/с	в А				
7.5	10	15.5	11	15	18.4	20	10 x 38 or 14 x 51	FUSERBLOC 32A CD	
11	15	22	15	20	23	25	10 x 38 or 14 x 51		
15	20	30	18.5	25	28.5	40	14 x 51	FUSERBLOC 50A	
18.5	25	37	25	34	39.4	40	14 x 51		
22	30	44	30	40	45	63	22 x 58	FUSERBLOC 100 A or 125A	
25	34	51	40	54	60	63	22 x 58		
30	40	60	45	60	65	80	22 x 58		
37	50	72	51	70	75	100	22 x 58		
45	60	85	63	109	89	100	22 x 58		
55	75	105	80	110	112	125	T 00	FUSERBLOC 160A	
75	100	138	110	150	156	160	T 0		
90	125	170	132	180	187	200	T 1	FUSERBLOC 250A	
110	150	205	160	220	220	250	T 1		
132	180	245	220	300	310	315	T 2	FUSERBLOC 400A	
160	218	300				315	T 2		
200	270	370	250	340	360	400	T 2		
250	340	475	335	450	472	500	T 3	FUSERBLOC 630A	
315	430	584	450	610	608	630	T 3		
400	550	750	500	680	680	800	T 4	FUSERBLOC 1250A	

Номинальный ток предохранителя

должен быть больше или равен двойному номинальному току конденсаторной установки.

$$I_n \geq 2 I_c$$

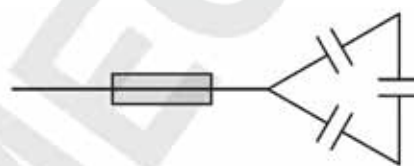


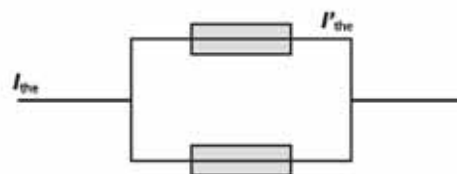
Таблица В. Номинальная мощность предохранителя для конденсаторной батареи 400 В.

Емкость (кВАр)	5	10	20	30	40	50	60
Пр-тель gG (A)	20	32	63	80	125	160	200

Емкость (кВАр)	75	100	125	150
Пр-тель gG (A)	200	250	400	400

Параллельное соединение предохранителей

Единственное соединение, возможное между двумя предохранителями одного размера и мощности, - параллельное.



$$I_{the} = I'_{the} \times 2$$

Общий ограниченный пик $I_{sc} =$
 = ограниченный пик $I'_{sc} \times 1.59$
 Общий $A^2t = A'^2t \times 2.52$

I'_{the} : тепловое напряжение.

Использование при постоянном токе

Преддуговое время для постоянного тока совпадает с преддуговым временем для переменного тока. Временные-токовые характеристики и ток отсечки действительны при использовании предохранителей при переменном токе. С другой стороны, время горения дуги для постоянного тока значительно выше, так как отсутствует возврат к нулевому напряжению.

МАКСИМАЛЬНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ

Переменный ток	Постоянный ток
400 В	260 В
500 В	350 В
690 В	450 В

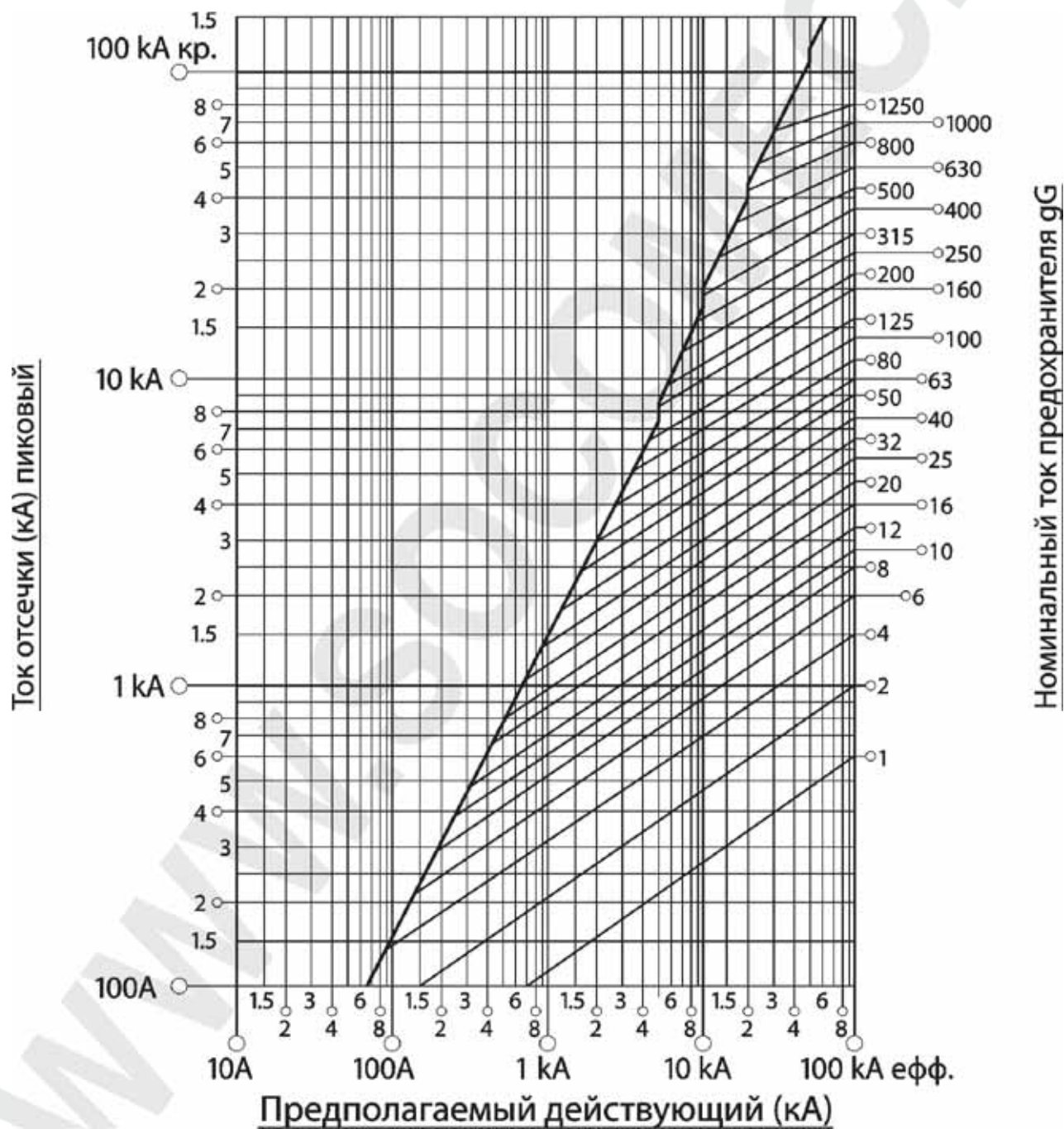
Рекомендуется использовать предохранители большего размера при тех же номиналах; размеры 10 x 38 и 14 x 51 предназначены для цепей $\leq 12A$.

Для цепи с высокой индуктивностью рекомендуется последовательная установка предохранителей на положительном полюсе.

Использование предохранителей aM для постоянного тока невозможно.

Графики технических характеристик предохранителей "gG"

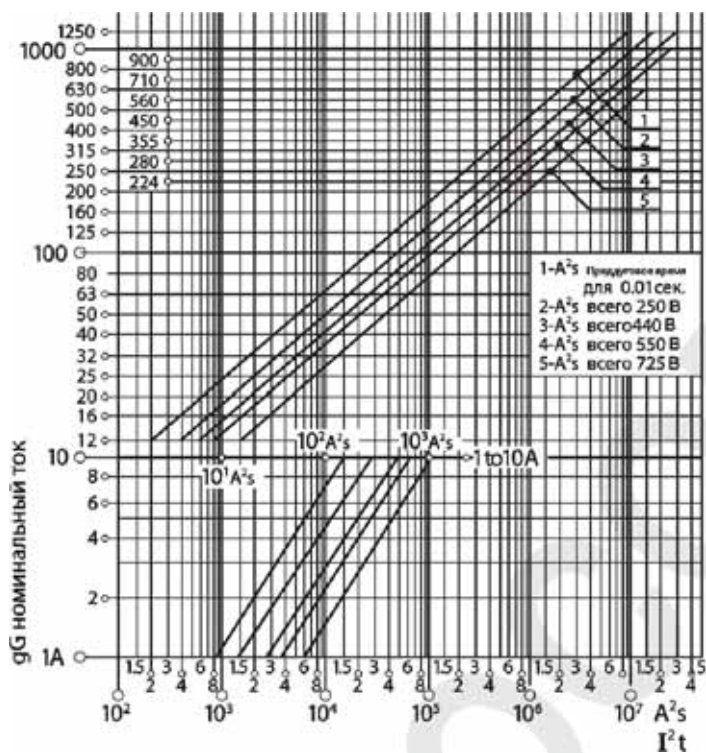
► Диаграмма тока отсечки



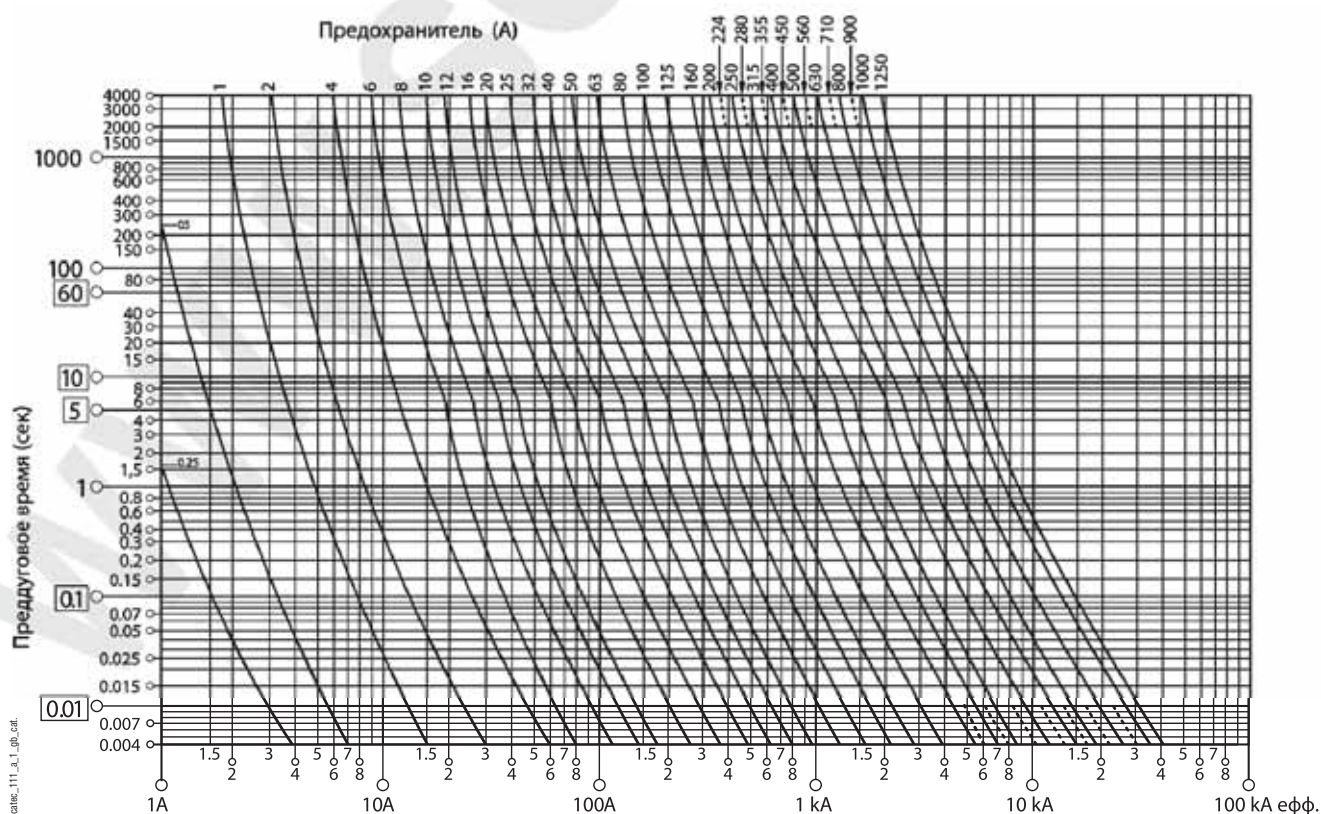
Предохранители

Графики технических характеристик предохранителей “gG” (продолжение)

► График теплового ограничения

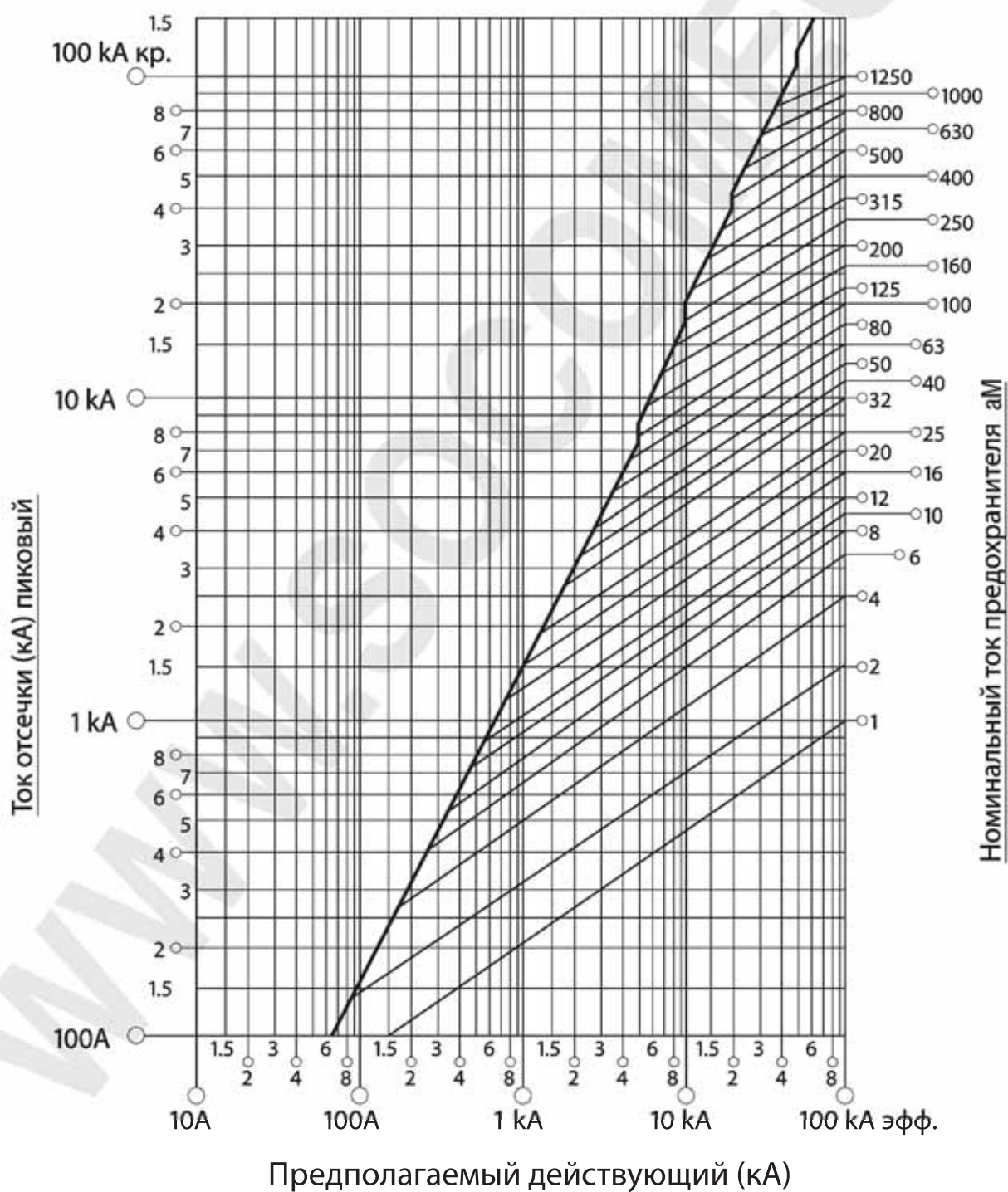


► Рабочие характеристики времени/тока (стандарт IEC или BS)



Графики технических характеристик предохранителей “аМ”

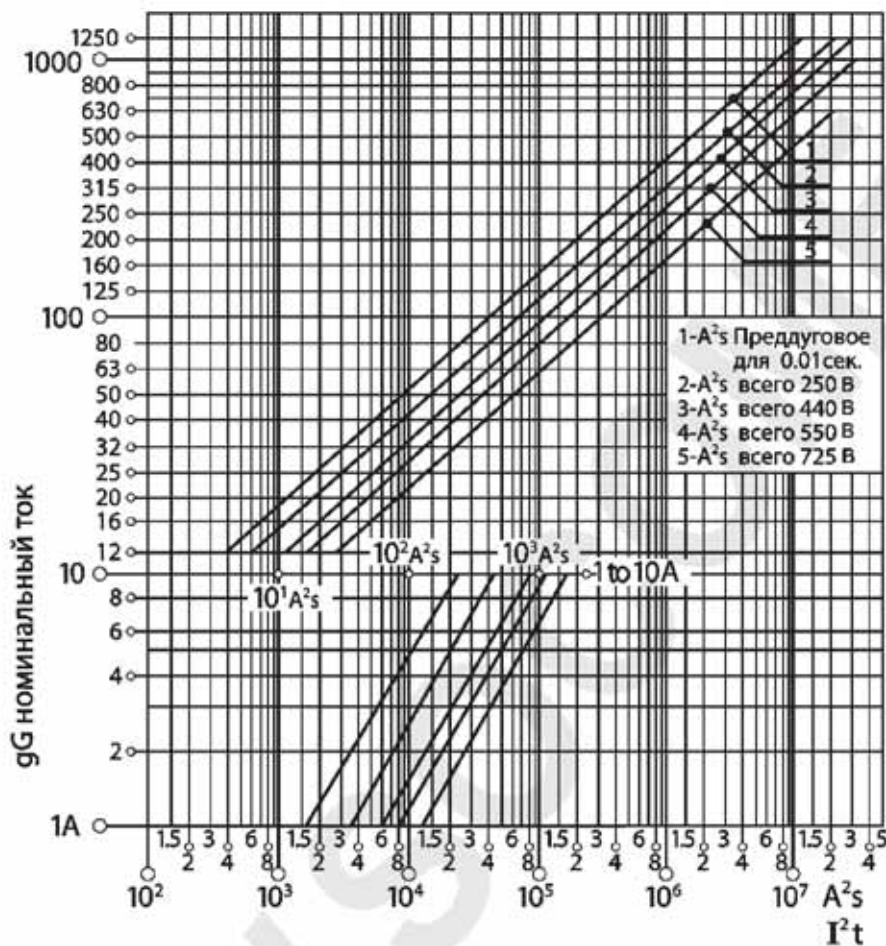
► График тока отключения



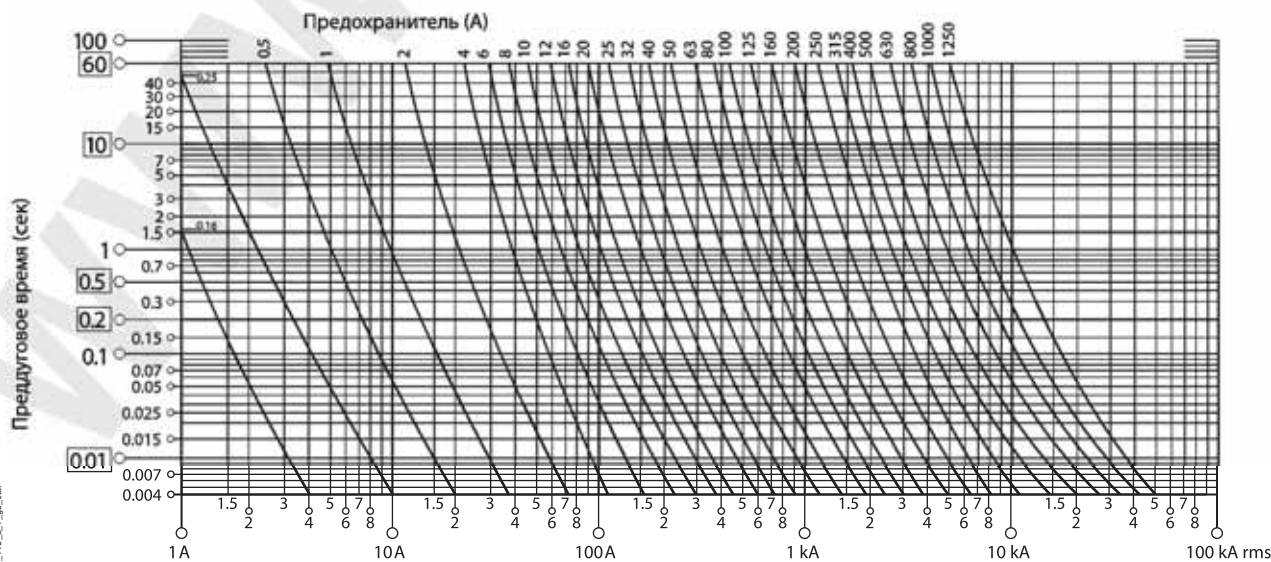
Предохранители

Графики технических характеристик предохранителей “aM” (продолжение)

► График теплового ограничения



► Временные/токовые характеристики (стандарт IEC)



Быстродействующие предохранители

Быстрые предохранители обеспечивают защиту от токов короткого замыкания. Они устроены таким образом, что полное рабочее время этих предохранителей меньше, чем у предохранителей gG и aM.

Данный тип предохранителей используется обычно для мощных полупроводниковых устройств (величина I_{2t} быстродействующего предохранителя меньше I_{2t} защищаемого полупроводникового устройства).

Необходимо избегать перегрузок ($I \sim 2 I_n$, $t \geq 100$ секунд). В случае необходимости нужно установить другое устройство, которое обеспечило бы защиту от перегрузок.

Определение параметров быстродействующего предохранителя является довольно точной процедурой, которая в некоторых случаях может оказаться сложной для выполнения. Приведенный ниже метод представляет собой первый этап.

Пожалуйста, проконсультируйтесь с компанией по поводу конкретных вариантов использования.

Выбор быстродействующих предохранителей

Тепловое напряжение

Быстрые предохранители сконструированы для защиты полупроводниковых устройств.

У каждого полупроводникового устройства есть определенный максимальный I_{2t} , представляющий собой важнейший фактор, который необходимо учитывать при выборе подходящего предохранителя в большей степени, чем тепловую мощность. Для эффективной защиты I^2t для предохранителя должно быть на 20% меньше, чем I^2t повреждения полупроводникового устройства.

Пример: Диод 30 A/400 В выдерживает максимальный I^2t , равный 610 A²с. Максимальный I^2t соответствующих быстродействующих предохранителей составит 610 · 20% = 488 A²с при 400 В.

Напряжение

I^2t (см. общий каталог) обычно дается для 660 В. При другом напряжении требуется следующая поправка:

$$(i^2t) \text{ В} = K_v \times (i^2t) \text{ 660 В}$$

Пример: для $U = 400 \text{ В}$ $K_v = 0.6$

$(i^2t) \text{ 400 В} = 0.6 \times (i^2t) \text{ 660 В}$

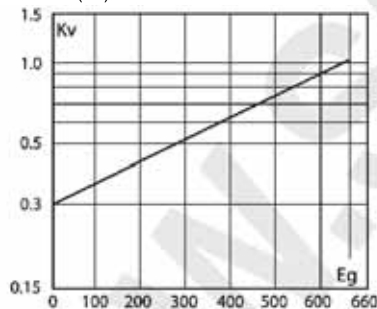


Рис. 1. Поправочный коэффициент K_v .

K_v поправочный коэффициент для I^2t ;

E_g значение действующего рабочего напряжения.

Коэффициент мощности: Представленный в общем каталоге I^2t дается для коэффициента мощности 0.15 (cos взятой по умолчанию цепи). Для остальных значений коэффициента мощности нужно умножить значение I^2t на K_u .

коэффициент мощности	0.1	0.15	0.2	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50
K_u	1.04	1.00	0.97	0.93	0.90	0.87	0.85	0.82	0.81

Номинальный ток

После нахождения максимального I_{2t} предохранителя следует принять во внимание значение номинального тока.

Пример: В предыдущем примере максимальный I^2t быстродействующего предохранителя был задан таким образом: 488 A²с при 400 В. При 660 В это значение соответствует: $488/0.62 = 787 \text{ A}^2\text{с}$. Ток в цепи составляет 20А.

Обратите внимание, что в быстродействующем предохранителе 25А при 660 В значение I^2t составляет 560 A²с.

Выбор быстродействующих предохранителей (продолжение)

Поправка с учетом температуры окружающего воздуха.

Номинальная мощность быстродействующего предохранителя представлена для температуры окружающего воздуха 20° С. Максимальный рабочий ток I_b рассчитывается так:

$$I_b = K_{T_{\text{air}}} \times (1 + 0.05 v) \times I_n$$

• I_n : номинальный ток предохранителя (А);

• v : скорость охлаждающего воздуха (м/с);

• $K_{T_{\text{air}}}$: значение, приведенное на рис. 2, соответствует температуре воздуха возле предохранителя.

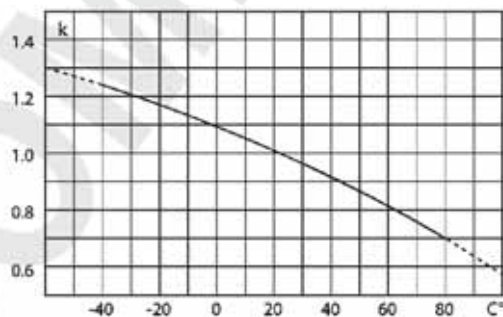


Рис. 2. Поправочный коэффициент $K_{T_{\text{air}}}$.

Последовательное соединение

Не рекомендуется при токе повреждения, недостаточном для того, чтобы расплавить предохранитель за время, меньшее 10 мс.

Параллельное соединение

Соединять параллельно можно предохранители одинаковой номинальной мощности и размера. Обычно это соединение производится компанией-изготовителем.

При параллельном соединении необходимо уделять внимание тому, чтобы рабочее напряжение не превышало 90% от номинального напряжения предохранителя.

Циклическая перегрузка

Пожалуйста, обратитесь в нашу компанию.

Потеря мощности (в ваттах)

Об этом идет речь в общем каталоге: соответствует потере мощности при номинальном токе.

Для того, чтобы использовать ток I_b , отличный от I_n , потерю мощности в ваттах, нужно умножить на величину K_p , приведенную ниже на графике.

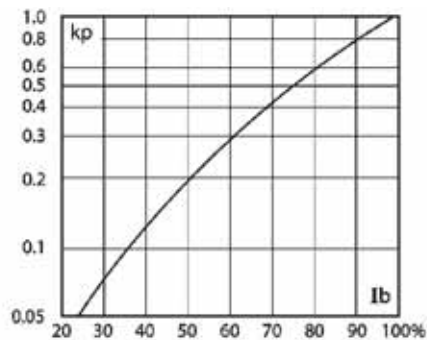


Рис. 3. Значение поправки K_p .

K_p : значение поправки на потери;

I_b : действующее значение токовой нагрузки в % от номинального тока.

Предохранители

Разграничение

Разграничение предохранителей

Разграничение низковольтных и высоковольтных предохранителей

Срабатывание низковольтного предохранителя не должно приводить к плавлению высоковольтного предохранителя, установленного на первичной обмотке понижающего трансформатора.

Для этого необходимо, чтобы нижняя часть кривой для высоковольтного (HV) предохранителя нигде не пересекалась с верхней частью кривой для низковольтного предохранителя (LV) до максимального для LV предела.

I_{sc} (См. стр. расчетов D.22).

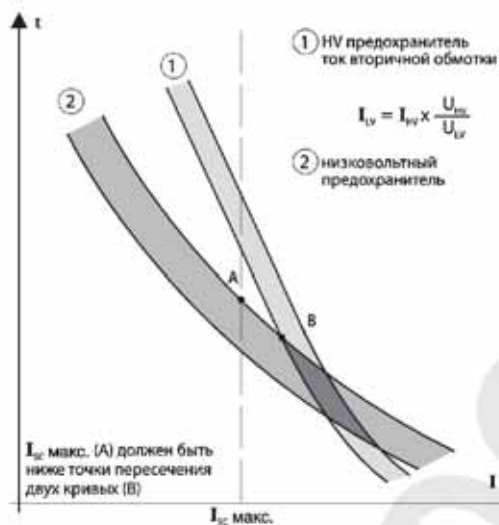


Рис. 1. Селективность HV и LV предохранителей.

Селективность в сетях, питающихся от ИБП (источника бесперебойного питания)

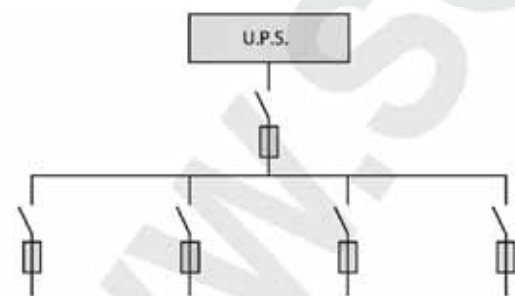


Рис. 2. Сеть, питающаяся от ИБП.

Селективность защитных устройств очень важна для сетей, питающихся от ИБП, где срабатывание защиты не должно отражаться на работе остальной части сети.

При разграничении нужно учитывать две особенности данных цепей:

- низкий ток повреждения (около $2 \times I_n$);
 - максимальное время повреждения обычно устанавливается на уровне 10 мс.
- Для удовлетворения этим критериям и обеспечения селективности защиты, ток в каждом направлении не должен превышать значений, указанных в таблице ниже:

Защита с помощью	Максимальный пусковой ток
Предохранителя gG	$\frac{I_n}{6}$
Быстрого предохранителя	$\frac{I_n}{3}$
Небольшого размыкателя цепи	$\frac{I_n}{8}$

Разграничение между предохранителями и автоматическими выключателями

Предохранитель ставится перед автоматическим выключателем превышения тока. Выключатель состоит из контактора и термореле.

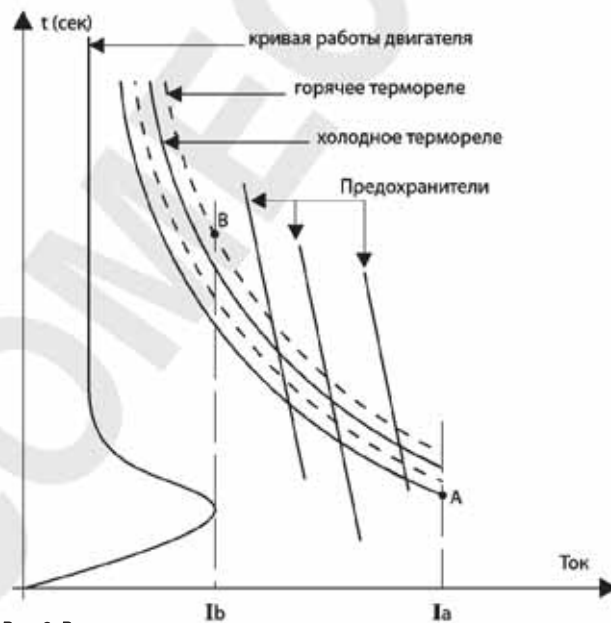


Рис. 3. Разграничение между предохранителями и автоматическими выключателями.

Кривые предохранителей, соединенных с выключателем превышения тока, должны проходить через точки A и B, соответствующие:

- I_a : разрывной способности выключателя;
- I_b : пусковому току двигателя.

Тип пуска	$I_b^{(1)}$	Время пуска ⁽¹⁾
Прямой	$8 I_n$	от 0.5 до 3 сек.
Со звезды на треугольник	$2.5 I_n$	от 3 до 6 сек.
Статорный пуск		$4.5 I_n$ от 7 до 12 сек.
Пуск через автотр-ор	1.5 до $4 I_n$	от 7 до 12 сек.
Роторный пуск	$2.5 I_n$	от 2.5 до 5 сек.

(1) Средние значения. Могут значительно изменяться в зависимости от типа двигателя и ресивера.

Температурное напряжение предохранителя должно быть ниже температурного напряжения выключателя превышения тока.

Выбирайте предохранители наиболее высокого номинала для минимизации рассеивания мощности.

Разграничение (продолжение)

Разграничение между размыкателями цепи и предохранителями

Продуманное сочетание предохранителей с другими устройствами (размыкатели цепи и т.д.) обеспечивает хорошую селективность и достижение оптимальной экономичности и безопасности.

Предохранитель выше по цепи – размыкатель ниже по цепи.



- Кривая преддугового плавления должна находиться выше точки А (рис. 1).
- Кривая полного срабатывания предохранителя должна пересекать кривую размыкателя цепи ниже точки значения I_{sc} (предельная разрывная способность).
- После точки пересечения, значение I^2t предохранителя должно быть ниже аналогичного значения размыкателя цепи.
- Значение I^2t предохранителя и размыкателя цепи всегда должно быть ниже аналогичного значения для кабеля.

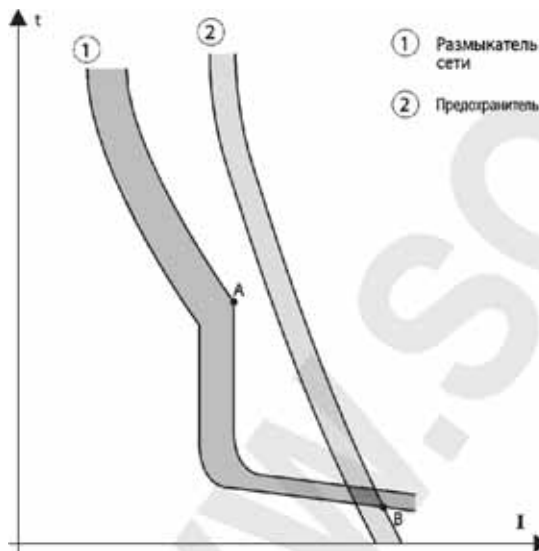
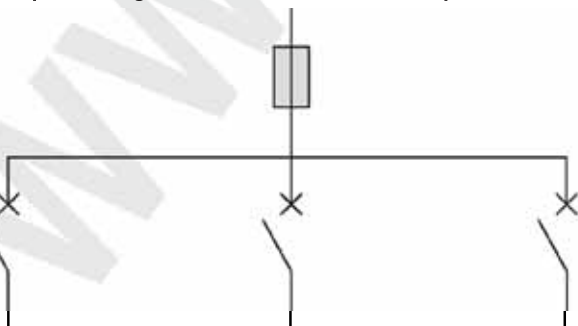


Рис. 1. Разграничение между предохранителями и размыкателями цепи.

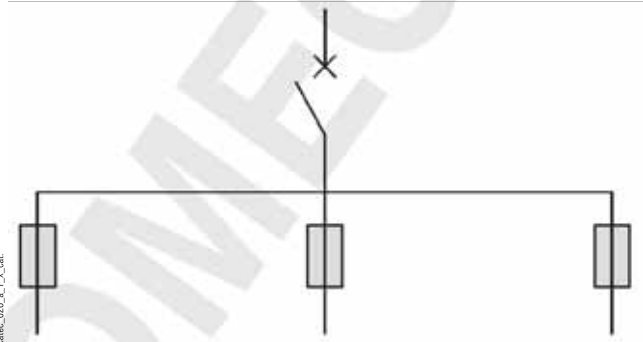
Предохранитель gG выше по цепи – несколько размыкателей



- Номинал предохранителя должен быть больше суммы одновременных токов нагрузки размыкателей.
- Кривая перегорания предохранителя должна находиться выше точки А размыкателя наивысшего номинала.

- Точка пересечения В (см. рис. 1) должна быть ниже, чем наименьшая предельная разрывная мощность размыкателя цепи.
- После точки В, общее значение I^2t предохранителя должно быть меньше значения I^2t любого из расположенных выше размыкателей.

Размыкатель цепи выше по цепи – несколько предохранителей ниже по цепи



- Разрывная способность всех предохранителей и размыкателей должна быть выше, чем максимальный ток КЗ для данной цепи.
- Термоуставки размыкателя цепи (I_r) должны соответствовать следующей формуле:
 $1,05 I_r \geq I_1 + I_2 + \dots + I_n$
 $I_1 + I_2 + \dots + I_n$ – сумма токов, защищенных предохранителями в каждом направлении.
- значение тока I_r также должно отвечать следующим условиям:

$$I_r \geq K_d \times I_n$$

I_n – номинал предохранителя в цепи с наивысшей нагрузкой.

Таблица А. Значения K_d (в соответствии с IEC 269-2-1).

gG ТОК ПРЕДОХРАНИТЕЛЯ (I_n) (А)	K_d
$I_n \leq 4$	2.1
$4 < I_n < 16$	1.9
$16 \leq I_n$	1.6

Пример: Цепь с наибольшей нагрузкой защищена gG-предохранителем 100 А. Минимальный установочный ток расположенных выше размыкателей цепи, требуемый для селективности с предохранителем, будет равен:

$$I_r \geq 1,6 \times 100A = 160A.$$

- Значение I^2t предохранителя максимального номинала должно быть меньше, чем значение I^2t , ограничиваемое размыкателем цепи. Последнее в свою очередь должно быть меньше, чем максимальное значение I^2t кабеля.

- I_m (магнитный) – минимальное установочное значение.

$$8 K_d \leq I_m \leq 12 K_d$$

Значения K_d приведены в таблице А.

Предохранители

Разграничение (продолжение)

Общие положения

В случае возникновения неисправности в любой точке установки, селективность защиты позволяет обеспечить разрыв цепи с помощью защитного устройства непосредственно выше данной точки без срабатывания других устройств, расположенных на установке. Селективность обеспечивает непрерывность работы остальной сети.

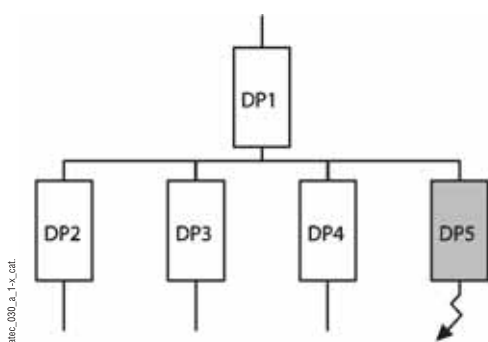


Рис. 1 Неисправность в точке А должна вызвать срабатывание защитного устройства DP5, не оказывая влияния на работу других защитных устройств

- Полная селективность обеспечивается при условии, что зоны время/ток на графике, характеризующие защитные устройства, не пересекаются.

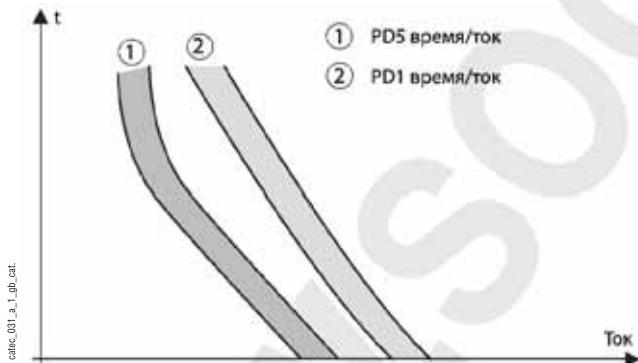


Рис. 2. Полное разграничение.

- Частичная селективность означает разграничение защитных устройств только в пределах одной части их зоны время/ток. Если ток неисправности ниже точки пересечения кривых, то селективность будет полной.

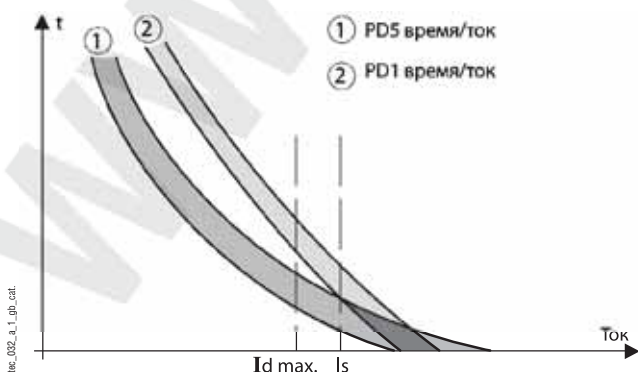


Рис. 3. Частичное разграничение.

Разграничение между предохранителями gG и aM

Полное разграничение достигается выбором предохранителей в соответствии с табл. А и В

(согласно IEC 269 -1 и 269 -2 -1).

Однако, в некоторых случаях будет достаточно частичного разграничения.

Таблица А.

Верх. предохранитель	Нижн. предохранитель	
gG	gG	aM
Номинал (А)		
4	1	1
6	2	2
8	2	2
10	4	2
12	4	2
16	6	4
20	10	6
25	16	8
32	20	10
40	25	12
50	32	16
63	40	20
80	50	25
100	63	32
125	80	40
160	100	63
200	125	80
250	160	125
315	200	125
400	250	160
500	315	200
630	400	250
800	500	315
1000	630	400
1250	800	500

Таблица В.

Верх. предохранитель	Нижн. предохранитель	
aM	gG	aM
Номинал (А)		
4	4	2
6	6	2
8	8	4
10	10	6
12	4	2
16	16	10
20	20	12
25	25	12
32	32	20
40	32	25
50	40	25
63	50	40
80	63	50
100	80	63
125	100	80
160	125	100
200	160	125
250	160	160
315	200	200
400	250	250
500	315	315
630	400	400
800	500	500
1000	500	630
1250	630	800

Разграничение между gG предохранителями и быстродействующими предохранителями

- gG предохранитель выше по цепи – быстродействующий предохранитель ниже по цепи.

Преддуговое время быстродействующего предохранителя должно быть меньше, чем половина преддугового времени предохранителя gG, в диапазоне между 0,1 и 1 сек.

- Быстродействующий предохранитель выше по цепи - gG ниже по цепи.

Номинал быстродействующего предохранителя должен быть как минимум в три раза выше номинала предохранителя gG.

Регулирование потребления энергии DIRIS и COUNTIS

Функции и применение

Введение

Система COUNTIS используется для учета энергии. Система DIRIS используется для измерения электрических параметров, учета и управления электроэнергией (1), мониторинга, контроля/управления и защиты установок.

Все эти функции могут быть централизованы на ПК с использованием программного обеспечения CONTROL VISION или на другом устройстве (например, ПЛК) с использованием интерфейса RS485 с протоколом JBUS/MODBUS или PROFIBUS.

Измерения

Вне зависимости от сети (одно-, двух- или трехфазная), DIRIS измеряет ток (с 1, 2 или 3 токовых клемм) и напряжение 600 или 700 В AC между фазами или с трансформатора напряжения. Кроме этого, позволяет производить расчеты:

- значений истинного действующего (TRMS) ⁽²⁾ тока;
- значений истинного действующего (TRMS) ⁽²⁾ напряжения;
- активной мощности (Вт);
- реактивной мощности (Q) с указанием знака (L - индуктивная; C - емкостная) по следующей формуле: $Q = S^2 - P^2$;
- полной мощности (ВА);
- коэффициента мощности (FP) с указанием знака (L - индуктивная; C - емкостная) по следующей формуле: $FP = P/S$.

Частота (Гц) измеряется на фазе 1 сети.

Учет

Учет активной (кВт*ч) и реактивной (квар*ч) электроэнергии рассчитывается из активной и реактивной мощности. Отражает потребление электроустановки. COUNTIS используется для учета активной энергии на 2 квадрантах. DIRIS используется для учета активной и реактивной энергии на 2 или 4 квадрантах.

Благодаря наличию от 1 до 8 входов ON/OFF (вкл/выкл), есть возможность учета кВт*ч по внешнему сигналу (например: часы-автомат компании-поставщика электроэнергии) или по импульсам, приходящим со счетчиков (воды, газа, электричества и т.д.), или с других систем (размыкающие устройства и т.д.). Кроме того, DIRIS CMv2 имеет 8 субсчетчиков, работающих по времени/дате начала и окончания учета.

Примеры: каждый день с 8 до 12 часов или с 2 часов 01/01/99 до 2 часов 01/02/99.

Показания электроэнергии подаются на 1 программируемый импульсный выход (кВт*ч) (COUNTIS и DIRIS) и на 2й программируемый импульсный выход (квар*ч) (только для CM/CMv2).

(1) С помощью учета визуализируется потребление энергии от источника в реальном времени. Управление потреблением основано на записях за периоды 10 мин.

(2) Значение TRMS также называют истинным действующим значением (RMS). См. раздел «Помехи измерительных устройств».

Регулирование потребления электроэнергии

Учет энергии основан на подсчете активной энергии за период, установленный поставщиком во Франции, этот период составляет 10 минут, в Бельгии или Германии 15 минут.

Чтобы использовать эту функцию, необходимо использовать прибор, способный интегрировать это значение согласно внутреннему (часы DIRIS) или внешнему (сигнал компании энергоснабжения) сигналу синхронизации, и записывать его (память FIFO) до момента подключения к централизованной системе.

Память CM позволяет сохранять значения за период 8 дней при интервале 10 минут и 12 дней при интервале 15 минут. Память CMv2 позволяет запоминать значения за период 28 дней при интервале 10 минут и 42 дней при интервале 15 минут.

Взаимодействию между этими значениями позволяет:

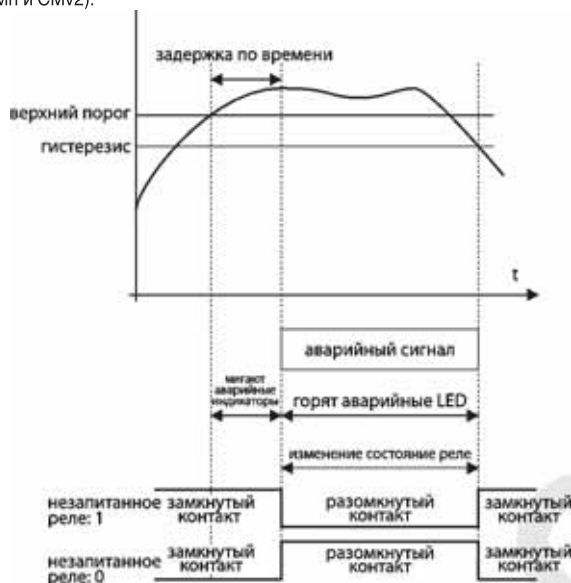
- составления полной потребленной энергии в кВт*ч за определенный период;
- анализ графика потребления;
- показ полной потребленной энергии.

Регулирование потребления энергии DIRIS и COUNTIS

Функции и применение (продолжение)

Мониторинг

Система DIRIS позволяет сконфигурировать сигналы предупреждения для напряжения, тока, активной мощности, коэффициента мощности и частоты (Mh и CMv2).



catc_002_c_1_ru_cat

Рис. 1. Мониторинг верхнего порога.

Каждое аварийное предупреждение характеризуется следующими параметрами:

- порог;

Аварийный порог может быть верхним (превышение напряжения, тока) или нижним (падение напряжения и т.д.).

Применение:

- защита ответственного оборудования в случае падения напряжения в сети;
- мониторинг тока двигателя. Понижение тока ведет к изменению нагрузки (разрыв ремня...);
- мониторинг недостатка напряжения:
 - гистерезиса;
 - задержки по времени;
 - состояния реле;
 - 0: нормально разомкнутое;
 - 1: нормально замкнутое;

Использование нормально замкнутых реле обеспечивает организацию положительного сигнала: реле открывается при потере вспомогательного питания DIRIS, что соответствует аварийному предупреждению.

Использование нормально разомкнутых реле обеспечивает организацию отрицательного сигнала: реле закрывается при потере вспомогательного питания DIRIS, что соответствует аварийному предупреждению.

Примечания:

Для каждого параметра, подлежащего мониторингу, DIRIS:

- определяет правильность конфигурации;
- сохраняет в памяти три последних аварийных предупреждения для каждого параметра, включая:
 - продолжительность сбоя;
 - дату и время;
 - максимальные достигаемые значения.

Контроль и управление

Для осуществления контроля и управления необходимо иметь возможность управлять набором входных и выходных сигналов. DIRIS с 2 - 8 входами и 2 - 6 выходами позволяет оператору удаленно управлять работой устройств. Входы ON/OFF (вкл/выкл), подключенные к вспомогательным контактам, несут информацию о положении (закрытое, открытое) и количестве рабочих циклов (тех. обслуживание).

Выходы реле приводят в действие ряд коммутационных аппаратов (выключатели, контакторы и т.д.), что позволяет распределять нагрузку или остановить процесс. Такая система удаленного контроля легко достигается при использовании последовательного интерфейса RS485, напрямую подключенного к ПК (программное обеспечение CONTROL VISION, например) или к другой системе (PLC, и т.д.).

Коммуникации

Смотрите раздел «Сети связи».

Коммуникации: общие положения

Описание

DIRIS и COUNTIS могут быть подключены к любой системе (ПЛК, ПК и т.д.), использующей интерфейс RS485 и протокол JBUS/MODBUS®.

Коммуникационная функция обеспечивает:

- удаленное считывание результатов измерения системы DIRIS и их обработку на ПК или другом устройстве;
- считывание конфигураций (измерения, аварийные предупреждения и т.д.);
- удаленное конфигурирование (коэффициенты трансформации, аварийные предупреждения и т.д.).

Физический уровень: RS485

- 3-проводная последовательная связь + земля (см. также «Установка связи»);
- Конфигурируемый выход: 1200, 2400, 4800, 9600, 19200 или 38400 бод.;
- Топология: система шин с возможностью подключения до 31 шины на один канал. Для подключения более 31 устройства можно использовать повторители RS485 (проконсультируйтесь с нашим предприятием);
- Максимальная дальность: 1500 м - 9600 бод. Для больших расстояний должны использоваться повторители или разделители RS485 (проконсультируйтесь с нашим предприятием).

Канальный уровень

- Работа в режиме master/slave (главное/подчиненное устройство).

Master (диспетчерское устройство, ПЛК и т.д.)

- опрашивает или посылает команды на каждый DIRIS или другой терминал (slave), который отвечает или выполняет команды;

- опознает каждое подчиненное устройство (slave), идентифицируя его по номеру, который называется адресом. Адрес каждого DIRIS может быть задан в пределах от 1 до 255.

- Канальный уровень также предоставляет возможность контроля отправленного сообщения, что позволяет определять возможные ошибки при передаче.

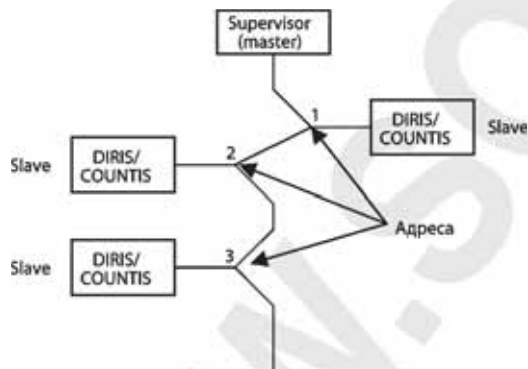


Рис. 1. Работа в режиме master/slave.

Протокол

Jbus/Modbus используется в режиме RTU (режим удаленного терминала) и состоит из шестнадцатеричного кода размером минимум 8 бит. Этот протокол включает в себя диалог master-slave, который может работать в соответствии с двумя принципами:

- master опрашивает slave и ожидает его ответа;
- master опрашивает все slaves один за другим без ожидания ответа от них.

Диалог также называют системой коммуникации. Система состоит из:

Адрес Slave	Код функции	Адрес	Размер
-------------	-------------	-------	--------

Для использования информации наши устройства имеют 4 функции:

Функция 3: для считывания N слов (максимум 128 слов);

Функция 6: для записи слова;

Функция 8: для диагностирования обмена (со счетчиков 1, 3, 4, 5 и 6);

Функция 16: для записи N слов.

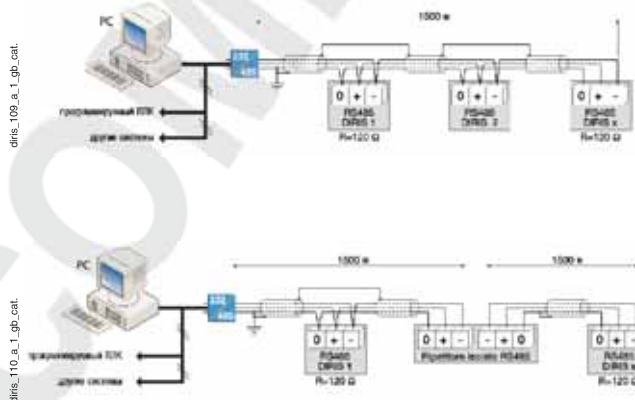
Подключение интерфейса RS485

DIRIS и COUNTIS общаются посредством 3-проводного (L1, L2 и 0 В) последовательного EIA 485 (RS485) с экранированием или без него.

К одному каналу RS485 можно подключать до 31 устройства плюс master (ПЛК или микрокомпьютер), оснащенных интерфейсом RS485.

Количество устройств в сети может быть увеличено путем использования повторителей (максимум 255 на канал связи).

Мы рекомендуем использовать витую пару с проводом заземления. В условиях большого уровня помех рекомендуется использовать 3-х проводниковый экранированный кабель, экранирующая оболочка которого подключена к земле только на одном конце.



На обоих концах канала RS485 необходимо иметь интегрированную в DIRIS резистивную нагрузку 120 Ом.

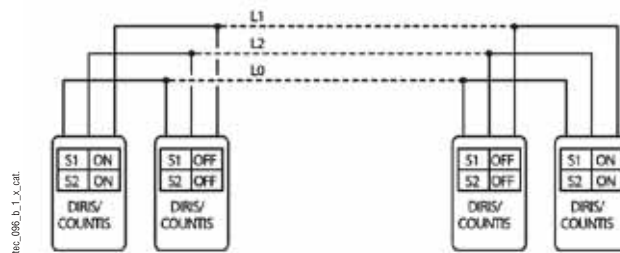


Рис. 3. Пример подключения DIRIS.

Мы рекомендуем использовать кабели следующих типов:

- LIYCY 2 витых пары с общим экраном (минимальное сечение 0,34 мм²);
- LIYCY-CY 2 витых пары с экранированием каждой пары плюс общее экранирование (минимальное сечение 0,34 мм²).

Примечание: все устройства, подключенные к каналу RS485, должны иметь разные адреса (адреса JBUS/MODBUS®).

Регулирование потребления энергии DIRIS и COUNTIS

Коммуникационная схема

Таблица адресации DIRIS M

Считывание информации (функция 3).

АДРЕС В НЕХА.	КОЛ-ВО СЛОВ ⁽¹⁾	ИМЯ	ЕД. ИЗМ.
700	1	0 для СТ с 1А вторичным тр-ом 1 для а СТ с 5А вторичным тр-ом	A
701	1	Фаза 1	0.1 А
703	1	Фаза 2	0.1 А
705	1	Фаза 3	0.1 А
707	1	ток нейтрали	0.1 А
709	1	Напр. между фазой 1 и нейтралью	0.1 В
70B	1	Напр. между фазой 2 и нейтралью	0.1 В
70D	1	Напр. между фазой 3 и нейтралью	0.1 В
70F	1	Напряжение между фазами 1 и 2	0.1 В
711	1	Напряжение между фазами 2 и 3	0.1 В
713	1	Напряжение между фазами 1 и 3	0.1 В
715	1	Активная энергия	0.1 кВт
717	1	Реактивная энергия	0.1 кВАр
719	1	Очевидная энергия	0.1 кВА
71B	1	Энергия	/
71D	1	Частота	0.1 Гц
71F	1	I1 макс.	0.1 А
721	1	I2 макс.	0.1 А
723	1	I3 макс.	0.1 А
725	1	P макс.	0.1 кВт
727	1	активная энергия + (4 верхние цифры)*	
729	1	активная энергия + (3 нижние цифры)*	кВт*ч
72B	1	реактивная энергия + (4 верхние цифры)*	
72D	1	реактивная энергия + (3 нижние цифры)*	квар*ч
72F	1	активная энергия + (4 верхние цифры)*	
731	1	активная энергия + (3 нижние цифры)*	кВт*ч
733	1	реактивная энергия + (4 верхние цифры)*	
735	1	реактивная энергия + (3 нижние цифры)*	квар*ч
737	1	знач. Р 0 =+ и 1 =-	/
738	1	знач. Q и PF 0 =+ и 1 =-кВАр	/

(1) размер данного поля: 30 слов или 1E в шестнадцатеричной системе (с опцией 4 квадрантов) - 24 слова или 18 в шестнадцатеричной системе (без опции 4 квадрантов).

* точка-разделитель разрядов на дисплее.

Пример:

Для считывания 3650 кВт*ч необходимо послать следующее сообщение:

Втор.	Функция	Адрес верх. рег.	Адрес нижн. рег.	Кол-во слов верх. рег.	Кол-во слов нижн. рег.	CRC 16
05	03	07	27	00	02	74F0

Ответ DIRIS M:

Втор.	Функция	Количество байт	Значение верх. рег.	Значение нижн. рег.	CRC 16
05	03	04	0003	028A	CF34
			3	650 kWh	

Пример:

Для отображения всех значений в одном опросе, необходимо отправить следующую схему:

Втор.	Функция	Адрес верх. рег.	Адрес нижн. рег.	Кол-во слов верх. рег.	Кол-во слов нижн. рег.	CRC 16
05	03	07	00	00	1E	C532

Запись устройств (функция 6 или 16).

АДРЕС В НЕХА.	КОЛ-ВО СЛОВ ⁽¹⁾	ИМЯ	ЕД. ИЗМ.
100	1	Первичный СТ	1 А
102	1	Задержка импульсного выхода	10 Вт*ч
104	1	Тип сети: 0: 3 Lb 1: 3 Lnb 2: 4 Lb 3: 4 Lnb	/
105	1	Частота 0: 50 Гц и 1: 60 Гц	Гц
106	1	Суммарное время энергии	1 минута
107	1	Суммарное время тока	1 минута
108	1	Изменение параметров	500 мс
10A	1	Изменение измерений	500 мс
500	1	Сброс	/

(1) размер данного поля: 9 слов или 9 в шестнадцатеричной системе.

Рекомендации:

После изменения параметров нужно сделать резервную копию по адресу 500.

Пример:

Конфигурирование первичной обмотки трансформатора 10 А на DIRIS № 5:

Втор.	Функция	Адрес верх. рег.	Адрес нижн. рег.	Кол-во слов верх. рег.	Кол-во слов нижн. рег.	CRC 16
05	06	01	00	00	0A	09B5

Ответ DIRIS M идентичен отосланному сообщению.

Измерения

Инструкция по установке

► Ферромагнитное оборудование



Состоит из двух отталкивающихся магнитов (один фиксированный, второй подвижный и прикрепленный к игле), помещенных внутри катушки, к которой подключается измеряемый ток.

Магнитоэлектрическое оборудование считывает среднеквадратичные сигналы: влияние формы кривой в расчет не принимается. Также может использоваться для сигнала постоянного тока, однако это отрицательно сказывается на точности измерений.

Простота прибора позволяет его применять для измерения переменных токов на низковольтных щитах.

► Магнитоэлектрическое оборудование



Измеряет ток, протекающий через подвижную катушку, помещенную в магнитное поле постоянного магнита. Под действием электромагнитных сил катушка отклоняется пропорционально величине тока. Принимая во внимание низкое потребление, является отличным измерительным устройством для измерения низких сигналов постоянного тока.



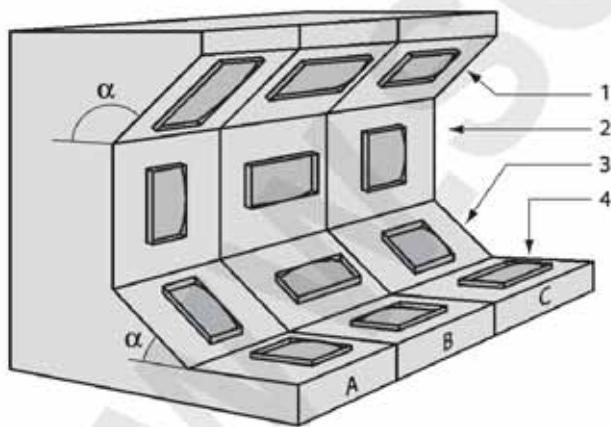
► Магнитоэлектрическое оборудование с выпрямителем

Т.к. магнитоэлектрический гальванометр является поляризованным устройством постоянного тока, он способен измерять высокие значения переменного тока после добавления диодного выпрямителя.

► Рабочее положение

Индикаторы ROTEX и DIN оснащены калибровочными шкалами для использования в вертикальном положении. Возможно использование в другом положении без заметного влияния на точность измерений.

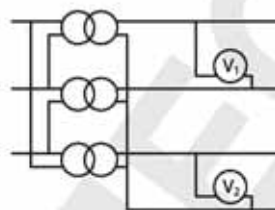
Индикаторы могут быть откалиброваны для эксплуатации в других положениях по требованию (указывается при заказе).



1: $\alpha > 90^\circ$; 3: $\alpha < 90^\circ$;
2: $\alpha = 90^\circ$; 4: $\alpha = 0^\circ$;

► Использование трансформаторов напряжения (VT)

Цепь 3 VT: сеть 63 кВ – VT 63 кВ / 100 В / $\sqrt{3}$

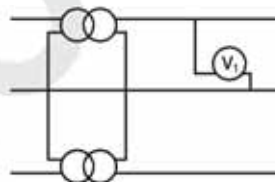


Вольтметр 100 В = 63 кВ измеряет низковольтное напряжение между фазами и показывает высоковольтное напряжение между фазами.

Вольтметр 100 В / $\sqrt{3}$ = 63 кВ измеряет низковольтное напряжение фазы и показывает высоковольтное напряжение фазы.

2 VT в цепи "V" : сеть 63 кВ - VT: 63 кВ / 100 В

(использование: измерение 3 значений напряжения на 2 VT)



Вольтметр 100 В = 63 кВ измеряет низковольтное напряжение между фазами и показывает высоковольтное напряжение между фазами.

► Преобразователь мощности

Пример: Калибровка преобразователя активной мощности:

СТ 20 / 5 А, U = 380 В, трехфазные сети, $\cos \varphi = 1$.

Стандартная калибровка:

$P' \text{ (преобр.) } U I \cos \varphi \sqrt{3} = 380 \text{ В} \times 5 \text{ А} \times 1 \times 1.732 = 3290 \text{ Вт}$.

Таким образом, 20 А СТ P = 3290 Вт x 20 / 5 = 13,16 кВт.

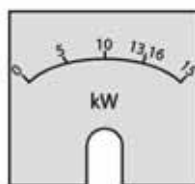
на выходе преобразователя: 0 мА = 0%; 20 мА = 100% нагрузка.

• Калибровка цифрового дисплея, порогового реле или BMS (система диспетчеризации инженерного оборудования): Цифровой дисплей может быть откалиброван для отображения 13,16 кВт при 20 мА, таким образом, калибровка преобразователя не требуется.

• Калибровка стрелочного индикатора (шкала от 0 до 15 кВт). Калибровка производится при 20 мА по нижнему пределу шкалы. Соответствующее устройство не поддается регулировке, поэтому калибровка преобразователя будет производиться следующим образом:

$$P' \text{ (преобр.)} = \frac{15 \text{ кВт}}{13,16 \text{ кВт}} \times 3290 \text{ кВт} = 3750 \text{ Вт for 20 мА};$$

$$I' \text{ (выход преобр.)} = \frac{13,16 \text{ кВт}}{15 \text{ кВт}} \times 20 \text{ мА} = 17,55 \text{ мА};$$



3290 Вт => 13,16 кВт => 17,55 мА;

3750 Вт => 15 кВт => 20 мА.

Измерения

Инструкция по установке (продолжение)

Индекс класса точности

• **Аналоговые измерительные устройства** характеризуются индексом класса (или классом точности). Данное значение показывает максимальную погрешность, выраженную в сотых частях максимального значения шкалы устройства.

Пример: Для амперметра с 50 делениями шкалы, класса 1,5 погрешность будет составлять $1,5/100 \times 50$, то есть 0,75 деления:

- для амперметра 20 А: $20/50 \times 0,75 = 0,3$ А;

- для амперметра 400 А: $400/50 \times 0,75 = 6$ А.

Цифровые устройства могут искажать значение на ± 1 единицу от последней отображаемой цифры в дополнение к реальной погрешности компонентов устройства.

Пример: Трехзначный индикатор (999 положений) с погрешностью 0,5%, подключен к СТ 400/5А, 400А может отображать:

- (а) основная погрешность $400 \times 0,5/100 = \pm 2$ А;

- (b) погрешность дисплея: 1 цифра, т.е.: ± 1 А;

- максимальная погрешность: (а) + (b) = ± 3 А (при номинальной нагрузке).

• **Трансформаторы тока (СТ)** характеризуются классом точности.

Погрешность изменяется в зависимости от нагрузки в следующей закономерности:

Ошибка ($\pm$ % of I_n)							
УРОВЕНЬ ЗАГРУЗКИ	0.1 I_n	0.2 I_n	0.5 I_n	I_n	1.2 I_n	5 I_n	10 I_n
Класс	0.5	1.0	0.75	0.5	0.5	5	5
1	2.0	1.50		1.0			
3			3	3	3		
5			5	5	5		
5P5				5		5	
5P10				5			5

Пример: Трансформаторы 5P5 используются для измерения тока цепи двигателя и гарантируют точность $\pm 5\%$ при $5 I_n$.

Потери в медном кабеле

При выборе мощности трансформатора или преобразователя следует учитывать потери в кабеле для обеспечения корректного функционирования измерительной цепи.

$$\text{Потери (в ВА)} = \frac{I^2 \text{ (в А)} \times 2}{S \text{ (в мм}^2\text{)} \times 56} \times L \text{ (в м)}$$

L: расстояние между трансформатором тока и индикатором.

Потери кабеля в ВА ⁽¹⁾ для 5 А СТ							
L (м)	1	2	5	10	20	50	100
S (мм ²)							
1.0	0.89	1.79	4.46	8.93	17.9	44.6	89.3
2.5	0.36	0.71	1.79	3.57	7.14	17.9	35.7
4.0	0.22	0.45	1.12	2.23	4.46	11.2	22.3
6.0	0.15	0.30	0.74	1.49	2.98	7.44	14.9
10	0.09	0.18	0.45	0.89	1.79	4.46	8.93
Потери кабеля в ВА ⁽¹⁾ для 1 А СТ							
1.0	0.04	0.07	0.18	0.36	0.71	1.79	3.57
2.5	0.01	0.03	0.07	0.14	0.29	0.71	1.43
4.0	-	0.02	0.04	0.09	0.18	0.45	0.89
6.0	-	-	0.03	0.06	0.12	0.30	0.60
10	-	-	0.02	0.04	0.07	0.18	0.36

(1) в расчет принимается только активный компонент потерь.

Суммирующий трансформаторы тока

Суммирующие трансформаторы тока позволяют складывать действующие значения нескольких переменных токов одной фазы. Эти трансформаторы могут иметь разные значения $\cos \phi$.

Суммирующие трансформаторы тока характеризуются:

• количеством подключаемых трансформаторов (с одинаковым отношением числа витков обмоток);

• номинальной рабочей мощностью.

Пример: Измерение в 3-х цепях для записи и индикации:



Записывающее устройство (7,0 ВА) + амперметр (1,5 ВА).

• (а) баланс мощностей на выходе суммирующего трансформатора:

(амперметр + записывающее устройство + потери в измерительной цепи):

$P' = 1,5 \text{ ВА} + 7,0 \text{ ВА} + 1,5 \text{ ВА} = 10,0 \text{ ВА}$.

• (b) баланс мощностей на выходе СТ:

$P = P' + \text{сумма собственного потребления трансформаторов тока}$

$P = 10,0 \text{ ВА} + 4,0 \text{ ВА} = 14,0 \text{ ВА}$ в результате получаем: $P/3$ на каждый трансформатор.

Насыщающийся трансформатор тока

Насыщающиеся трансформаторы используются для подачи питания на мало-мощные термореле с целью их защиты от превышения тока вследствие частых пусков двигателей (насыщающиеся трансформаторы имеются только с выходом 1А).

SOCOMEC различает два типа насыщающихся трансформаторов тока:

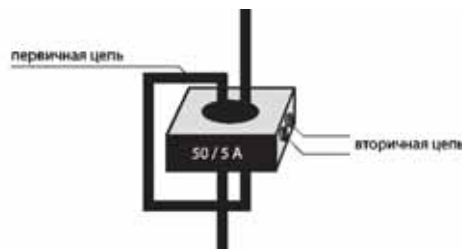
• трансформаторы с насыщением, начинающимся при $4 I_n$ для нормальных пусков (например, насосы);

• трансформаторы с насыщением, начинающемся при $1,5 I_n$ для прерывистых пусков (например, вентиляторы с убранными закрылками).

Выбор отношения числа витков обмоток

При номинальных токах менее 50А возможно использование токовых трансформаторов с более высоким первичным током, при этом первичная линия пропускается через трансформатор несколько раз.

За исключением экономии, данный метод позволяет выбирать различные отношения числа витков обмоток (постоянная эффективность и точность измерений).



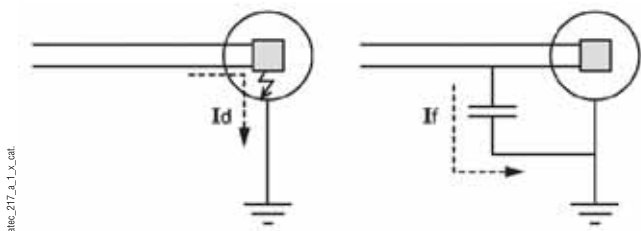
Пример: первичная цепь трансформатора тока 50А.

ИЗМЕРЯЕМЫЙ ПЕРВИЧНЫЙ ТОК	КОЛИЧЕСТВО ПРОХОДОВ
50А	1
25А	2
10А	5
5А	10

Дифференциальная защита

Общие положения

Ток замыкания на землю представляет собой ток, который течет к земле при повреждении изоляции (I_d). Утечкой тока на землю является вытекание тока из токоведущих частей изоляции на землю при отсутствии повреждений изоляции (I_f).



Прибор остаточного тока (Residual Current Device (RCD)) согласно IEC 755 сконструирован для обнаружения утечки на землю или тока замыкания, появляющегося обычно ниже места его установки.

К основным типам дифференциальных устройств относятся:

- дифференциальные размыкатели цепи;
- дифференциальные выключатели;
- дифференциальные реле, которые не встроены в прерывающее устройство.

Компанией SOCOMEC предлагается полный ассортимент дифференциальных реле, которые смогут удовлетворить требованиям для каждого отдельного случая.

Дифференциальные реле служат двум целям:

- **прерывание питания установки**, если реле подключено к отключающему устройству с автоматическим механизмом прерывания;
- **сигнализация об утечке или токе замыкания** при использовании в качестве сигнального реле.

Система сигнализации

Обеспечивает оповещение в случае обнаружения утечки или тока замыкания на землю, которые еще позволяют проведение профилактических работ персоналом.

Устройство дифференциальной сигнализации состоит из:

- кольцевого сердечника, окружающего токоведущие проводники, подлежащие мониторингу; он определяет остаточный ток с того момента, когда сумма токов в цепи становится отличной от нуля;
- устройства измерения и анализа дифференциального тока, которое при помощи аварийных индикаторов, выходных реле или цифрового выхода подаст сигнал тревоги операторам.

В некоторых случаях могут потребоваться обе функции: и прерывающая, и сигнальная одновременно.

Прерывание питания установки

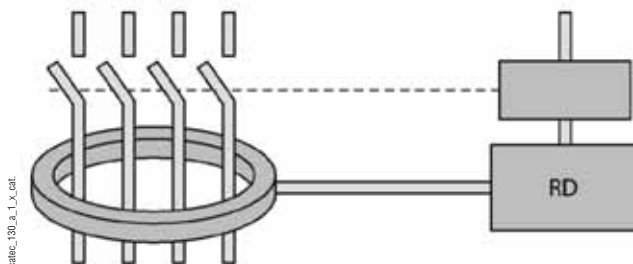
В этом случае дифференциальная защита состоит из:

- кольцевого сердечника, окружающего токоведущие проводники, подлежащие мониторингу; он определяет остаточный ток с того момента, когда сумма токов в цепи становится отличной от нуля;
- устройства измерения и анализа дифференциального тока, которое подает сигнал тревоги;
- устройства прерывания электропитания, которое связано с аварийным реле.

При возникновении опасности (поражение электротоком, пожар, взрыв, неисправная работа машины и т.д.) автоматическое устройство прерывания электропитания выполняет одну или несколько следующих функций:

- защита от непрямого контакта;
- ограничение утечки токов;
- дополнительная защита от прямого контакта;
- защита оборудования или продукции;
- другие.

Дифференциальные реле можно комбинировать в определенных условиях с контакторами, автоматическими прерывателями или выключателями и с выключателями с плавкими предохранителями с размыкающим механизмом из ассортимента SIDERMAT и FUSOMAT SOCOMEC.



Дифференциальная защита

Определения

Номинальный остаточный дифференциальный ток $I_{\Delta n}$

Номинальный остаточный дифференциальный ток, обозначаемый I_n , представляет собой максимальное значение дифференциального тока, который запускает работу устройства.

Его значение обычно выражает чувствительность RCD или номинал (пример: RCD 30 мА). RCD может, согласно стандартам для дифференциальных устройств, произвести отключение при половине своего номинального остаточного дифференциального тока.

Устройства компании SOCOMEC, благодаря измерению действующего тока, могут выдерживать токи до 75% (в классе AC) номинального остаточного тока. Этот уровень точности позволяет производить защиту на том же уровне при больших утечках тока и таким образом обеспечивать лучшую селективность. Значения тока I_n систематизируются согласно трем классам чувствительности:

Чувствительность	Номиналы $I_{\Delta n}$
Низкая чувствительность	20A
	10A
	5A
	3A
Средняя чувствительность	1A
	500 mA
	300 mA
	100 mA
Высокая чувствительность	$\leq 30 \text{ mA}$

Время отключения

Стандарт IEC 60755 предусматривает период максимального времени отключения, выраженного в секундах для дифференциальных устройств, запускающихся от неправильных контактов с токоведущими частями:

Класс	I_n (A)	Значения времени отключения		
		$I_{\Delta n}$ s	$2 I_{\Delta n}$ s	$5 I_{\Delta n}$ s
TA	Любое значение	2	0.2	0.04
TB	Только $\leq 40 \text{ A}$	5	0.3	0.15

Класс TB учитывает комбинации дифференциального реле с отдельным размыкающим устройством. Для защиты от не прямых контактов стандарт установки IEC 60 364 допускает время отключения 1 сек. для разводки цепи, при этом не принимая во внимание напряжение контакта, если необходима селективность. При окончательной разводке дифференциальные устройства, используемые для защиты людей, должны принадлежать к типу быстрого реагирования.

Время отсечки

Стандарт IEC 60755 определяет три класса использования для RCD, в зависимости от типа сети:

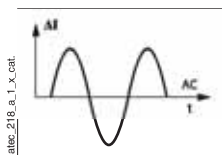
• класс AC

символ:



Пример тока повреждения:

Устройство обеспечивает отключение при остаточных дифференциальных синусоидальных переменных токах.



Классы дифференциальных реле

• класс A

символ:



Пример тока повреждения:

Устройство обеспечивает отключение при остаточных дифференциальных, импульсных переменных токах, постоянная составляющая которых остается ниже 6 мА в период не менее 150° при заданной номинальной частоте.



• класс B

символ:



Пример тока повреждения:

Устройство обеспечивает отключение при дифференциальных токах, соответствующих устройствам класса A, но также при дифференциальных токах, идущих из цепи выпрямителя:

- один полупериод для емкостной нагрузки, вырабатывающей плавный постоянный ток;
- трехфазный ток: одиночный или двойной полупериод;
- однофазный ток: двойной полупериод между фазами;
- любой ток, заряжающий аккумулятор.



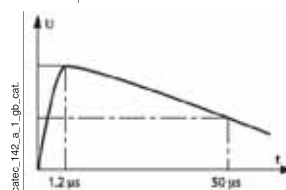
Электромагнитная совместимость (ЭМС)

RCD иногда производит отключение по другим причинам, не только при нарушении изоляции. Причины могут быть разнообразными: бури, эксплуатация устройств с высоким напряжением, токи короткого замыкания, пуск двигателей, близкое соседство с люминесцентными лампами, емкостными нагрузками, электромагнитные поля, электростатические разряды.

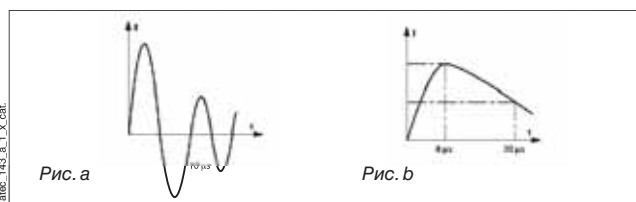
RCD с достаточной невосприимчивостью к этим неисправностям помечены специальной маркировкой.



Вспомогательные источники питания дифференциальных реле компании SOCOMEC основательно защищены от ложных тревог и повреждения компонентов в случае превышения напряжения из-за молнии или эксплуатации устройств высокого напряжения (смотрите, напротив).



Принцип измерения цифровой выборкой дифференциального сигнала и выбор материалов сердечника гарантирует хорошее сопротивление дифференциальных реле в случае волны переходного тока, появляющейся на замыкании цепей с высокой емкостью (рис. а) или при электрическом пробое изоляции из-за перенапряжения (рис. б).



Применение

Обеспечение защиты установки

- Общая селективность (вертикальная селективность)

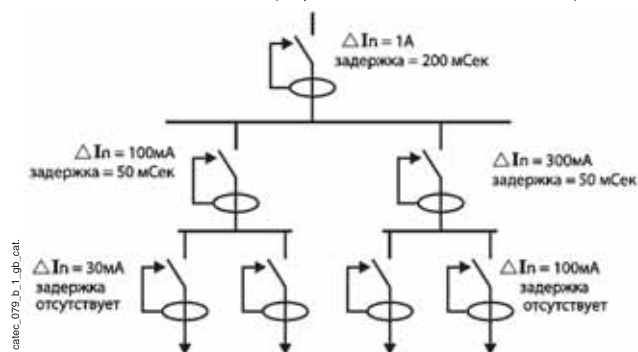


Рис. 1.

Ее предназначение - подавление тока повреждения только в той области установки, где обнаружена неисправность. Чтобы осуществить это, необходимо выполнить два условия:

1. Рабочее время RCD, установленного ниже по цепи (t_{fb} рис. 2), должно быть меньше нерабочего времени устройства, установленного выше (t_{nfA}). Простое решение для удовлетворения данному условию заключается в использовании RCD-устройств класса S (с регулируемой задержкой). Задержка RCD, установленного выше по цепи, должна превышать задержку RCD, установленного ниже (рис. 1).
2. Чувствительность RCD, установленного ниже по цепи ($I \Delta n$), должна быть меньше половины $I \Delta n$ чувствительности RCD, установленного выше (см. рис. 1 и 2).

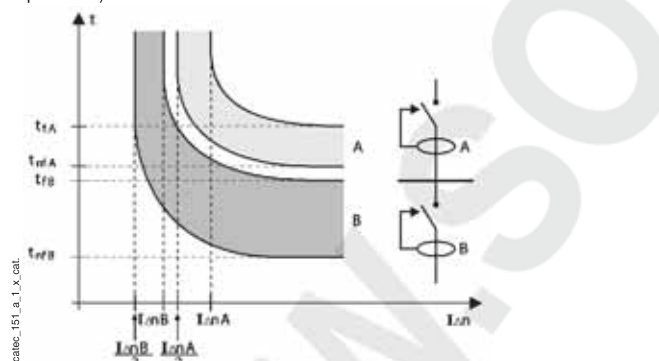
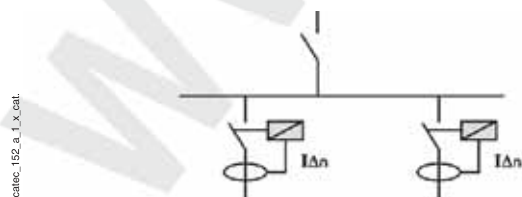


Рис. 2.

- Горизонтальная селективность

Эта компоновка состоит из размещённых в определенных условиях дифференциальных устройств, которые могут быть одинаковыми (по $I \Delta n$), находятся на том же уровне распределения (внутри той же панели, соседней панели или соединенной кабелем типа U1000 ...), без необходимости использования обычного дифференциального устройства.



При режиме заземления нейтрали TT общее дифференциальное устройство не обязательно устанавливается выше фидеров дифференциальной секции, поскольку вся установка до клемм, расположенных выше нее, относится к классу II или имеет дополнительную изоляцию.

Защита двигателей

Повреждение изоляции обмотки двигателя может привести:

- к разрушению обмотки (при этом двигатель еще можно отремонтировать);
- к разрушению магнитной цепи (двигатель ремонту не подлежит).

Установка дифференциального устройства, уменьшающего ток повреждения до уровня менее 5% I_n , гарантирует целостность магнитных цепей и защищает двигатель. Поскольку некоторые двигатели большой мощности могут иметь разбаланс между токами или токами утечки во время фазы запуска, принято при определенных условиях при запуске нейтрализовать дифференциальное реле.

Утечка тока в оборудовании

Информационное оборудование, согласно стандартам EN и IEC 60950, может являться источником утечки тока из-за особых фильтрующих устройств. Утечки емкостного тока в 3,5 мА приемлемы для цепей с силовыми разьемами и в 5% (в определенных условиях) для стационарно установленных цепей.

Стандарт EN 50178 по электронному оборудованию (ЕЕ), используемый в силовых установках, допускает максимальную утечку тока в 3.5 мА AC и 10 мА DC для ЕЕ.

В случае превышения этих величин необходимо принять дополнительные меры, такие как: удвоение защитного проводника, отключение электропитания при поврежденном заземлении, установка трансформатора, который обеспечит гальваническую развязку и т.д.

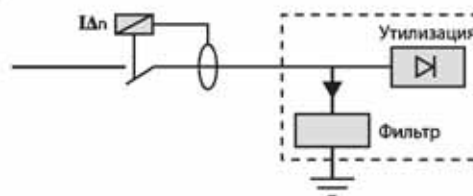
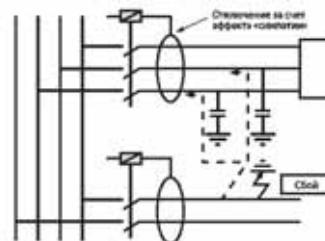


Рис. 1. Соединение IMD: обычный случай.

Эффект "симпатии"

Серьезное повреждение изоляции оказывает воздействие на фидер (источник питания), который может образовать контур благодаря возможности емкостной утечки на землю другого фидера и вызвать отключение последнего при отсутствии там какого-либо нарушения изоляции цепи.

Это явление особенно часто встречается на источниках питания с потенциальной возможностью утечки емкостного тока на землю, или когда в очень длинной системе проводки возникает неисправность.



Единственным решением для ограничения этого эффекта является задержка дифференциальных устройств.

Противопожарная защита

Параграф 482.2.10 стандарта IEC 60 364 оговаривает использование устройств RCD при $I \Delta n \leq 500$ мА для защиты помещений, в которых есть риск возникновения пожара.

Дифференциальная защита

Ввод в эксплуатацию

На всех установках присутствует утечка тока на землю, в основном из-за емкостной проводимости проводников и антипаразитных или EMC-фильтрующих конденсаторов, например, на оборудовании класса I.

Общее количество всех этих токов утечки может вызвать срабатывание высокочувствительных устройств RCD (отключение происходит при токах от $I_n/2$ ($I_n \times 0,80$)) для устройств SOCOMEC RESYS P и M), не подвергая опасности персонал.

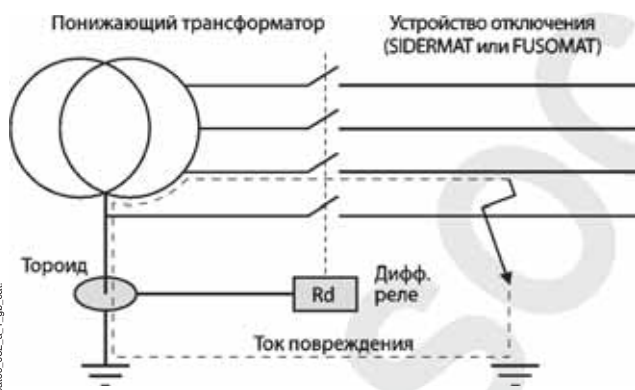
Утечку тока на землю можно ограничить следующим образом:

- использованием оборудования класса II;
- применением разделительных трансформаторов;
- применением цепей с питанием от ИБП;
- ограничением числа потребителей, защищенных одним и тем же RCD.

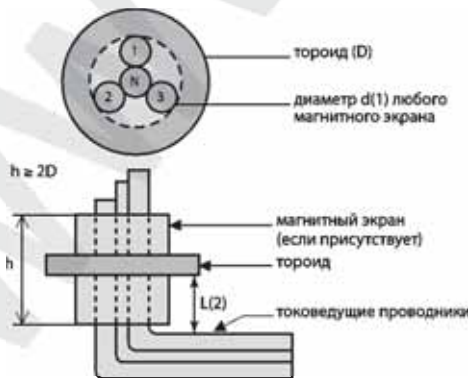
Улучшение работы RCD

- Процесс установки следует начать с установки ТТ.

В самом начале ТТ установки (и только в этом случае), можно заменить детекторный тороид (тороидальный сердечник), расположенный на токоведущих проводниках одним тороидом, связывающим нейтраль понижающего трансформатора и заземление. Это уменьшает чувствительность к помехам и является более экономичным исполнением защиты.



- Для уменьшения чувствительности к помехам тороида необходимо:
 - симметрично располагать фазные проводники вокруг нейтрального проводника;
 - использовать тороид диаметром как минимум в два раза большим, чем круг, образованный проводниками: $\Delta \geq 2d$;
 - можно добавить магнитный экран высотой как минимум в 2D.



(1) d – центрирование кабелей в тороиде является гарантией ненасыщения тороида. Насыщенный тороид вызывает ложные отключения.

(2) L – расстояние от тороида до изгиба кабелей.

Маркировка условий проверки дифференциальных устройств

Необходима дополнительная маркировка, чтобы показать пользователю, что проверку необходимо проводить регулярно (рекомендуется через каждые 3 - 6 месяцев).

Выбор дифференциального устройства по принципу вспомогательного питания

Уровень подготовки операторов и назначение установки, согласно IEC 60364, определяют выбор устройств дифференциальной защиты по способу действия, связанного с принципом питания.

Тип дифференциального устройства	Возможный выбор согласно типу установки	
	Персонал без спецодежды (BA1)	Опробование и проверка персоналом, как минимум информированность (BA4)
С дополнительным источником питания, независимым от сети	НЕТ	ДА
Работающий независимо от сетевого напряжения	ДА	ДА
С работой, зависящей от сетевого напряжения или от любого вспомогательного источника питания с защитой от неисправности	Не рекомендован	ДА
С работой, зависящей от сетевого напряжения (защита от неисправности отсутствует)	НЕТ	ДА, кроме цепей РС 16А
С работой, зависящей от сетевого напряжения вспомогательного источника питания (защита от неисправности отсутствует)	НЕТ	Сигнализации о неисправности во вспомогательном источнике питания

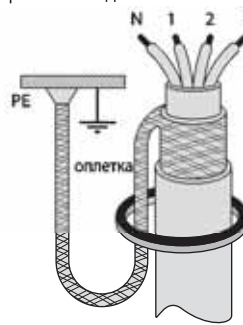
Внимание: подключенный к сети трансформатор не является вспомогательным источником, независимым от сети.

Характеристики дифференциального устройства со вспомогательным источником

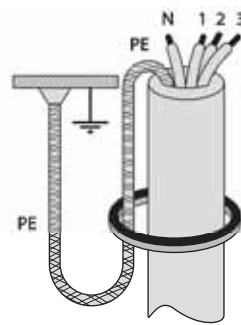
- Мониторинг цепи, не зависящий от ее напряжения;
- подходит к сетям с большими и быстрыми флуктуациями;
- мониторинг не зависит от тока нагрузки (роста неустановившихся токов, подключения индуктивных нагрузок);
- повышенная невосприимчивость к неустойчивым коротким замыканиям (время интеграции порядка 30 мс, в то время как для устройства со своим током существует риск отключения за несколько мс).

Меры предосторожности при установке тороидов на армированные кабели

- Армированный кабель: обеспечьте электроизоляцию от соединительной коробки и соедините кабель с заземлением.



Экранированный кабель.



Кабель 3P+N+T.

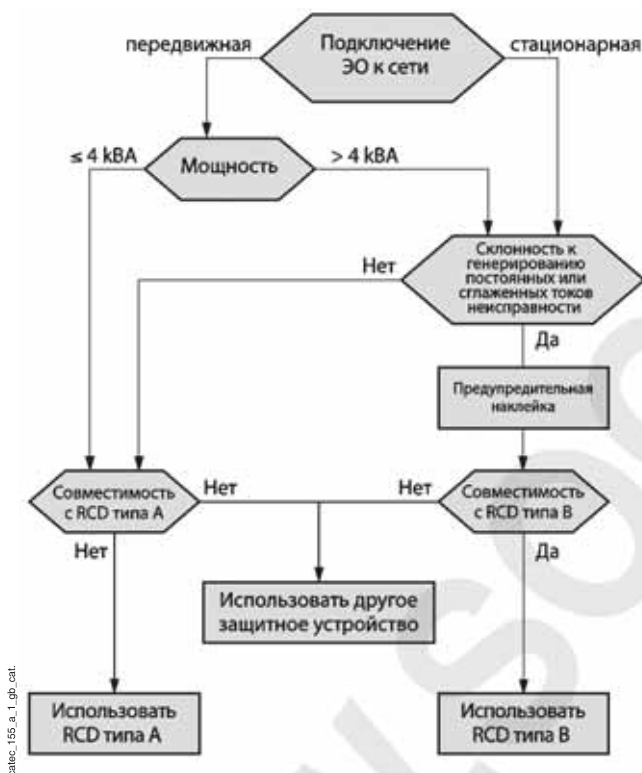
Установка (продолжение)

► Выбор класса дифференциальных устройств по типу нагрузки

Оборудование все чаще оснащается выпрямительными устройствами (диодами, тиристорами). На выходе этих устройств у токов замыкания на землю есть постоянная составляющая, способная снизить чувствительность RCD.

Дифференциальные устройства должны относиться к классу, соответствующему данным нагрузкам (смотрите главу об определениях классов).

В стандарте EN 50178 приводится следующая блок-схема, определяющая требования к использованию ЭО за дифференциальным устройством (ЭО — электронное оборудование).



Передвижное ЭО, номинальная входная мощность которого не превышает 4 kVA, должно быть совместимым по конструкции с устройствами RCD типа A (защита от прямых и не прямых контактов).

На любом ЭО, для которого существует риск генерации тока повреждения, постоянная составляющая которого может нарушить работу защитных дифференциальных устройств, должна быть предупредительная наклейка, информирующая об этом.

Если устройства RCD несовместимы с ЭО, нуждающимся в защите, необходимо задействовать другие меры защиты, такие как двойная или усиленная изоляция, гальваническая изоляция ЭО от электросети при помощи трансформатора и т.д.

► «Производственные» нагрузки

Большинство устройств принадлежат к классу AC, но на практике для промышленных установок требуется использование устройств как минимум класса A.

► Нагрузки типа «вариатор скорости»

Так как данный тип нагрузок подвержен значительным изменениям, реле класса B, независимые от напряжения и тока, являются наиболее подходящими к данному типу нагрузок во избежание риска ложного выключения.

► Группирование установок по типу нагрузки

Следует группировать вместе типы устройств установки, вызывающие одни и те же неисправности.

Если нагрузки могут генерировать постоянные составляющие, их нельзя подключать ниже по сети от устройств, которые при неисправности генерируют только переменные или импульсные выпрямленные составляющие.

► Сигнализация или предаварийное предупреждение об утечке или неисправности

В устройствах, где непрерывность работы является обязательной (в противном случае безопасность оборудования и людей ставится под угрозу), наибольшие риски связаны с неисправностями в изоляции, что необходимо принимать во внимание.

Функция сигнализации может осуществляться двумя способами:

1. Автоматическое отключение электропитания в целях обязательной защиты (защиты от прямых и не прямых контактов, ограничения утечки тока) осуществляется дифференциальными устройствами, сигнализирующая функция которых может выполняться предаварийными реле, включенными в определенные дифференциальные реле (RESYS M40, P40, B... компании SOCOMEC).
2. Автоматическое отключение электропитания в целях обязательной защиты (защиты от прямых и не прямых контактов, ограничения утечки тока) осуществляется другими устройствами, такими как, например, устройства защиты от тока перегрузки. Далее аварийный контакт реле (RESYS M, P, E... компании SOCOMEC) можно использовать только для сигнализации о дифференциальном токе.

Предупредительная сигнализация о неисправностях в изоляции предоставляет широкие возможности в оптимизации электрической установки:

- предупредительный ремонт устройства до остановки его работы или поломки;
- определение местонахождения неисправностей в изоляции в сетях TNS;
- предупреждение риска возникновения пожара, взрыва и т.д.;
- заблаговременное внедрение устройства защиты от тока перегрузки и таким образом, предупреждение замены предохранителя или износа разъединителя цепи;
- контроль утечек тока и, таким образом, сокращение гомополярных токов в схемах защиты, генерирующих особенно разрушительные электромагнитные поля;
- другие.

IMD (Устройство контроля изоляции)

Общие положения

Введение

Стандарт IEC 60 364 предписывает обязательное использование устройства контроля изоляции (Insulation Monitoring Device (IMD)) в структуре ИТ:

“обязательное устройство контроля изоляции должно быть сконструировано таким образом, чтобы реагировать при первом же пробое на корпус или токе замыкания на землю; устройство должно подавать визуальный или звуковой сигнал”.

Устройства IMD можно также применять во множестве других случаев (смотрите применения на странице D.68). Компания SOCOMEC предлагает широкий выбор устройств IMD из линейки ISOM.

Принцип работы

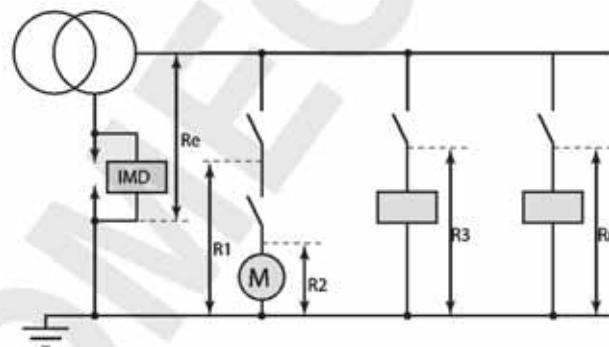
Большинство устройств IMD подают ток зонда в контуры, образуемые проводниками под напряжением и заземлением (рис.1). Увеличение значения тока зонда означает нарушение изоляции цепи. Ток зонда сравнивается с заданным аварийным порогом IMD.

Правильно выбранное устройство IMD из линейки ISOM не нуждается в высоком токе зонда.

Импеданс 1кОм, обычно добавляемый между подконтрольной цепью и заземлением (сопротивление нейтрали), практически не нужен для устройств IMD компании SOCOMEC.

Настройки

При вводе в эксплуатацию устройства IMD нужно принять во внимание тот факт, что данное устройство предназначено для измерения всей изоляции установки, то есть суммы сопротивлений индивидуальных утечек для всех фидеров.



$$\frac{1}{R_e} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_n} \quad (R_1, R_2, R_n \geq 0.5 \text{ МОм}).$$

Примечание:

Устройство IMD может показать сопротивление нарушения изоляции даже при отсутствии глухого короткого замыкания (например, при наличии влажности после длительного отключения). Запуск установки восстановит прежний уровень изоляции (IEC 60 364).

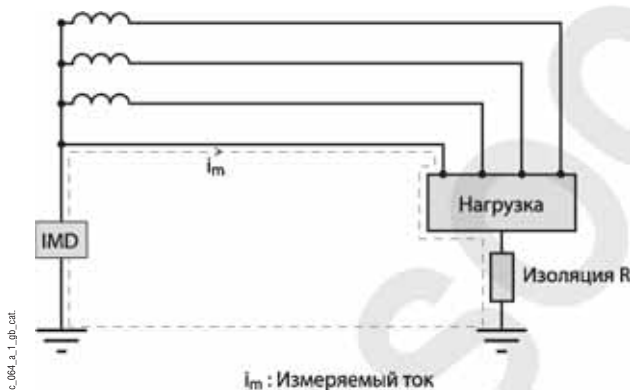


Рис.1. Измерение сопротивления изоляции установки при помощи устройства IMD.

Определения

Разветвленная сеть

Разветвленная сеть характеризуется:

- одиночным потребителем или потребителями одного типа (двигатели, защита от грозовой помехи...);
- умеренно удлиненной цепью (низкая емкость утечки на землю) и четкой расположенностью цепи (цех, операционная...);
- четкой распределенностью цепи (нагрузки только переменного или только постоянного тока).

Глобальная сеть

Глобальная сеть, наоборот, включает в себя разнообразные потребители и преобразователи тока (с переменными и постоянными токами). Часто сеть имеет большую протяженность (высокая емкость утечки на землю).

Ассиметричный пробой (сеть постоянного тока)

Ассиметричный пробой возникает только на одной из двух полярностей сети.

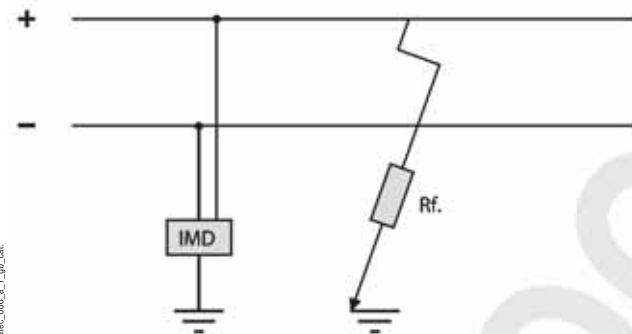


Рис. 1. Ассиметричный пробой

Симметричный пробой (сеть постоянного тока)

Симметричный пробой возникает в обеих полярностях сети. Неисправность такого типа часто развивается в цепи, в которой соответствующие длины проводников "+" и "-" соизмеримы.

С конца 1997 стандарты IEC 61557-8 и EN 61557-8 требуют, чтобы цепи постоянного тока контролировались устройствами IMD, способными выявлять симметричный пробой.

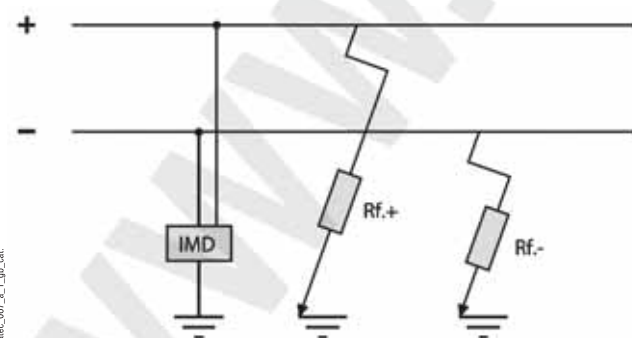


Рис. 2. Симметричный пробой.

Сопротивление изоляции электрической установки

Это уровень сопротивления изоляции установки относительно земли. Контролирующими службами должны его регулярно измерять. Сопротивление должно быть больше стандартных значений IEC 60 364.

Таблица А: Минимальные значения сопротивления изоляции (IEC 60 364) при отключенном электропитании.

Номинальное напряжение цепи (В)	Нестовое напряжение DC (В)	Сопротивление изоляции (МОм)
TLVS и TLVP	250	≥ 0.25
≤ 500 V	500	≥ 0.5
> 500 V	1000	≥ 1.0

Изоляция потребителя

- R_f двигателя $> 0,5$ МОм;
- $R_f > x$ МОм согласно стандарту данного устройства.

Емкостная утечка тока на землю из проводника

Когда два проводника обладают разностью потенциалов (напряжением), между ними возникает емкостной эффект в соответствии с их геометрической формой (длина, форма), изоляцией (воздушная, ПВХ...) и расстоянием между ними.

Данная физическая характеристика может инициировать емкостную утечку тока между проводниками электросети и заземлением. Чем больше протяженность сети, тем выше будет ток.

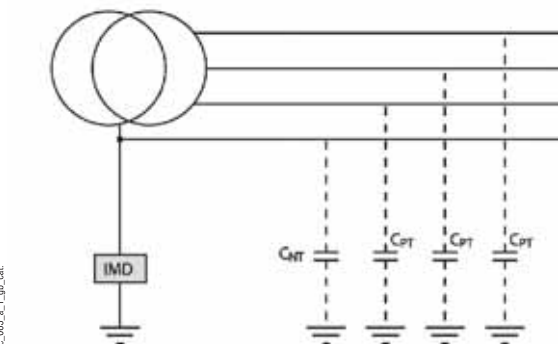
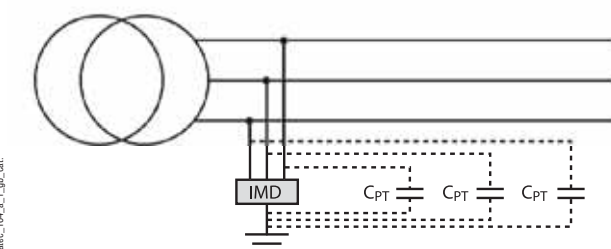


Рис. 2. Емкостная утечка тока на землю в сети переменного тока.

Максимальная емкость утечки на землю

Это сумма емкости утечки на землю данной сети и емкости конденсаторов, установленных в электронном оборудовании, компьютерном оборудовании и т.п.

Максимальная емкость утечки тока на землю является важным параметром при выборе устройства IMD. Следует отметить, что общая емкость утечки значительно увеличилась благодаря применению фильтров электромагнитных помех EMC.



IMD (Устройство контроля изоляции)

Пример использования

► Контроль изоляции обесточенных двигателей (на примере IMD SP 003)

Контроль изоляции обесточенных двигателей является необходимой профилактической мерой в тех случаях, когда обязательными являются требования безопасности и работоспособности:

- оборудования, обеспечивающие безопасность: противопожарные двигатели;
- дымососные установки;
- ответственные производственные циклы;
- оперативные или большие двигатели.

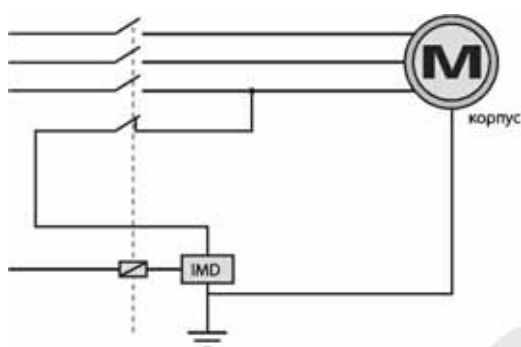


Рис. 2. Принцип подключения: устройство IMD выключено из сети при подаче питания на двигатель.

Настройка IMD, контролирующего обесточенный двигатель.

Устройство IMD должно генерировать аварийный сигнал при сопротивлении изоляции меньше 1 МОм (1000 кОм).

Двигатель нельзя использовать при сопротивлении изоляции меньше 500 кОм. Устройства IMD типа SP специально сконструированы для контроля изоляции при отключенном питании, а также являются средствами быстрого обнаружения коротких скачков напряжения благодаря их функции запоминания (примеры: двигатели стрелочных электроприводов, портовые подъемные краны) с быстрой обработкой данных.

► Контроль вариаторов скорости

При контроле вариаторов скорости необходимо учитывать генерируемые ими низкие частоты.

Только устройства IMD и поисковые устройства с принципами измерения, использующими закодированные сигналы или сигналы, отличные от генерируемых вариаторами, могут на протяжении длительного времени выполнять свои функции.

► Передвижные генераторные установки

Часто очень сложно организовать защиту цепей, питаемых передвижными генераторными установками, из-за того, что их заземление невозможно (портативные установки, экстренное аварийное питание и т.д.) или считается недействительным (сопротивление невозможно измерить, и т.д.).

Такую защиту часто обеспечивают при помощи устройств RCD 30 мА, недостатком которых является ложное срабатывание (смотрите страницу D.63). В том случае, когда непрерывная работа является критичной для безопасности (см. рис. 3), можно использовать устройство IMD.

Корпус установки соединен не со средней точкой генератора, а с сетью, состоящей из соединенных друг с другом корпусов оборудования. Устройство IMD устанавливают между корпусом и фазой.

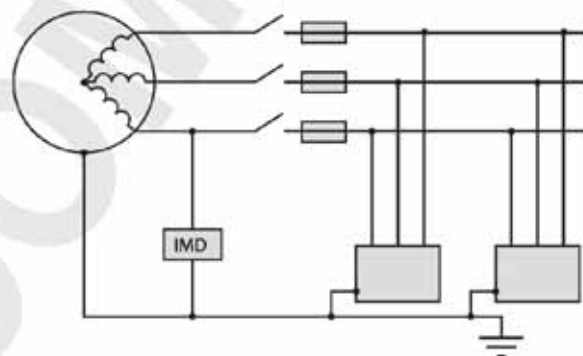


Рис. 3. Использование устройства IMD для цепи, питающейся от генераторной установки.

► Контроль фидеров с высокими помехами от DLD (дискриминаторов слежения за задержкой)

Низкие частоты

Место короткого замыкания в этом типе цепи контролируется синхронизацией инъекций поисковых токов и локаторным анализом.

Высокие частоты

Центральный локатор имеет функцию подтверждения измерения при помощи обновления циклов анализа по требованию.

Высокие гомополярные токи

Тороиды DLD оснащены выравнивающими диодами, контролирующими потенциальные превышения напряжения на вторичной обмотке.

Примеры использования (продолжение)

Сети с питанием от ИБП

Сети с питанием от ИБП

Статические системы бесперебойного питания (ИБП) содержат составляющую постоянного тока.

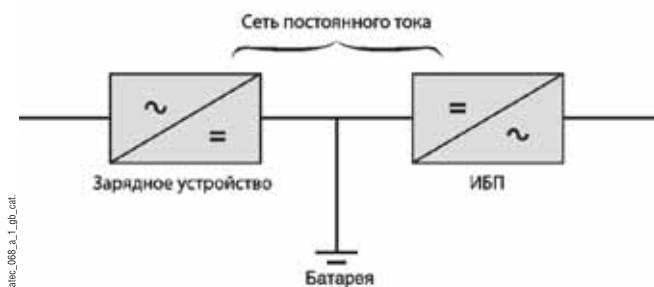
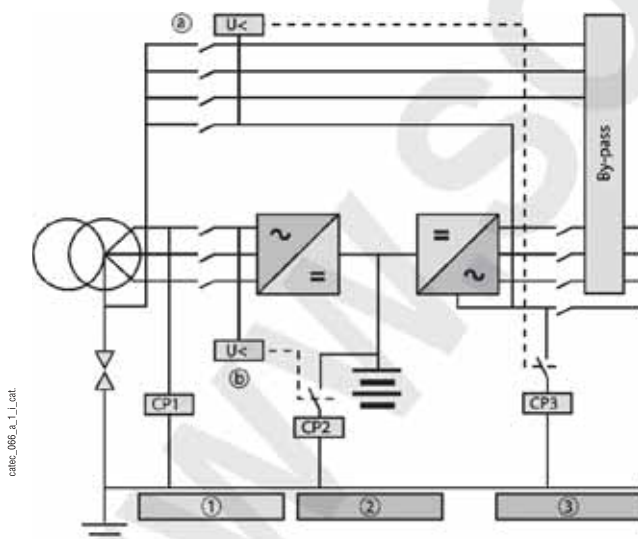


Рис. 3. IMD в сети, питающейся от ИБП.

Требуется, чтобы установки, питающиеся постоянным током, были сгруппированы в той же области, чтобы обеспечить эквипотенциальную защиту корпусов. Если невозможно выполнить данное требование, необходимо установить IMD для наблюдения за целостностью изоляции установки, питающейся постоянным током.

Другие общие критерии для установки ИБП

- отсутствие одновременно двух IMD устройств, контролирующих гальванически соединенные сети (особенно на фазах байпаса);
- обеспечение установки устройством IMD, соответствующим подконтрольной сети.



1. IMD, способное контролировать цепи с постоянными составляющими тока и высокими емкостями утечки.
2. IMD, способное контролировать цепи постоянного тока с симметричными пробоями.
3. IMD, способное контролировать цепи переменного тока (обратите внимание на (а) и (b) на схеме), система управления, предотвращающая использование параллельно подключенных устройств IMD в гальванически неизолированных сетях.

Контроль цепей управления и сигнализации

Данные цепи, питающиеся обычно от изолирующих трансформаторов, должны предупреждать ложное отключение силовых цепей. Общим решением, предлагаемым стандартами и нормами, является система электропроводки со схемой TN (катушка соединена с заземлением в общей точке). Соответствие данным требованиям достигается также отсутствием соединения вторичной обмотки с заземлением в сочетании с устройством IMD.

Это решение создает риск шунтирования исполнительных механизмов устройств из-за неисправности изоляции. Эта неисправность может стать достаточной для управляющих исполнительных механизмов, но слишком слабой для срабатывания защиты от тока перегрузки.

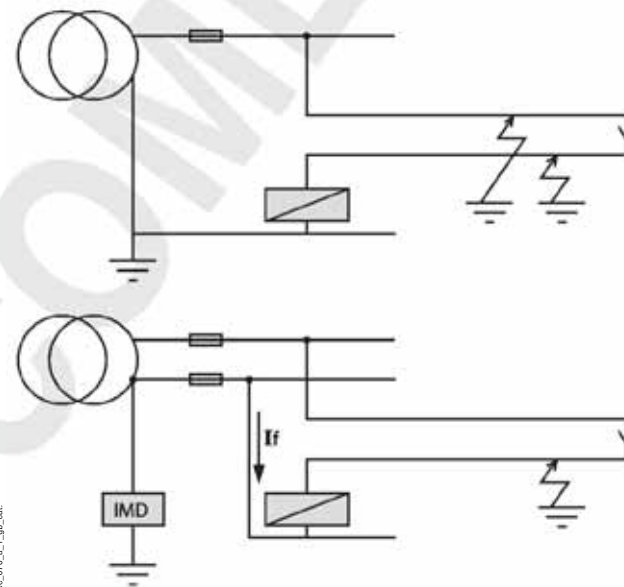


Рис. 1. Контроль изоляции цепях управления.

Этот риск возрастает на новом оборудовании по двум основным причинам:

- рабочее напряжение низкое и не способствует обнаружению неисправностей;
- чувствительность рабочих порогов вспомогательных цепей управления возрастает до нескольких десятков мА (микрореле, ПЛК, оптопары и т.д.).

По сравнению с вариантом решения с заземлением, изолированная сеть, подключенная к устройству IMD, обладает двойным преимуществом: отсутствие отключения при первом пробое и организация предварительного контроля за износом оборудования.

Настройка IMD

$$Z_m = \frac{U}{I_r}$$

U – максимальное напряжение питания в цепи управления;

I_r – минимальный ток отпуска реле;

Z_m – настроенный импеданс устройства IMD.

Такие системы обнаружения неисправностей, как DLD204 и портативная система DLD3204, позволяют заблаговременно обнаружить месторасположение неисправности (пробоя) в изоляции без изменения состояния коммутационных устройств или рабочих систем управления, благодаря ограничению поискового тока до 1 мА.

IMD (Устройство контроля изоляции)

Подключение устройств IMD

Общий случай

Обычно IMD подключают между нейтралью трансформатора, расположенного в начале электроустановки ИТ, и заземлением.

Установка должна включать в себя устройство аварийной сигнализации и устройство защиты от перенапряжения (для понижающего трансформатора). Использование IMD типа ISOM не требует обязательного импеданса в 1 кОм в параллельном соединении (см. принцип работы, стр. D.66).

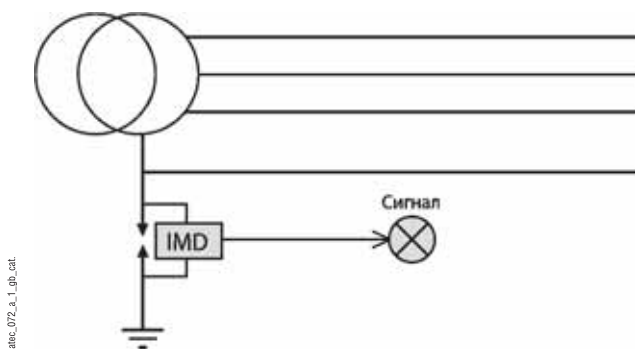


Рис. 1. Подключение устройства IMD: общий случай.

Питание от нескольких параллельно соединенных трансформаторов

- Если трансформаторы предназначены для постоянной параллельной работы, и достаточно одного устройства IMD.
- Если трансформаторы могут работать независимо друг от друга, каждый трансформатор необходимо оборудовать своим устройством IMD (смотрите рис. ниже), а также установить систему управления, которая будет отключать оба IMD в том случае, если сети будут соединены.

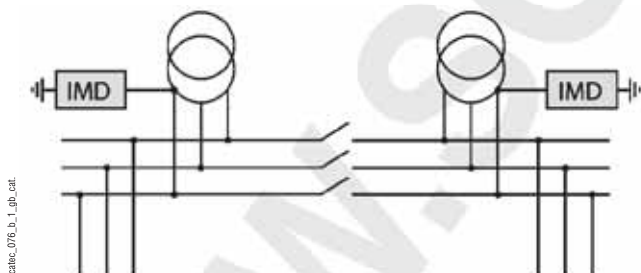


Рис. 6. Несколько трансформаторов, соединенных параллельно.

Контроль обесточенной сети

Использование искусственной нейтрали

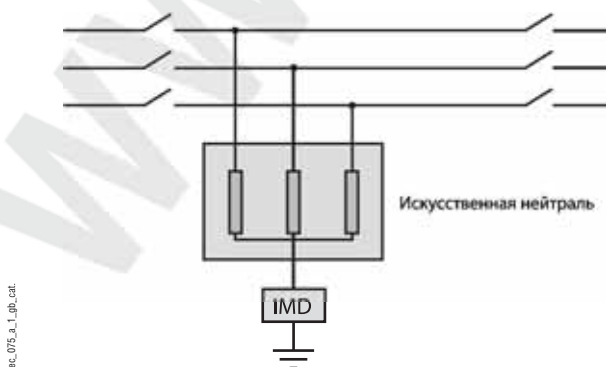


Рис. 5. Контроль обесточенной сети.

Подключение и защита измерительных контуров IMD

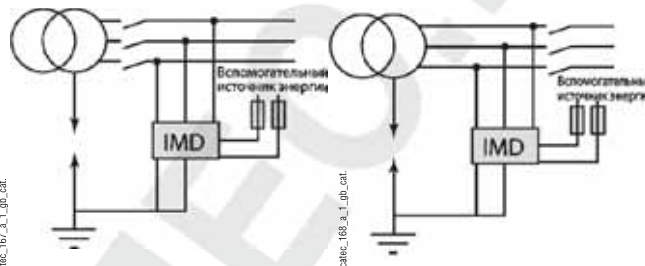


Рис. 3. Подключение IMD после главного рубильника.

Рис. 4. Подключение IMD перед главным рубильником.

В настоящее время IEC 60 364 не разрешает защиту от коротких замыканий, иначе измерение было бы невозможным, но предполагает надлежащую схему установки, при которой будет устранен риск возникновения короткого замыкания. (Проводники не касаются острых краев шины и других изолированных проводников).

Самоконтроль сетевого подключения большинства устройств IMD компании SOCOMEC делает приведенную выше меру предосторожности излишней.

- подключение устройства IMD перед рубильником трансформатора отменяет системы контроля между устройствами IMD на подключенных звеньях сети (рис. 4);
- подключение устройства IMD после рубильника трансформатора допускает использование предупредительного измерения на заданной обесточенной сети (измерение сигнала, имеющегося на фазах) и не требует замыкания через обмотки трансформатора (рис. 3).

Доступность нейтрали

В данном случае устройство IMD подключено между нейтралью трансформатора и заземлением ближайшего корпуса или (если он отсутствует) заземлением нейтрали.

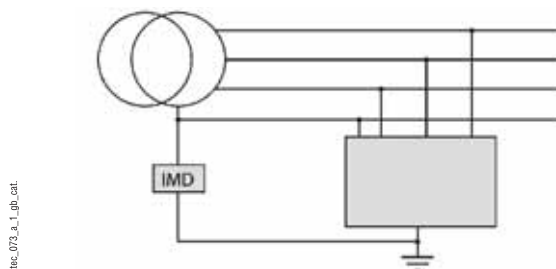


Рис. 2. Подключение устройства IMD: недоступное заземление.

Данный тип подключения также отменяет установку защиты на измерительный проводник в IMD устройстве (перегрузки по токам короткого замыкания невозможны).

Подключение вспомогательного источника электропитания

У определенных устройств IMD есть вспомогательный источник питания, который делает их невосприимчивыми к колебаниям напряжения. Вводы вспомогательного источника должны быть защищены:

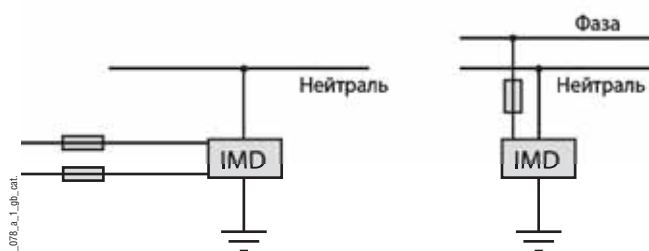


Рис. 7. Подключение вспомогательного источника питания.

Тепловые эффекты

▶ Рассеиваемая мощность устройства

Величины номинальных мощностей приведены для тока I_{th} (номинальные величины в приведенной ниже таблице).
Для рабочего тока устройства:

$$P = P_N \times \left[\frac{I_e}{I_{th}} \right]^2$$

P – рассеиваемая мощность в Вт;
 P_N – номинальная рассеиваемая мощность в Вт (смотрите таблицу ниже);
 I_e – рабочий ток устройства;
 I_{th} – номинальная мощность устройства.

▶ Тепловые характеристики

Вычисление повышения температуры

$$\Delta T (^{\circ}K) = \frac{P (Вт)}{K \times S (м^2)}$$

P – рассеиваемая мощность внутри корпуса (оборудование, соединения, кабели и т.д.);
 ΔT – повышение температуры в $^{\circ}C$;
 S – площадь корпуса (не считая поверхностей, соприкасающихся со стенами или другими препятствиями);
 K – коэффициент теплообмена;
 $K = 4 \text{ Вт/м}^2\text{C}$ для полиэфирных корпусов;
 $K = 5.5 \text{ Вт/м}^2\text{C}$ для металлических корпусов.
При оборудовании кожуха или корпуса подводом воздуха руководствуйтесь для расчетов стандартом IEC 890 или проконсультируйтесь с нами.

Расчеты для вентиляции

При наличии принудительной вентиляции необходим поток воздуха D , который рассчитывается по следующей формуле:

$$D (м^3/ч) = 3.1 \times \left[\frac{P}{\Delta T} - (K \times S) \right]$$

Вентиляторы предлагаются в качестве аксессуаров для линейки CADRYС.

Выбор терморезистора:

Термистор необходим, чтобы предотвратить конденсацию внутри корпуса. Мощность термистора P_c определяется формулой:

$$P_c (Вт) = (\Delta T \times K \times S) - P$$

Термисторы в ассортименте CADRYС представлены следующими мощностями: 15Вт, 30Вт, 45Вт, 75Вт и 150Вт.

Определение объемов воздуха/воздухообмена: смотрите страницу D.72.

Выбор кондиционирования воздуха: смотрите страницу D.72.

▶ Пример

Панель распределительного щита состоит из главного рубильника (FUSERBLOC 4 x 630A) и нескольких выводных кабелей. Номинальный ток составляет 550A.

• Рассеиваемая мощность при 630A (таблица ниже) составляет: $97,7 \times 3 = 293 \text{ Вт}$.

• Рассеиваемая мощность при 550A составляет:

$$293 \times \left[\frac{550}{630} \right]^2 = 223 \text{ Вт.}$$

Общая мощность щита (оборудование, кабели и т.д.) достигает 400 Вт.

Размеры щита: В = 2000 мм, Г = 600 мм, Д = 800 мм.

Данный щит помещают между двумя другими у стены.

Площадь свободной поверхности составляет:

$$S (м^2) = 2 \times 0,8 (\text{спереди}) + 0,6 \times 0,8 (\text{сверху}) = 2,08 \text{ м}^2.$$

• Повышение температуры внутри щита:

$$\Delta T = \frac{400 \text{ Вт}}{5,5 \times 2,08 \text{ м}^2} = 35^{\circ} \text{ C.}$$

При температуре окружающего воздуха в 35° C применяется следующая формула:

$$T = 35^{\circ} \text{ C} + 35^{\circ} \text{ C} = 70^{\circ} \text{ C.}$$

Для обеспечения максимальной температуры 55° C ($T = 20^{\circ} \text{ C}$), необходим следующий вентиляционный воздушный поток:

$$D = 3.1 \times \left[\frac{400}{20} - 5,5 \times 2,08 \right] = 26,5 \text{ м}^3/ч.$$

▶ Полиэфирные корпуса

Такие корпуса можно использовать в общественных зданиях. Согласно директиве французского правительства от 25.06.80 оболочка должна быть с самотушением (выдерживать нагрев минимум до 750° C проводами накаливания, в соответствии с NF C 20-445).

Тип корпуса	Комбинированная оболочка		MINIPOL	MAXIPOL
	Прозрачная	Непрозрачная		
Сопротивление провода накаливания	960° C	850° C	960° C	960° C

▶ Защита от тепловых эффектов

(В соответствии с IEC 60 364)

Во избежание риска теплового воздействия (пожар, ожоги, перегрев) в процессе обычной эксплуатации, можно принять следующие меры:

- дифференциальные устройства в сетях TT и TN;
- устройства контроля изоляции в сетях IT.

Кроме того, температура электрооборудования ограничивается до величин, приведенных в таблице ниже:

Доступные компоненты	Материалы	Макс. темп. ($^{\circ} \text{C}$)
Органы ручного управления	Металлические	55
	Неметаллические	65
Детали, рассчитанные на временный, а не постоянный контакт	Металлические	70
	Неметаллические	80
Детали, не рассчитанные на контакт во время норм. функционирования	Металлические	80
	Неметаллические	90

Рассеиваемая мощность в Вт/полюс для каждой составляющей оборудования.

Номинальная (A)	32	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	1800	2000	2500	3150	4000
SIRCO	-	0.6	-	2	2.6	3	1.8	3	4	5.8	7.6	10.8	16	30.9	39.2	45	85	122	153	178	255	444	916
SIRCO VM	0.9	1.3	-	1.2	2.1	3.1	5.7	3.3	5.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SIDER	-	-	1	-	2.9	-	1.5	-	3.4	-	-	12.9	17	20.7	32	-	42.5	102	-	-	-	-	-
SIDERMAT	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8.2	-	15.6	-	45	66.4	-	80	113	-	-	-	-	-
FUSERBLOC	4.7 (CD)	-	7.3	9	-	14.5	20	23	25.4	41	-	60	-	100	143.4	-	215	-	-	-	-	-	-
FUSOMAT	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30.3	-	50	-	83.5	-	-	222	-	-	-	-	-	-

Корпуса

Тепловые расчеты для корпусов

Задачи

- Определить максимальную температуру внутри ограждения, которую сообщает самый чувствительный компонент;
 - Определить максимальную температуру окружающего воздуха (снаружи щита);
 - Определить размеры ограждения;
- в котором T_i (°C) = Внутренняя температура;
 T_a (°C) = Температура окружающего воздуха;
 $H - L - P$ (м) = Высота - Ширина - Глубина.

Мощность, рассеиваемая компонентами

Оборудование компании SOCOMEC

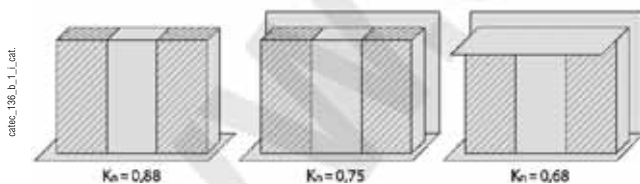
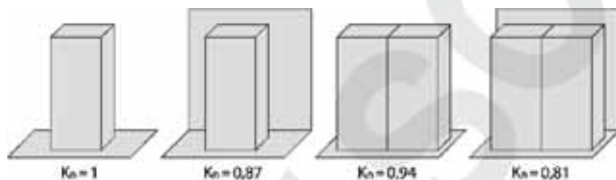
Подробнее о рассеиваемых мощностях при номинальном токе (смотрите страницу D.71.)

$$P_d = P_{nom} \times \left[\frac{I_e}{I_{th}} \right]^2$$

Где P_{nom} (Вт): номинальная мощность;
 P_d (Вт): рассеиваемая мощность при рабочем токе;
 I_e (А): рабочий ток;
 I_{th} (А): номинальный ток.

Корректировка площади поверхности теплообмена

- Определение корректирующего коэффициента K_n (зависит от способа установки)



- Скорректированная площадь поверхности.

$$S = K_n (1.8 \times H \times (L + P) + 1.4 \times L \times P)$$

Мощность, необходимая для поддержания температуры внутри корпуса

$$P_n \text{ (Вт)} = P_d - K \times S \times (T_i \text{ макс} - T_a \text{ макс})$$

Где $K = 5,5 \text{ Вт/м}^2\text{°C}$ для окрашенного листового металлического корпуса;
 $K = 4 \text{ Вт/м}^2\text{°C}$ для полиэфирного корпуса;
 $K = 3,7 \text{ Вт/м}^2\text{°C}$ для корпуса из нержавеющей стали;
 $K = 12 \text{ Вт/м}^2\text{°C}$ для алюминиевого корпуса;
 P_n (Вт): необходимая мощность.

Выбор метода настройки

а) Вентиляция.

Выберите вентилятор с потоком, немного превышающим расчетное значение.
 Примечание: данное решение возможно, только если $T_i \text{ max} - T_a \text{ max} > 5^\circ \text{C}$.

$$\text{Воздушный поток (м}^3\text{/h)} = \frac{3.1 \times P_n}{T_i \text{ макс} - T_a \text{ макс}}$$

б) Воздухообменник.

Выберите обменник с мощностью, немного превышающей расчетное значение.
 Примечание: данное решение возможно, только если $T_i \text{ max} - T_a \text{ max} > 5^\circ \text{C}$.

$$\text{Мощность воздухообменника (Вт/°K)} = \frac{P_n}{T_i \text{ макс} - T_a \text{ макс}}$$

с) Воздушный кондиционер.

Выберите воздушный кондиционер с мощностью охлаждения, немного превышающей требуемую мощность (P_n). Смотрите таблицу на стр. D.71.

д) Термистор.

Выберите термистор с мощностью, немного превышающей расчетное значение.

$$P_c \text{ (Вт)} = [(T_i \text{ макс} - T_a \text{ макс}) \times K \times S] - P_n$$

Шины

► Выбор материала для шины

Таблица А: физические константы меди и алюминия.

	Медь	Алюминий
Стандарты	СЗ1-510 и А51-434	СЗ1-520, НН 63J 60, СNET 3072-1. качество 6101Т5
Тип	Полутвердый	Сплав Al Mg Если луженый, 15 мкм
Теоретическая плотность	8890 кг/м³	2700 кг/м³
Коэфф. линейного расширения	17 x 10 ⁻⁶ на ° C (17 x 10 ⁻³ мм/м)	23 x 10 ⁻⁶ на ° C (23 x 10 ⁻³ мм/м)
Миним. динамическая стойкость	250 Н/мм²	150 Н/мм²
Удельное сопротивление при 20°C	≤ 18 МОм мм²/м	≤ 30 МОм мм²/м
Модуль упругости	120 000 Н/мм²	67 000 Н/мм²

► Определение пикового тока I_{sc} по действующему току I_{sc}

Таблица В.

В соответствии с EN 60439-1.

величины действующего тока короткого замыкания	n
I ≤ 5 kA	1.5
5 kA < I ≤ 10 kA	1.7
10 kA < I ≤ 20 kA	2
20 kA < I ≤ 50 kA	2.1
50 kA < I	2.2

$$Peak I_{sc} = n \times rms I_{sc}$$

► Тепловой эффект короткого замыкания

Токи короткого замыкания вызывают повышение температуры шины. Конечная температура шины должна быть ниже 160° C, чтобы не повредить опору шины. Температурные ограничения должны быть такими, чтобы выполнялась следующая формула:

$$(I_{sc})^2 \times t \leq K_E^2 S^2$$

I_{sc}: действующий ток короткого замыкания (А);

t: длительность короткого замыкания (обычно равна времени работы защитного устройства);

S: сечение шины в (мм²);

K_E: коэффициент, представленный в таблице С в зависимости от температуры шины T_f в обычных рабочих условиях (до короткого замыкания).

Таблица С.

T _f	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
K _E	134.1	127.3	120.4	113.3	106	98.4	90.4	82	72.8	62.6

► Электрохимическая коррозия

Во избежание сильного повышения температуры из-за электрохимической коррозии не разрешается применять соединительные проводники с электрохимическими потенциалами, превышающими 300 мВ (см. таблицу D).

Пример:

Алюминиевую шину нельзя напрямую подсоединить к медной шине.

Поэтому необходимо вставить луженую алюминиевую шину.

- Alu/Tin → ДА;
- Tin/Copper → ДА.

Таблица D.

	Серебро	Медь	Алюминий	Жесть	Сталь	Латунь	Никель
Серебро	ДА	ДА	НЕТ	НЕТ	НЕТ	ДА	ДА
Медь	ДА	ДА	НЕТ	ДА	НЕТ	ДА	ДА
Алюминий	НЕТ	НЕТ	ДА	ДА	ДА	НЕТ	НЕТ
Жесть	НЕТ	ДА	ДА	ДА	ДА	ДА	НЕТ
Сталь	НЕТ	НЕТ	ДА	ДА	ДА	НЕТ	НЕТ
Латунь	ДА	ДА	НЕТ	ДА	НЕТ	ДА	ДА
Никель	ДА	ДА	НЕТ	НЕТ	НЕТ	ДА	ДА