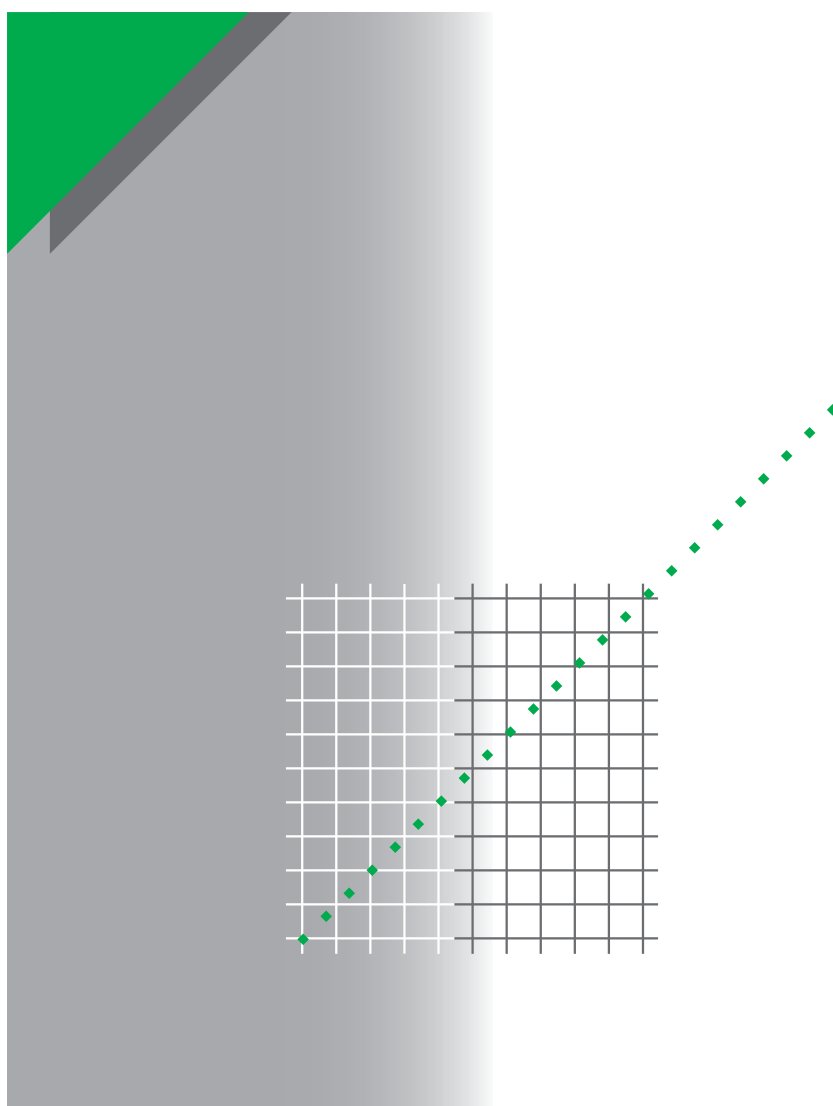


Выпуск № 4

Координация защит низкого напряжения



Компания Schneider Electric приступила к выпуску **«Технической коллекции Schneider Electric»** на русском языке.

Техническая коллекция представляет собой серию отдельных выпусков для специалистов, которые хотели бы получить более подробную техническую информацию о продукции Schneider Electric и ее применении, в дополнение к тому, что содержится в каталогах.

В Технической коллекции будут публиковаться материалы, которые позволят лучше понять технические и экономические проблемы и явления, возникающие при использовании электрооборудования и средств автоматизации Schneider Electric.

Техническая коллекция предназначена для инженеров и специалистов, работающих в электротехнической промышленности и в проектных организациях, занимающихся разработкой, монтажом и эксплуатацией электроустановок, распределительных электрических сетей, средств и систем автоматизации.

Техническая коллекция будет также полезна студентам и преподавателям ВУЗов. В ней они найдут сведения о новых технологиях и современных тенденциях в мире Электричества и Автоматики.

В каждом выпуске **Технической коллекции** будет углубленно рассматриваться конкретная тема из области электрических сетей, релейной защиты и управления, промышленного контроля и автоматизации технологических процессов.

Валерий Саженов,
Технический директор
ЗАО «Шнейдер Электрик»,
Кандидат технических наук

Содержание

1. Основные требования к системе электроснабжения	3
1.1. Безопасность и бесперебойность электроснабжения	3
1.2. Структура системы электроснабжения низкого напряжения	4
1.3. Основные функции и принцип действия устройств защиты	5
■ <i>Уровень А: ГРЩ НН</i>	<i>5</i>
■ <i>Уровень Б: промежуточные распределительные щиты</i>	<i>6</i>
■ <i>Уровень В: конечное распределение</i>	<i>7</i>
1.4. Стандарт МЭК 60947-2	8
■ <i>Основные положения</i>	<i>8</i>
■ <i>Категории автоматических выключателей</i>	<i>8</i>
■ <i>Основные электрические характеристики автоматических выключателей</i>	<i>9</i>
■ <i>Координация между автоматическими выключателями</i>	<i>11</i>
1.5. Сводная таблица	12
2. Принципы действия	13
2.1. Токоограничение	13
2.2. Принцип каскадного соединения (согласно ГОСТ Р 50030.2 - «резервная защита»)	17
2.3. Селективность	19
■ <i>Общие положения</i>	<i>19</i>
■ <i>Основные виды селективности</i>	<i>20</i>
2.4. Правила селективности	23
■ <i>Общие правила селективности</i>	<i>23</i>
2.5. Селективность дифференциальных защит	24
■ <i>Селективность «по вертикали»</i>	<i>24</i>
■ <i>Селективность «по горизонтали»</i>	<i>25</i>
2.6. Координация защит и электротехнические стандарты	26
3. Основные принципы работы электрических аппаратов Schneider Electric	28
3.1. Автоматические выключатели на большие токи	29
3.2. Автоматические выключатели в литом корпусе	34
3.3. Модульные автоматические выключатели	35
3.4. Правила селективности для аппаратов от 1 до 6300 А	36
■ <i>Общие правила селективности (в системе электроснабжения)</i>	<i>36</i>
■ <i>Правила селективности для Masterpact NT и NW</i>	<i>36</i>
■ <i>Правила селективности между Compact NS</i>	<i>37</i>
■ <i>Селективность, усиленная каскадным соединением Compact NS</i>	<i>38</i>
■ <i>Особые применения</i>	<i>39</i>
■ <i>Сводная таблица</i>	<i>39</i>
4. Селективность и каскадное соединение (согласно ГОСТ Р 50030.2 - «резервная защита»)	40
4.1. Таблицы селективности	40
4.2. Таблицы каскадного соединения	40
4.3. Примеры селективности в системе ВН/НН	41

Сокращения и условные обозначения

УЗКЗ:	Устройство защиты от коротких замыканий
МЭК:	Международная электротехническая комиссия
ТТ:	Трансформатор тока
ГРЩ НН:	Главный распределительный щит низкого напряжения
КШП:	Комплектный шинопровод
СН:	Среднее напряжение (1 - 35 кВ)
$I_{кз}$:	Ток короткого замыкания
$I_{кз}(D1)$:	Ток короткого замыкания в точке установки выключателя D1
U_k:	Напряжение короткого замыкания
$I_{cu}^{(*)}$:	Номинальная предельная наибольшая отключающая способность (согласно ГОСТ Р 50030.2)
$I_{cuD1}^{(*)}$:	Номинальная предельная наибольшая отключающая способность выключателя D1

(*) Основные электрические характеристики автоматических выключателей приводятся на стр. 8.

Бесперебойность и безопасность являются наиболее важными требованиями, которые предъявляются к системе электроснабжения. Координация защит позволяет удовлетворять этим требованиям при оптимальных затратах.

Основные требования к системе электроснабжения

Электроустановки низкого напряжения должны иметь надежную защиту от следующих типов повреждений:

- **перегрузка;**
- **короткое замыкание;**
- **повреждение изоляции.**

1.1. Безопасность и бесперебойность электроснабжения

При применении защит от вышеуказанных повреждений необходимо учитывать:

- нормативную базу и правила безопасности персонала;
- технические и экономические требования.

Используемое оборудование для защиты должно:

- быть стойким к токам повреждения, устранять их с оптимальными затратами по отношению к требуемым техническим характеристикам;
- ограничивать отрицательное воздействие токов повреждения на электроустановку, а также обеспечивать надежное (бесперебойное) электроснабжение.

Вышеуказанные требования обеспечиваются при **координации** рабочих характеристик защит, это необходимо для:

- **обеспечения безопасности** и увеличения срока службы электроустановки путем ограничения тепловых и электродинамических воздействий;
- **обеспечения бесперебойности** электроснабжения за счет отключения только поврежденного участка, т.е. срабатывает только автоматический выключатель, который непосредственно защищает поврежденный участок.

Существуют следующие виды и способы координации между выключателями:

- **каскадное соединение** (согласно ГОСТ Р 50030.2 - «резервная защита»);
- **селективность.**

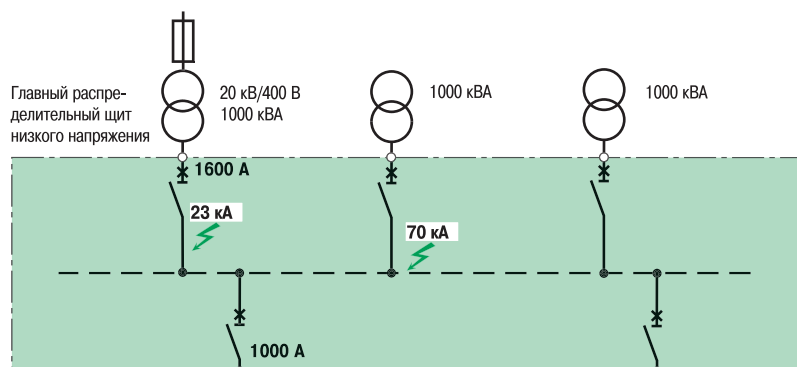
Если в сети имеются средства дифференциальной защиты, необходимо также обеспечивать селективность дифференциальных защит.

Основные требования к системе электроснабжения

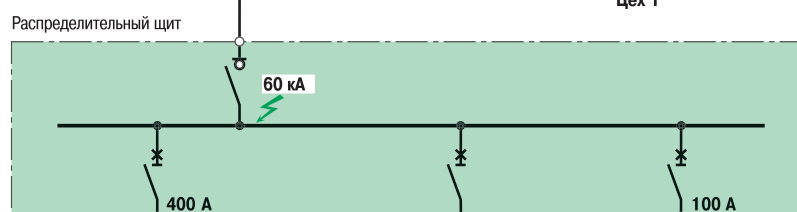
1.2. Структура системы электроснабжения низкого напряжения

E 60226

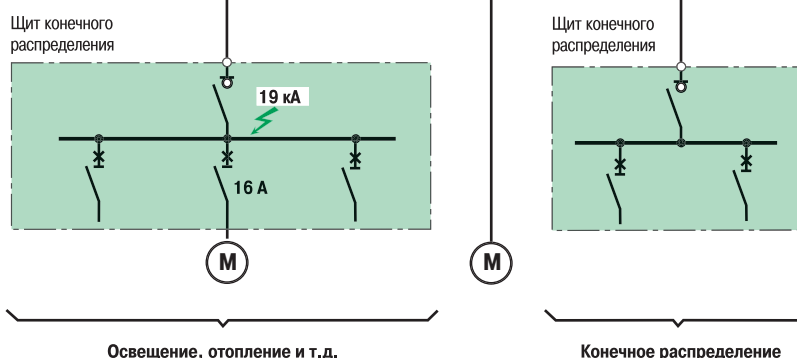
Уровень А



Уровень Б



Уровень В



Упрощенная схема типовой электроустановки, отражающая большинство случаев, встречающихся на практике.

Уровни системы электроснабжения низкого напряжения

Каждый из трех уровней системы электроснабжения предъявляет свои требования к безопасности и бесперебойности.

Устройства защиты и их координация должны учитывать особенности электроустановки.

- На уровне ГРЩ НН наиболее важное требование — это бесперебойное электроснабжение
- На уровне промежуточных распределительных щитов важно ограничивать тепловые и электродинамические воздействия на электроустановку
- На уровне конечного распределения наиболее важное требование — это электробезопасность

1.3. Основные функции и принцип действия устройств защиты

Функции и назначение автоматических выключателей.

Эти коммутационные аппараты способны включать и отключать цепь при любой величине тока, т.е. вплоть до своей отключающей способности.

Основные выполняемые функции:

- включение цепи;
- обеспечение прохождения тока;
- размыкание цепи и отключение тока;
- функция разъединения.

Выбор автоматических выключателей определяется:

- требованиями и особенностями электроустановки;
- требованиями по обеспечению бесперебойного и безопасного электроснабжения;
- оптимизацией затрат.

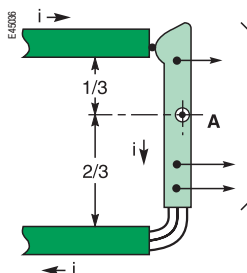
Уровень А: ГРЩ НН

Главный распределительный щит — это наиболее важная часть сети низкого напряжения. Надежность (бесперебойность) электроснабжения является основным требованием на этом уровне.

- Токи КЗ на этом уровне достигают высоких значений:

- из-за близости к источнику питания;
- из-за того, что сечение проводников (сборных шин, кабельных линий) достаточно велико и рассчитано на протекание больших токов.

Это уровень, где применяются автоматические выключатели на большие токи.



Усилия от протекаемых токов

- Эти автоматические выключатели предназначены для распределения больших токов:
- обычно устанавливаются в ГРЩ НН в качестве вводных аппаратов, а также могут быть предназначены для защиты мощных отходящих линий (фидеров);
- при коротких замыканиях некоторое время они должны оставаться во включенном состоянии, чтобы нижерасположенные выключатели смогли устранить повреждение. Поэтому, как правило, аппараты на ГРЩ срабатывают с выдержкой времени.

Стойкость автоматических выключателей к тепловым и электродинамическим воздействиям определяется кратковременно допустимым сквозным током короткого замыкания I_{scw} (согласно ГОСТ Р 50030.2 «номинальным кратковременно выдерживаемым током»), согласно ГОСТ Р 50030.1 «номинальным кратковременно допустимым током».

Конструктивно электродинамическая стойкость обеспечивается благодаря созданию усилия от протекаемого тока КЗ, которое удерживает подвижный контакт (прижимает его к неподвижному контакту, см. рис.).

Основные характеристики автоматических выключателей на большие токи:

- применение на промышленных и гражданских объектах согласно МЭК 60947-2;
- большие значения отключающей способности I_{cu} : от 40 до 150 кА;
- номинальный ток: до 6300 А;
- выключатели категории Б:
- большие значения кратковременно допустимого сквозного тока короткого замыкания I_{scw} : от 40 до 150 кА в течение 1 с;
- высокая электродинамическая стойкость;
- выключатели могут быть оснащены моторным приводом для дистанционного управления, что позволяет реализовать АВР.
- надежное и бесперебойное электроснабжение обеспечивается за счет полной селективности:
- с вышестоящими защитами силовых трансформаторов, например, предохранителями (*);
- с нижерасположенными аппаратами защиты отходящих линий (используется, как правило, временная селективность).

(*) Следует отметить, что наиболее важно обеспечить полную селективность между устройствами защиты 6, 10, 20 кВ и 0,4 кВ, так как восстановление питания на стороне высшего напряжения требует значительно больших усилий и затрат.

Основные требования к системе электроснабжения

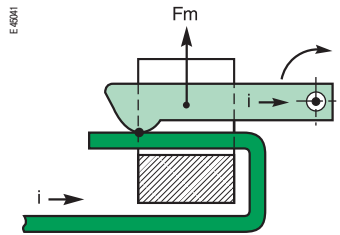
Уровень Б: промежуточные распределительные щиты

Особенности этого уровня электроснабжения:

- распределение электроэнергии осуществляется по кабельным линиям и шинопроводам;
 - удаленность от источников питания небольшая, поэтому токи КЗ могут достигать значений до 100 кА;
 - на этом уровне также очень важно обеспечить бесперебойное электроснабжение.
- Таким образом, автоматические выключатели на уровне Б должны ограничивать тепловые и электродинамические воздействия и быть полностью скоординированными с вышеразмещенными и нижеразмещенными устройствами защиты.

Это уровень, где применяются автоматические выключатели в литом корпусе.

Автоматические выключатели в литом корпусе, как правило, являются быстродействующими. Основная задача – это снижение тепловых и электродинамических воздействий на проводники (кабельные линии, сборные шины), а также на потребителей. Это достигается за счет токоограничения, т.е. путем отталкивания контактов (подвижной части контакта от неподвижной), что позволяет отключать ток КЗ раньше, чем он достигнет своего ожидаемого установившегося значения.



Пример отталкивания контактов

Возможны следующие конструктивные исполнения:

- с одинарным контуром отталкивания («одинарная петля»);
- с двойным контуром отталкивания («двойная петля»);
- устройство с магнитным сердечником, которое толкает или тянет подвижный контакт.

Эффект отталкивания контактов может быть усилен применением магнитной цепи:

- пропорционально квадрату протекаемого тока (используется U-образная форма контакта);
- пропорционально производной по току, т.е. крутизне нарастания тока (di/dt), что особенно эффективно при больших значениях тока (при токах КЗ).

Основные характеристики автоматических выключателей в литом корпусе:

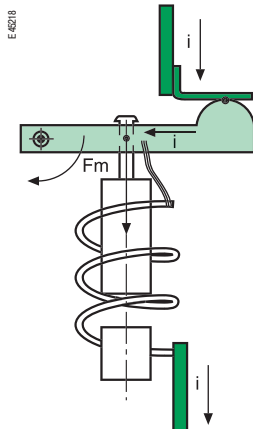
- применение на промышленных и гражданских объектах согласно МЭК 60947-2;
 - большие значения отключающей способности I_{cu} : от 36 до 150 кА;
 - номинальный ток: до 1600 А;
 - категория Б (англ. «B»): как правило, это автоматические выключатели с большим номинальным током (> 630 А);
 - категория А: как правило, это автоматические выключатели с номинальным током < 630 А;
 - быстрое включение и отключение цепи;
 - три положения рукоятки аппарата: ON, OFF, Trip (вкл., откл., аварийное отключение).
- бесперебойное электроснабжение обеспечивается за счет селективности аппаратов:
- ☐ частичной (применяется в случае питания неприоритетных отходящих линий);
 - ☐ полной (применяется в случае питания ответственных потребителей).

Уровень В: конечное распределение

На этом уровне автоматические выключатели защищают непосредственно конечного потребителя. Таким образом, должна быть обеспечена селективность с вышестоящими защитами.

Для этого уровня характерны малые значения токов короткого замыкания.

Это уровень, где применяются модульные автоматические выключатели.



Эти выключатели предназначены для защиты цепей конечного распределения, где необходимо ограничивать тепловые и электродинамические воздействия как на проводники (кабели, устройства присоединения), так и на потребителей.

Модульные автоматические выключатели позволяют удовлетворить вышеперечисленным требованиям. Токоограничение модульных автоматических выключателей частично зависит от электромагнитного элемента (исполнительного механизма). После освобождения он воздействует (ударяет) по подвижному контакту, сообщая последнему изначально высокую скорость. Таким образом, напряжение дуги начинает развиваться рано и очень быстро. Автоматические выключатели с меньшим номинальным током имеют большее сопротивление полюса, которое дополнительно способствует токоограничению. Модульные автоматические выключатели предназначены для бытового применения, а также для защиты вторичных цепей: в таком случае они соответствуют стандарту МЭК 60898. В случае промышленного применения они должны соответствовать стандарту МЭК 60947-2.

Основные характеристики модульных автоматических выключателей:

- отключающая способность в зависимости от применения;
- номинальный ток: от 1,5 до 125 А, в зависимости от потребителя;
- предназначены, как правило, для бытового применения и соответствуют стандарту МЭК 60898.

Эти автоматические выключатели должны обеспечивать:

- токоограничение;
- удобство эксплуатации;
- полную безопасность персонала.

Основные требования к системе электроснабжения

1.4. Стандарт МЭК 60947-2

Стандарт МЭК 60947-2 определяет основные характеристики автоматических выключателей для применения на промышленных и гражданских объектах:

- категорию применения;
- регулируемые характеристики;
- основные конструктивные решения.

Данный стандарт предусматривает и устанавливает широкую серию испытаний, отражающих реальные условия эксплуатации выключателей. В Приложении А даны основные определения по координации защит: селективность, каскадное соединение (согласно ГОСТ Р 50030.2 - «резервная защита»).

Соответствие выключателя стандарту МЭК 60947-2 гарантирует его качество.

Основные положения

Стандарт МЭК 60947-2 входит в серию стандартов, которые определяют требования к оборудованию низкого напряжения:

- стандарт МЭК 60947-1 «Общие требования и методы испытаний». Этот стандарт дает общие определения и порядок проведения испытаний для всей аппаратуры распределения и управления низкого напряжения;
- стандарты МЭК 60947-2..7 определяют требования и методы испытаний для конкретных изделий.

Стандарт МЭК 60947-2 относится к автоматическим выключателям и расцепителям. От расцепителей зависят рабочие характеристики аппаратов.

Этот стандарт определяет основные характеристики автоматических выключателей для промышленного и гражданского применений:

- классификацию: категория применения, способность обеспечивать функцию разъединения и т.д.;
- основные электрические характеристики;
- конструктивные решения;
- координацию защит (Приложение А).

Стандарт предусматривает и устанавливает серии испытаний автоматических выключателей. Эти испытания проводятся по многим пунктам и очень близки к реальным условиям эксплуатации. Проведение испытаний согласно стандарту МЭК 60947-2 контролируется аккредитованными лабораториями.

Таблица основных характеристик (приложение К стандарта МЭК 60947-2)

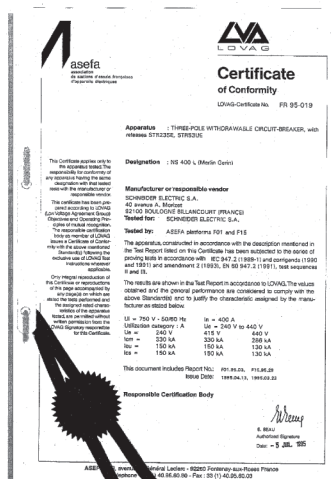
Напряжение	U_e U_i U_{imp}	Номинальное рабочее напряжение Номинальное напряжение изоляции Номинальное импульсное выдерживаемое напряжение
Ток	I_n I_{th} I_{the} I_u	Номинальный ток Условный тепловой ток на открытом воздухе (см. п.4.3.2.1 ГОСТ Р 50030.1) Условный тепловой ток в оболочке (см. п.4.3.2.2 ГОСТ Р 50030.1) Номинальный длительный ток
Ток	I_{cm} I_{cu} I_{cs} I_{cw}	Номинальная наибольшая включающая способность Номинальная предельная наибольшая отключающая способность Номинальная рабочая наибольшая отключающая способность Номинальный кратковременно выдерживаемый ток
Характеристики расцепителя	I_r 1.05 x I_r 1.30 x I_r I_i I_{sd}	Регулируемая уставка защиты от перегрузок Условный ток несрабатывания Условный ток срабатывания Уставка мгновенной токовой отсечки Уставка селективной токовой отсечки

Категории автоматических выключателей

Стандарт МЭК 60947-2 определяет две категории автоматических выключателей:

- выключатели категории А, у которых не предусмотрена какая-либо выдержка времени при отключении. Обычно к этой категории относятся выключатели в литом корпусе. Между данными автоматическими выключателями можно реализовать, например, токовую селективность;
- выключатели категории Б (англ. «B»), у которых для обеспечения временной селективности существует возможность установить выдержку времени (до 1 с), если отключаемый ток короткого замыкания меньше I_{cn}.

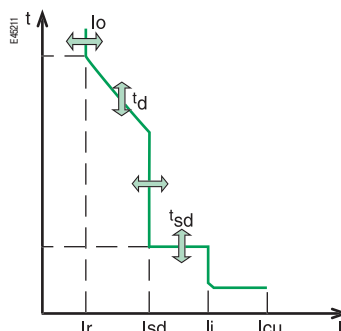
Обычно к этой категории относятся автоматические выключатели на большие токи. Для выключателей, устанавливаемых в ГРЩ НН, важно иметь I_{cw} равный I_{cu}, чтобы естественным образом обеспечить селективность при токах короткого замыкания вплоть до предельной отключающей способности аппаратов.



Основные электрические характеристики автоматических выключателей

Время-токовые характеристики автоматических выключателей могут быть изменены и точно заданы основными регулировками.

Время-токовые характеристики имеют несколько зон, разграниченных нижеуказанными токами (дополнительно см. Приложение К стандарта МЭК 60947-2).



■ Номинальный ток (I_n)

I_n , А (действующее значение).

Для автоматических выключателей номинальным является максимальное непрерывное значение тока, выдерживаемое аппаратом при данной температуре окружающей среды без какого-либо перегрева.

Пример: 125 А при 40 °С.

■ Регулируемая уставка защиты от перегрузок (I_r)

I_r , А (действующее значение), зависит от I_n .

Уставка I_r характеризует защиту от перегрузок. При перегрузке условные токи несрабатывания (I_{nd}) и срабатывания (I_d) составляют:

□ $I_{nd} = 1,05 I_r$;

□ $I_d = 1,30 I_r$.

При перегрузке, когда протекаемый ток превышает I_d , отключение происходит согласно время-токовой характеристике. Она имеет обратно-зависимый характер.

I_r носит название защиты от перегрузок (LT или фр. LR).

■ Уставка селективной токовой отсечки (I_{sd})

I_{sd} , кА (действующее значение), зависит от I_r . Уставка I_{sd} характеризует защиту от коротких замыканий. Отключение выключателя происходит согласно время-токовой характеристике в зоне защиты от коротких замыканий:

□ либо с выдержкой времени t_{sd} ;

□ либо согласно $I^2t = \text{const}$;

□ либо мгновенно (аналогично мгновенной токовой отсечке).

I_{sd} называется селективной токовой отсечкой или I_m .

■ Уставка мгновенной токовой отсечки (I_i)

I_i , кА (действующее значение), зависит от I_n . Уставка I_i характеризует мгновенную защиту от коротких замыканий для всех категорий автоматических выключателей.

При больших значениях токов короткого замыкания, превышающих I_i , автоматический выключатель должен мгновенно отключать повреждение. Эта защита может выводиться из действия в зависимости от категории аппарата (например, может быть выведена у аппаратов категории Б (англ. «B»)).

Основные требования к системе электроснабжения

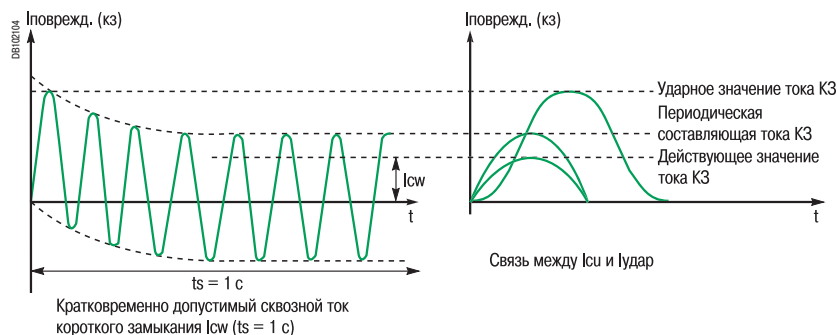


Таблица с указанием соотношения K между наибольшими включающей и отключающей способностями выключателей (см. ГОСТ Р 50030.2-99 п.4.3.5.3).

$I_{kз}$: ожидаемое значение периодической составляющей тока КЗ, кА (действ. значение)	$K = \frac{\text{Наибольшая включающая способность}}{\text{Наибольшая отключающая способность}}$
$4,5 \leq I \leq 6$	1,5
$6 < I \leq 10$	1,7
$10 < I \leq 20$	2,0
$20 < I \leq 50$	2,1
$50 < I$	2,2

■ Номинальная наибольшая включающая способность (I_{cm})*

I_{cm} , кА (максимальное пиковое значение), представляет собой максимальное значение тока короткого замыкания, которое выключатель способен включить. Включение на КЗ представляет собой наиболее тяжелый режим для автоматического выключателя.

■ Номинальная предельная наибольшая отключающая способность (I_{cu})*

I_{cu} , кА (действующее значение), представляет собой максимальное значение тока короткого замыкания, которое способен отключить выключатель. Оно подтверждается серией испытаний согласно стандарту. После проведения серии испытаний автоматический выключатель не должен представлять опасности. Значение I_{cu} указывается для определенного значения рабочего напряжения U_e .

■ Номинальная рабочая наибольшая отключающая способность (I_{cs})*

I_{cs} , кА (действующее значение), указывается производителем. Значение I_{cs} выражается в % от I_{cu} . Этот параметр очень важен. Он характеризует способность аппарата обеспечивать нормальную работу после трехкратного отключения этого тока короткого замыкания (I_{cs}). Чем выше значение I_{cs} , тем более высокие значения токов КЗ выключатель может отключать многократно.

■ Номинальный временно допустимый ток (I_{cw})*

Иногда этот параметр называется временно допустимым сквозным током короткого замыкания. Он определяется для выключателей категории Б (англ. «B»).

I_{cw} , кА (действующее значение), представляет собой максимальный ток короткого замыкания, который выключатель способен выдерживать в течение короткого промежутка времени (до 1 с) без каких-либо ухудшений характеристик.

Данный параметр проверяется при испытаниях.

(*) Данные характеристики указываются для определенного значения рабочего напряжения U_e .

Координация между автоматическими выключателями

«Координация» — это термин, который определяет и характеризует поведение двух аппаратов, расположенных последовательно в цепи при повреждении (коротком замыкании).

■ Каскадное соединение или согласно ГОСТ Р 50030.2 - «резервная защита».

Этот принцип заключается в установке верхнего автоматического выключателя D1 с целью «оказания помощи» нижнему выключателю D2 в отключении токов короткого замыкания, которые превышают его наибольшую отключающую способность I_{cu} D2. Значение тока короткого замыкания, которое могут отключить аппараты при каскадном соединении, обозначается $I_{cu} D2+D1$.

Стандарт МЭК 60947-2 допускает выбор и расположение аппаратов согласно каскадному принципу. Для особых, критических точек, т.е. там, где время-токовые характеристики сходятся (зона неопределенности), каскадное соединение должно быть проверено дополнительными испытаниями.

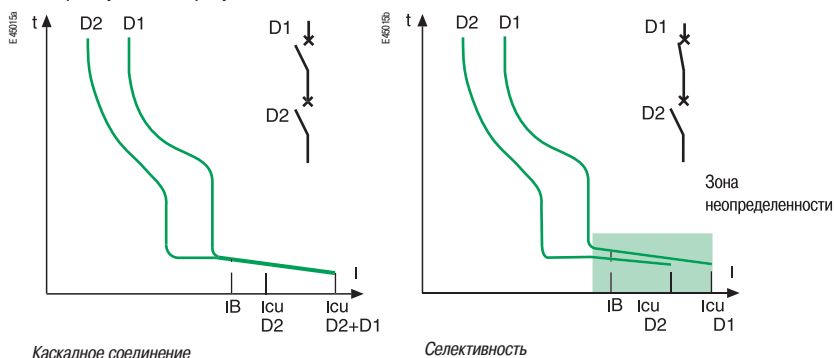
■ Селективность

Селективность заключается в обеспечении такой координации между время-токовыми характеристиками последовательно расположенных выключателей, чтобы в случае повреждения отключался только выключатель, наиболее близкий к повреждению. Стандарт МЭК 60947-2 определяет значение тока I_s , называемое предельным током селективности:

- если ток повреждения (K3) меньше тока I_s , отключается только нижний выключатель D2;
- если ток повреждения (K3) больше тока I_s , отключаются оба автоматических выключателя (D1 и D2).

Как и каскадное соединение, селективность в критических точках должна проверяться дополнительными испытаниями.

Селективность и каскадное соединение могут быть гарантированы только производителем, который указывает результаты испытаний в специальных таблицах.



■ Обозначения:

- $I_{cu} D2$: предельная отключающая способность выключателя D2.

Основные требования к системе электроснабжения

1.5. Сводная таблица

	ГРЩ НН Уровень А	Промежуточные распредел. щиты Уровень Б	Конечное распределение Уровень В
Характеристики щита			
<i>I_{ном}</i>	1000 - 6300 А	100 - 1000 А	1 - 100 А
<i>I_{кз}</i>	50 - 150 кА	20 - 100 кА	3 - 10 кА
Термич. стойкость	***	*	*
<i>I_{св}</i> /эл.дин. стойкость			
Бесперебойное электроснабжение	***	***	**
Тип выключателя	Силовой автоматический выключатель на большие токи	Автоматический выключатель в литом корпусе	Модульный автоматический выключатель
Стандарт МЭК 60947-2	■	■	■ (1)
Расцепитель			
магнитотермический		□ (2)	■
электронный	■	■	
Характеристики			
<i>I_{ном}</i>	800 - 6300 А	100 - 630 А	1 - 125 А
<i>I_{сн}</i>	50 - 150 кА	25 - 150 кА	3 - 25 кА
Категория применения	Б (англ. «B»)	A	A
Токоограничение	* (3)	***	***

■ Рекомендуется или обязательно.

□ Возможно.

*** Чрезвычайно важно.

** Важно.

* Менее важно.

(1) Для бытового применения согласно МЭК 60898.

(2) Возможно до 250 А.

(3) На уровне А требуется редко, только для особых применений.

Принципы действия

2.1. Токоограничение

Токоограничение представляет собой принцип работы автоматического выключателя, позволяющий значительно уменьшить токи короткого замыкания.

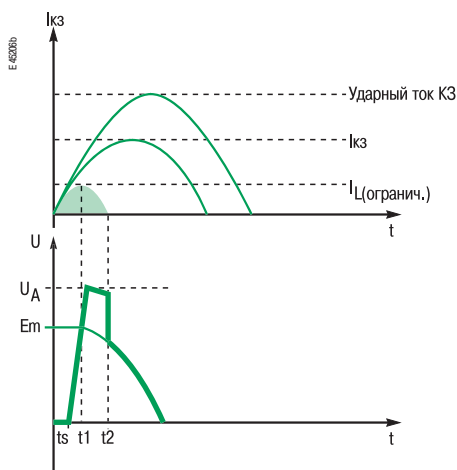
Преимущества токоограничения:

- Снижение электромагнитных, тепловых, механических воздействий на электроустановку.
- Токоограничение является основой принципа каскадного соединения.

Основные положения и принципы

Ожидаемый ток короткого замыкания – ток КЗ, который протекал бы в цепи при отсутствии токоограничения.

Токоограничение предполагает отключение токов КЗ менее чем за полупериод промышленной частоты. Поэтому необходимо учитывать только ударное значение тока короткого замыкания. Оно зависит от ($\cos \varphi$) электроустановки.



Уменьшение ожидаемого значения $I_{\text{удар}}$ до I_L характеризует токоограничение автоматического выключателя.

Токоограничение заключается в создании противо-ЭДС, которая препятствует увеличению тока короткого замыкания.

Эффективность токоограничения определяется тремя критериями:

- временем t_s , через которое начинает нарастать напряжение дуги;
- скоростью нарастания противо-ЭДС;
- величиной противо-ЭДС.

Противо-ЭДС – это напряжение дуги U_A , вызванное сопротивлением дуги, которая образуется между контактами с момента их размыкания. Быстрота развития дуги связана со скоростью размыкания контактов.

Как видно из приведенного рисунка, с момента начала размыкания контактов t_s противо-ЭДС U_A нарастает до момента t_1 и достигает значения напряжения сети E_m . Ограниченный ток КЗ достигает своего максимального значения, затем уменьшается и становится равным нулю через время t_2 . Уменьшение тока КЗ вызвано противо-ЭДС, величина которой превышает напряжение сети E_m .

Принципы действия

Токоограничение автоматического выключателя

Токоограничение выключателя выражается в его способности пропускать ограниченный ток короткого замыкания, который меньше ожидаемого тока КЗ.

Тепловая энергия, выделяемая при коротком замыкании, пропорциональна квадрату тока КЗ, т.е. определяется кривой $I_{КЗ}^2(t)$.

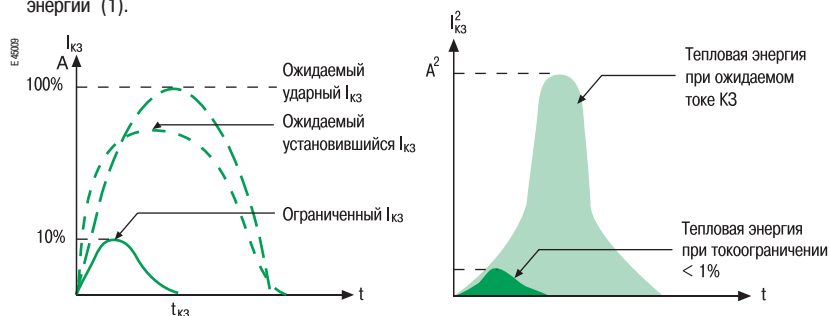
В случае токоограничивающего автоматического выключателя эта выделяемая энергия значительно меньше (см. рисунок).

Если токоограничение отсутствует, то выделяемая энергия будет значительно больше и пропорциональна квадрату ожидаемого тока.

Пример:

При ограничении тока короткого замыкания $I_{КЗ \text{ ожд.}}$ до 10%-ой величины, т.е. до $0,1 I_{КЗ \text{ ожд.}}$, выделяемая тепловая энергия будет снижена до 1%-ой величины.

Повышение температуры кабельных линий прямо пропорционально выделяемой тепловой энергии (1).



Токоограничение и снижение выделяемой тепловой энергии

Преимущества

■ Применение в системе электроснабжения

Токоограничение значительно снижает отрицательные воздействия токов короткого замыкания на электроустановку.

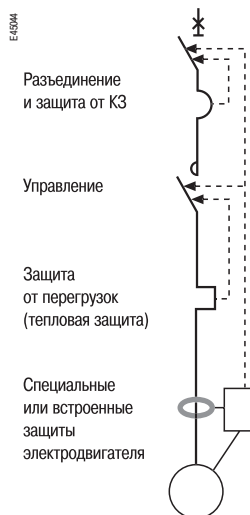
Воздействия при КЗ	Основные достигаемые результаты при токоограничении
■ Электромагнитные	Снижение влияния магнитного поля, соответственно: □ снижение опасности нарушения работы соседних измерительных приборов
■ Механические	Снижение ударного тока КЗ, соответственно: □ уменьшение электромагнитных сил; □ снижение опасности каких-либо деформаций и разрушений
■ Тепловые	Уменьшение выделяемой тепловой энергии (уменьшение величины и длительности протекания тока КЗ) и, как следствие: □ уменьшение нагрева кабельных линий и прочих проводников; □ увеличение срока службы проводников

Таким образом, токоограничение способствует повышению долговечности электроустановок.

(1) При коротком замыкании происходит адиабатический нагрев проводников (без обмена тепла с внешней средой из-за быстроты выделяемой энергии). Повышение температуры проводника сечением S составляет:

$\Delta\theta = \frac{K}{S^2} \int_0^T I^2 dt$, где $\int_0^T I^2 dt$ - это удельное тепловыделение (A²c), т.е. энергия, выделяемая при коротком замыкании в проводнике с сопротивлением 1 Ом.

■ Защита электродвигателей



Защита и управление электродвигателя

Для надежной защиты электродвигателя должны выполняться следующие функции:

- ☐ разъединение;
- ☐ управление;
- ☐ защита от перегрузки;
- ☐ защита от короткого замыкания;
- ☐ дополнительные защиты.

Схема управления двигателем может состоять из 1, 2, 3 или 4 различных аппаратов.

В случае совместного использования нескольких аппаратов (наиболее частый случай) необходимо скоординировать их выполняемые функции.

Токоограничение позволяет обеспечить координацию между устройствами защиты и управления электродвигателем, а также позволяет снизить отрицательные воздействия токов КЗ. Высокий уровень токоограничения автоматических выключателей позволяет обеспечить координацию по типу 2 согласно МЭК 60947.4.1, не требуя применения аппаратов с более высокими характеристиками. Этот тип координации гарантирует оптимальные условия эксплуатации.

Тип 1 МЭК 60947-4-1	Тип 2 МЭК 60947-4-1
Полная безопасность персонала. Оборудование, кроме контакторов и реле, не должно быть повреждено. После аварийного режима изоляция не должна быть нарушена. Перед повторным пуском схему управления электродвигателя необходимо привести в исправное состояние	Согласно координации по типу 2 не допускается какое-либо повреждение или изменение регулировок оборудования. После аварийного режима изоляция не должна быть нарушена. Схема управления электродвигателя должна сохранять работоспособность после короткого замыкания. Риск сваривания контактов контактора допускается, если затем их можно легко отделить друг от друга. Перед повторным включением достаточно выполнить небольшой осмотр. Незначительный объем необходимого обслуживания, быстрое восстановление работоспособности

Принципы действия

Кривые токоограничения

Токоограничение автоматического выключателя определяют по кривым токоограничения, которые указывают:

■ Ограниченный ударный ток в зависимости от действующего значения ожидаемого тока короткого замыкания.

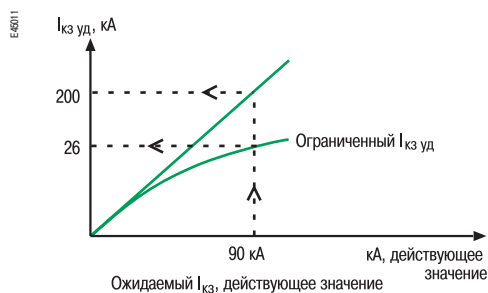
Пример:

На отходящей линии 160 А, где действующее значение ожидаемого тока КЗ ($I_{кз}$) составляет **90 кА, ударный ток КЗ при отсутствии токоограничения был бы равен 200 кА** ($K_{уд} = 1,57$). При токоограничении $I_{кз\ уд} = 26$ кА.

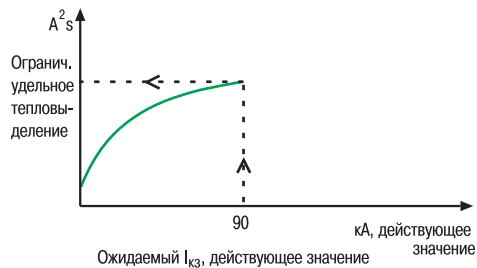
■ Ограниченное удельное тепловыделение (A^2s) в зависимости от действующего значения ожидаемого тока короткого замыкания.

Пример:

Для отходящей линии из предыдущего примера тепловыделение уменьшается от $100 \times 10^6 A^2s$ до $6 \times 10^6 A^2s$.



Кривая токоограничения



Кривая ограничения тепловыделения

Каскадное соединение позволяет:

- реализовать экономичное решение;
- упростить выбор оборудования за счет применения выключателей с меньшей отключающей способностью.

2.2. Принцип каскадного соединения (согласно ГОСТ Р 50030.2 - «резервная защита»)

Каскадное соединение «усиливает» отключающую способность выключателей, расположенных ниже токоограничивающего выключателя. Последний ограничивает большие значения тока КЗ, тем самым «помогая» нижерасположенному выключателю. Каскадное соединение позволяет использовать выключатель с отключающей способностью ниже, чем расчетный ожидаемый ток КЗ в точке его установки.

Область применения

Каскадное соединение:

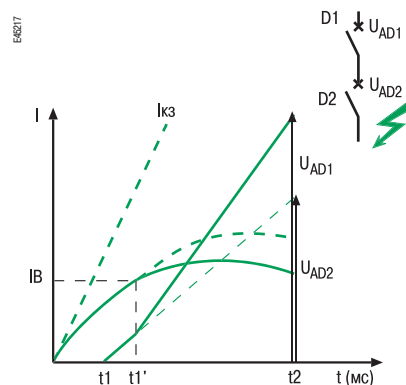
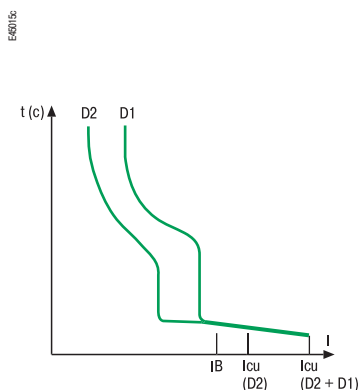
- применительно ко всем аппаратам, установленным ниже данного токоограничивающего выключателя;
- может распространяться на несколько последовательно расположенных аппаратов, даже если они установлены в разных щитах.

При каскадном соединении согласно МЭК 60364 требуется, чтобы вышеразположенный аппарат имел предельную отключающую способность I_{cu} , равную или большую, чем ожидаемый ток короткого замыкания в точке его установки.

Значение I_{cu} нижерасположенных выключателей представляет собой предельную отключающую способность, которая «усилена» благодаря координации с вышестоящим аппаратом.

Принципы

При отключении двух выключателей (при токах больше I_B) напряжение дуги U_{AD1} , возникающее при размыкании контактов выключателя D1, добавляется к напряжению U_{AD2} и «помогает» отключиться выключателю D2 за счет дополнительного токоограничения.

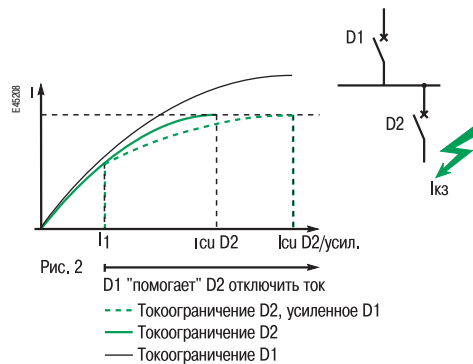


Принципы действия

Комбинация выключателей D1 + D2 позволяет повысить рабочие характеристики выключателя D2 как показано на рисунке 2:

- кривая токоограничения выключателя D2;
- кривая токоограничения выключателя D2, «усиленная» благодаря действию выключателя D1;
- предельная отключающая способность I_{cu} выключателя D2, «усиленная» благодаря действию выключателя D1.

Согласно рекомендациям стандарта МЭК 60947-2, производители указывают и гарантируют значение I_{cu} при каскадном соединении, т.е. I_{cu} , «усиленное» за счет сочетания D1+D2.



Преимущества

Каскадное соединение позволяет в полной мере использовать преимущества токоограничения, снижая отрицательные воздействия токов короткого замыкания:

- электромагнитные;
- электродинамические;
- тепловые.

Установка одного токоограничивающего выключателя дает возможность значительно упростить нижерасположенную сеть, следовательно, снизить ее стоимость:

- упрощение выбора аппаратов благодаря таблицам каскадного соединения;
- экономия на нижерасположенных аппаратах, т.е. использование выключателей с меньшей отключающей способностью по отношению к ожидаемому току КЗ.

Селективность защит — это ключевое требование для обеспечения надежного и бесперебойного электроснабжения. Селективность может быть:

- частичной;
- полной

в зависимости от характеристик сочетаемых защитных устройств.

Существуют следующие виды селективности:

- токовая;
- временная;
- логическая.

Селективность можно оптимизировать путем использования нижерасположенных токоограничивающих выключателей.

2.3. Селективность

Общие положения

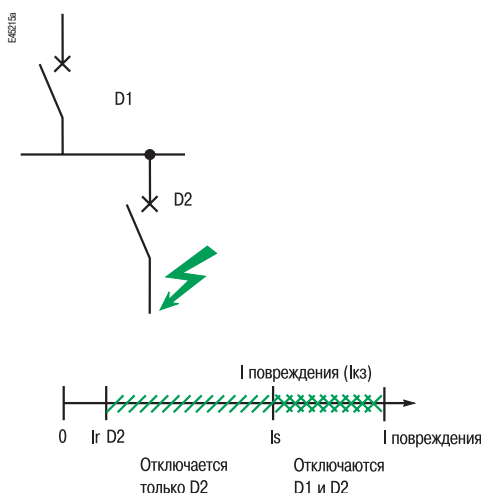
Принцип

Для справки см. стандарт МЭК 60947-2.

Селективность заключается в обеспечении такой координации между время-токовыми характеристиками последовательно расположенных выключателей, чтобы в случае повреждения отключался только выключатель, наиболее близкий к повреждению.

Предельный ток селективности I_s :

- если ток повреждения (I_{K3}) меньше тока I_s , отключается только нижний выключатель D2;
- если ток повреждения (I_{K3}) больше тока I_s , отключаются оба автоматических выключателя (D1 и D2);



■ Полная или частичная селективность

Ожидаемый ток короткого замыкания в точке D2 ($I_{K3 D2}$) сравнивается с предельным током селективности:

- полная селективность: $I_s > I_{K3 D2}$; селективность считается полной, если при любой величине тока повреждения оно устраняется только выключателем D2;
- частичная селективность: $I_s < I_{K3 D2}$; селективность считается частичной, если при токах повреждения меньше значения I_s отключается только выключатель D2, а если ток повреждения превышает I_s , то отключаются оба выключателя (D1 и D2).

■ Данные производителей

Как правило, производители индивидуально («по-своему») определяют селективность:

- полная селективность, если значение I_s равно $I_{cu D2}$. Таким образом, при коротких замыканиях значение I_s рассматриваемой пары автоматических выключателей никогда не будет превышено (при стандартном выборе автоматических выключателей, т.е. когда не используется принцип каскадного соединения, должно выполняться условие $I_{cu D2} \geq I_{K3 \text{ ожида}}$); таким образом, $I_s \geq I_{K3 \text{ ожида}}$ т.е. селективность будет полной;
- частичная селективность, т.е. до значения I_s . Однако в некоторых случаях расчетный ток КЗ может оказаться ниже, чем предельный ток селективности I_s , в таком случае селективность между D1 и D2 будет обеспечиваться.

■ Обозначения:

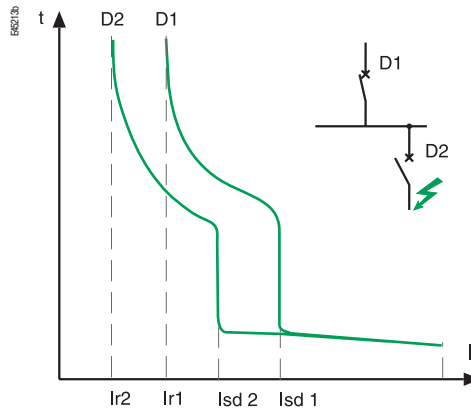
- $I_{cu D2}$: предельная отключающая способность выключателя D2.

Принципы действия

Основные виды селективности

■ Токовая селективность

Этот вид селективности предполагает смещение или разнесение время-токовых характеристик последовательно расположенных автоматических выключателей по оси тока (см.рис.).



Предельный ток селективности I_s равен:

- $I_s = I_{sd2}$, если значения I_{sd1} и I_{sd2} слишком близки или сливаются;
- $I_s = I_{sd1}$, если значения I_{sd1} и I_{sd2} достаточно отдалены друг от друга.

Обычно токовая селективность обеспечивается, когда:

- $I_{r1}/I_{r2} > 2$;
- $I_{sd1}/I_{sd2} > 2$.

Предел селективности в данном случае:

$I_s = I_{sd1}$.

Селективность

Селективность является полной, если $I_s > I_{кз D2}$ или $I_{sd1} > I_{кз D2}$.

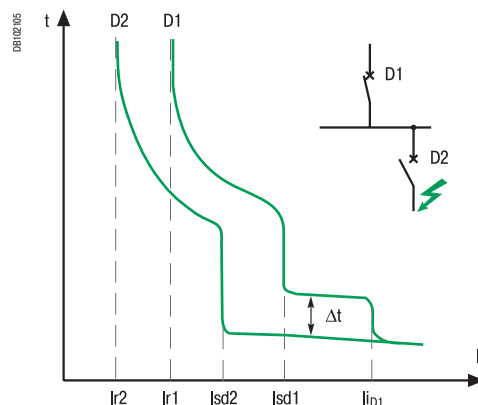
Обычно это выполняется при:

- относительно низких токах КЗ ($I_{кз D2}$);
- достаточной разности между номинальными токами выключателей D1 и D2.

Токовая селективность, как правило, используется на уровне конечного распределения.

■ Временная селективность

Этот вид селективности обеспечивается за счет смещения или сдвига время-токовых характеристик последовательно расположенных автоматических выключателей по времени (см. рис.). Селективность данного вида предполагает наличие выдержки времени Δt при срабатывании выключателя D1. Иначе говоря, выключатель D1 имеет селективную токовую отсечку (SD или фр. CR).



При уставках (I_{r1} , I_{sd1}) выключателя D1 и (I_{r2} , I_{sd2}) выключателя D2 соблюдается правило ступенчатого расположения их время-токовых характеристик, т.е. они не пересекаются. Предельный ток селективности I_s в данном случае по меньшей мере равен току I_{d1} (т.е. уставке мгновенной токовой отсечки выключателя D1).

Селективность

Возможно два применения.

■ На отходящих линиях конечного распределения, а также на уровне промежуточного распределения.

Выключатели категории А могут использоваться с вышестоящими выключателями, которые имеют выдержку времени. Это позволяет обеспечить селективность при токах КЗ до величины мгновенной токовой отсечки выключателя D1 ($I_{D1}^{(i)}$), т.е. $I_s = I_{D1}^{(i)}$.

Если значение расчетного тока $I_{K3 D2}$ невелико, что характерно для уровня конечного распределения, может быть обеспечена полная селективность.

■ На вводе и отходящих линиях ГРЩ НН.

На этом уровне надежное и бесперебойное электроснабжение является основным требованием, поэтому на нем, как правило, применяются автоматические выключатели категории Б (англ. «B»). Они предусматривают возможность отключения с выдержкой времени. Для этих выключателей характерна высокая термическая стойкость (как правило, значение $I_{scw} \geq 50\% I_{cp}$ для $\Delta t = 1$ с, т.е. I_{scw} больше или равно, чем 50% от номинальной наибольшей отключающей способности): $I_s \geq I_{scw D1}$.

Даже при больших значениях $I_{K3 D2}$ **временная селективность позволяет обеспечить полную селективность: $I_{scw D1} > I_{K3 D2}$.**

Примечание:

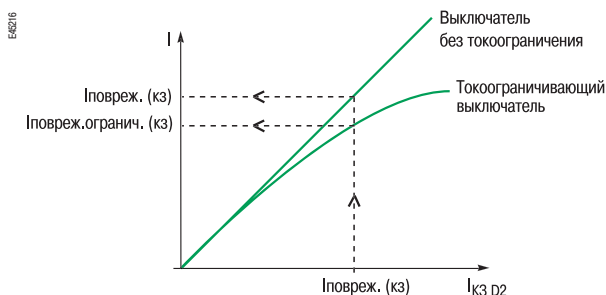
Применение выключателей категории Б (англ. «B») предъявляет к электроустановке более жесткие требования, так как в таком случае она подвергается значительным тепловым и электродинамическим воздействиям.

Эти выключатели имеют регулируемую уставку мгновенной токовой отсечки, которая может выводиться из действия. Данная защита (II) предназначена, как правило, для защиты сборных шин.

■ Улучшение токовой и временной селективности.

□ Токоограничивающий нижерасположенный выключатель.

Использование токоограничивающего нижнего выключателя позволяет изменять предел селективности.



Ток повреждения (см. рис.), который будет протекать через выключатель D1, равен:

□ $I_{повреж. (кз)}$ для выключателя без токоограничения;

□ $I_{повреж.огранич. (кз)} < I_{повреж. (кз)}$ для токоограничивающего выключателя.

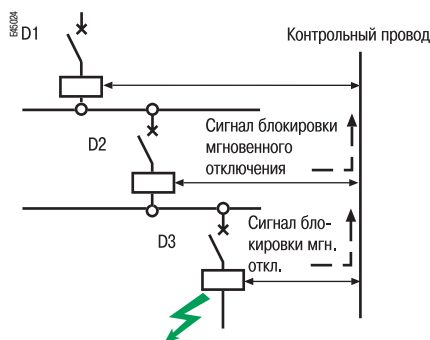
Таким образом, предельный ток селективности I_s между выключателями D1 и D2 будет «сдвинут» настолько, насколько эффективным будет токоограничение нижнего выключателя.

Селективность

Применение токоограничивающего выключателя D2 дает возможность обеспечить полную селективность с выключателем D1, так как защиты выключателя D1 оказываются надежно отстроены по току и выдержке времени от тока КЗ в точке D2.

Принципы действия

■ Логическая селективность или «Зона логической селективности»



Логическая селективность

Этот вид селективности может быть реализован на базе выключателей со специально разработанными электронными расцепителями, например, на аппаратах Compact NS и Masterpact. При логической селективности воздействие оказывается только на:

- селективную токовую отсечку (SD или фр. CR);
- защиту от замыканий на землю (GFP).

В частности, мгновенная токовая отсечка не используется при логической селективности.

Уставки автоматических выключателей

■ Уставки по времени: необходимо соблюдать ступенчатое расположение уставок по времени, т.е. $\Delta t_{D1} \geq \Delta t_{D2} \geq \Delta t_{D3}$.

■ Уставка по току: необходимо соблюдать ступенчатое расположение уставок защит ($I_{sd_{D1}} \geq I_{sd_{D2}} \geq I_{sd_{D3}}$).

Примечание: этот вид селективности позволяет обеспечить ее даже для выключателей с близкими номинальными токами.

Принципы

Логическая селективность осуществляется посредством передачи информации по контрольному проводу.

Действие

Контрольный провод соединяет последовательно расположенные выключатели (см. рис. «Логическая селективность»). В аварийном режиме выключатель, расположенный выше повреждения, обнаруживает его и посылает сигнал блокировки на верхний уровень, т.е. вышестоящему выключателю. В этом случае вышестоящий аппарат будет работать с заданной на расцепителе выдержкой времени.

В случае, если вышестоящий автоматический выключатель не получает сигнал блокировки, он срабатывает мгновенно.

Селективность

Данный вид селективности рекомендован и широко применяется в США, он позволяет:

- легко обеспечить селективность на трех и более уровнях;
- значительно снизить воздействие токов КЗ на электроустановку, связанное с выдержкой времени вышестоящего аппарата при его срабатывании, если КЗ имеет место на сборных шинах между аппаратами, «охваченными» логической селективностью; в этом случае защиты являются практически мгновенными;
- легко обеспечить селективность с нижестоящими аппаратами.

2.4. Правила селективности

Общие правила селективности

Защита от перегрузок

Селективность при перегрузке обеспечивается, если время несрабатывания верхнего выключателя D1 превышает максимальное время отключения выключателя D2. Данное условие реализуется, если соотношение уставок защиты от перегрузок и селективной токовой отсечки превышает 2. Предельный ток селективности I_s по меньшей мере равен уставке селективной токовой отсечки вышестоящего аппарата.

Защита от коротких замыканий

■ Временная селективность

Отключение вышестоящего аппарата D1 происходит с выдержкой времени Δt .

□ Должны соблюдаться необходимые условия токовой селективности.

□ Выдержка времени Δt вышестоящего аппарата D1 должна быть достаточна для того, чтобы нижестоящий аппарат смог устранить повреждение.

Временная селективность позволяет увеличить предельный ток селективности I_s до уставки мгновенной токовой отсечки вышестоящего аппарата D1.

Селективность является полной, если выключатель D1:

□ относится к категории Б (англ. «B»);

□ значение I_{sw} выключателя D1 = I_{cu} .

В остальных случаях селективность полная, если уставка мгновенной токовой отсечки вышестоящего выключателя D1 превышает ожидаемый I_{k3} в точке, где установлен выключатель D2.

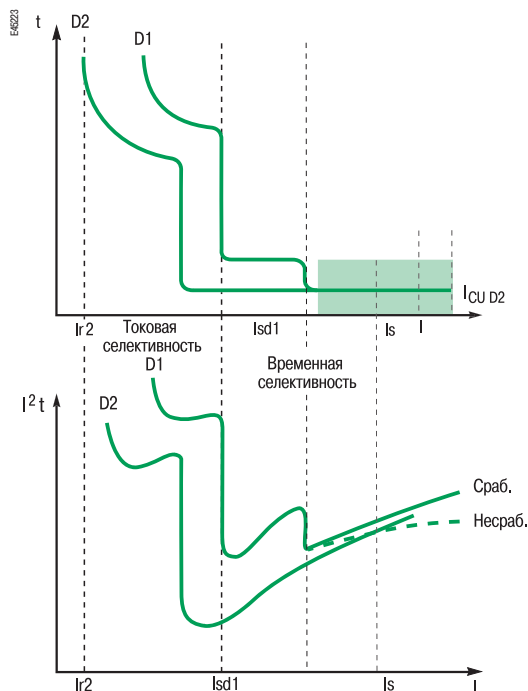
■ Логическая селективность

Селективность всегда полная.

■ Общий случай

Общих правил селективности не существует.

□ На время-токовых характеристиках «наглядно» видно, что селективность является полной в том случае, если ток КЗ (I_{k3}) находится в зоне селективной токовой отсечки вышестоящего аппарата.



В других случаях только испытания могут определить пределы селективности, особенно если речь идет о координации токоограничивающих выключателей. Определение предела селективности I_s осуществляется сравнением:

- кривой энергии срабатывания нижестоящего выключателя;
- кривой энергии несрабатывания вышестоящего выключателя.

Возможная точка пересечения данных кривых указывает предел селективности I_s .

Результаты испытаний по координации защит указываются производителями в таблицах.

Принципы действия

2.5. Селективность дифференциальных защит

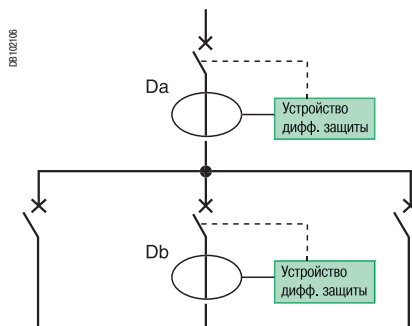
В зависимости от режима заземления нейтрали под селективностью обычно понимают координацию защит при сверхтоках. Если же повреждение устраняется специальными дифференциальными защитами (например, повреждение изоляции в системе ТТ), необходимо обеспечить также селективность между устройствами дифференциальной защиты.

В случае повреждения изоляции селективность дифференциальных защит должна обеспечивать отключение только поврежденного участка.
Цель — обеспечить надежное электроснабжение.

Существует два вида селективности дифференциальных защит.

Селективность «по вертикали»

Учитывая рабочие требования и нормативные положения, одновременно должны выполняться два условия: по току и по времени.



Селективность «по вертикали»

Условие по току

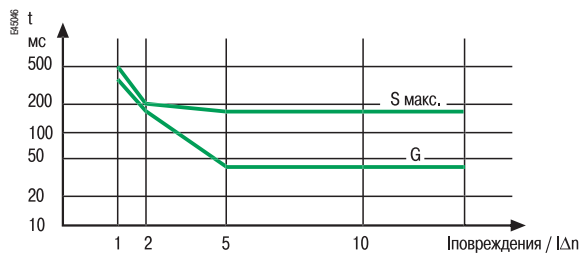
Устройство дифференциальной защиты должно срабатывать в диапазоне $I_{\Delta n}/2 - I_{\Delta n}$, где $I_{\Delta n}$ — заявленная чувствительность (мА). Таким образом, между чувствительностями вышестоящего и нижестоящего устройств должно быть соотношение не менее 2. На практике это значение составляет 3.

Условие по времени

Минимальное время несрабатывания вышестоящего устройства должно превышать максимальное время срабатывания нижестоящего устройства для всех значений тока.

Примечание: время срабатывания устройств дифференциальной защиты должно всегда быть меньше или равным времени, указанного стандартом, чтобы обеспечить защиту людей от косвенных прикосновений.

Для оборудования бытового назначения (Multi 9) время срабатывания определяется стандартами МЭК 61008 и МЭК 61009. Значения, указанные в таблице, соответствуют кривым G и S. Кривая G (стандартный тип) соответствует устройствам дифференциальной защиты без выдержки времени, а кривая S (селективный тип) – устройствам с выдержкой времени.



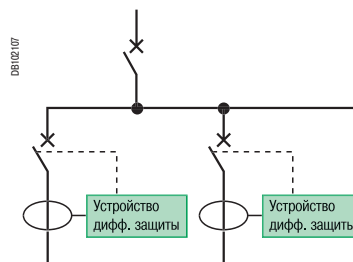
Время срабатывания G и S

Нормативные значения времени срабатывания

Тип	I _n А	I _{Δn} А	Нормативные значения времени срабатывания и несрабатывания (с) при:				
			I _{Δn}	2I _{Δn}	5I _{Δn}	500 А	
Стандарт. без выдержки времени	Все значения	Все значения	0,3	0,15	0,04	0,04	Макс. время срабатывания
Селективный	>25	>0,030	0,5	0,2	0,15	0,15	Макс. время срабатывания
			0,13	0,06	0,05	0,04	Мин. время несрабатывания

Селективность «по горизонтали»

Этот вид селективности предполагает установку устройств дифференциальной защиты на всех отходящих линиях внутри шкафа, что позволяет не устанавливать данные устройства на вводе. Таким образом, отключаться будет только поврежденная отходящая линия.



Селективность «по горизонтали»

Принципы действия

Селективность и каскадное соединение могут быть гарантированы только производителем, который должен указать в таблицах результаты испытаний.

2.6. Координация защит и электротехнические стандарты

Стандарт МЭК 60364 определяет общие положения и требования к электроустановкам зданий.

Национальные стандарты, основанные на данном стандарте МЭК, рекомендуют обеспечивать координацию между аппаратами защиты. В них рассматриваются принципы каскадного соединения и селективности на основе стандарта МЭК 60947-2.

■ Стандарт МЭК 60947-2

В приложении А стандарта МЭК 60947-2 (ГОСТ Р 50030.2) говорится о координации между автоматическими выключателями. В частности, определены испытания, которые необходимо проводить производителю.

□ Селективность.

Она обычно рассматривается и анализируется теоретически. Для критических точек, где время-токовые характеристики пересекаются (или сливаются), необходима проверка путем проведения испытаний. Селективность гарантируется производителем, который указывает значение I_s (предельный ток селективности) в таблицах.

□ Каскадное соединение или согласно ГОСТ Р 50030.2 - «резервная защита».

Стандарт указывает испытания, которые необходимо проводить для проверки координации при каскадном соединении.

— Проверка путем сравнения характеристик. Как правило, на практике этой проверки оказывается достаточно. Но необходимо обязательно доказать, что значение $I_{cu} D2$ при каскадном соединении аппаратов совместимо с максимально допустимой энергией I^2t для аппарата D2 (т.е. при каскадном соединении за счет токоограничения вышестоящего аппарата D1 энергия I^2t , проходящая через нижестоящий аппарат D2, не превышает допустимого для D2 значения).

— Проверка путем проведения испытаний.

Для критических точек каскадное соединение обычно проверяется испытаниями. Испытания проводятся при максимальной уставке I_{max} вышестоящего выключателя D1 и минимальной уставке выключателя D2. Результаты испытаний (отключающая способность, «усиленная» каскадным соединением выключателей) сводятся в таблицы и гарантируются производителем.

■ Стандарты на электроустановки зданий

Стандарт на электроустановки зданий (МЭК 60364) уточняет применение этих принципов в зависимости от системы заземления нейтрали (режима нейтрали).

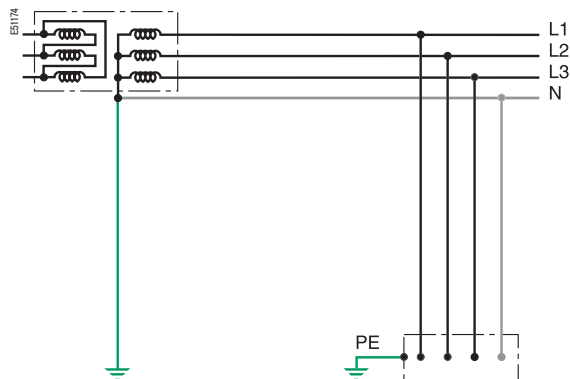
Селективность

Селективность должна быть обеспечена в любой системе заземления нейтрали в независимости от типа повреждения (перегрузка, короткое замыкание, повреждение изоляции).

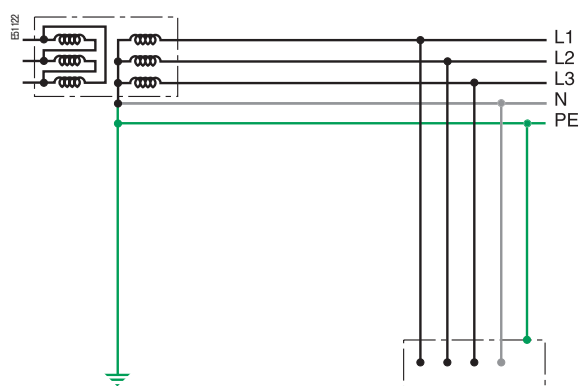
Некоторое преимущество представляет сеть с изолированной нейтралью (IT), так как данная система заземления нейтрали допускает работу при повреждении изоляции в течение определенного времени.

Каскадное соединение

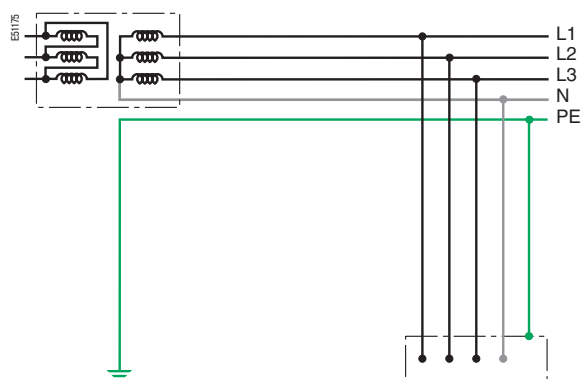
Правила каскадного соединения даны для системы TN и TT.



Система TT



Система TN



Система IT

Примечание:

Стандарт МЭК 60364 определяет 3 системы заземления нейтрали:

■ TT: система, в которой нейтраль источника питания глухо заземлена, а открытые проводящие части электроустановки заземлены при помощи заземляющего устройства, электрически независимого от глухозаземленной нейтрали источника.

■ TN: система, в которой нейтраль источника питания глухо заземлена, а открытые проводящие части электроустановки присоединены к глухозаземленной нейтрали источника посредством нулевых защитных проводников.

■ IT: система, в которой нейтраль источника питания изолирована от "земли" или заземлена через приборы или устройства, имеющие большое сопротивление, а открытые проводящие части электроустановки заземлены.

В любой системе заземления нейтрали применяемое оборудование должно надежно защищать людей от косвенных прикосновений.

Основные принципы работы электрических аппаратов Schneider Electric

Автоматические выключатели Merlin Gerin и Telemecanique на токи от 0,5 до 6300 А удовлетворяют всем потребностям распределения электроэнергии.

■ Серия автоматических выключателей Masterpact NT и NW на токи от 630 до 6300 А.

■ Серия автоматических выключателей Compact в литом корпусе:

□ Compact NS на токи 630 – 1600 А;

□ Compact NS на токи 100 – 630 А.

■ Серия модульных автоматических выключателей Multi 9 на токи от 0,5 до 125 А:

□ NG125;

□ C60;

□ DPN.

■ Серия автоматических выключателей торговой марки Telemecanique для защиты электродвигателей:

□ GV2;

□ GV7.

Все эти изделия отвечают требованиям стандарта МЭК 60947-2.

Автоматические выключатели Merlin Gerin и Telemecanique, предназначенные для распределения электроэнергии и для защиты электродвигателей, разрабатывались при тесном сотрудничестве этих торговых марок. Координация между выключателями Merlin Gerin и Telemecanique испытана согласно МЭК 60947-2 и гарантируется Schneider Electric.

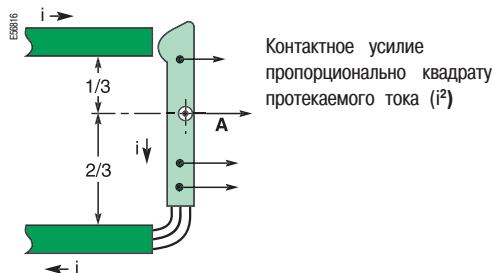
Schneider Electric предлагает подробные таблицы, которые отражают координацию между автоматическими выключателями: таблицы селективности, таблицы каскадного соединения, таблицы селективности при каскадном соединении.

3.1. Автоматические выключатели на большие токи

Технологии Schneider Electric, которые применяются в серии автоматических выключателей Masterpact, позволяют наиболее полно ответить требованиям по селективности в головной части электроустановки, а также для некоторых применений обеспечить токоограничение.

3.1.1. Принципы действия

Чтобы надежно обеспечить селективность на этом уровне необходимо иметь электрические аппараты с высокой электродинамической стойкостью. Конструктивно она обеспечивается благодаря созданию усилия от протекаемого тока КЗ, которое удерживает подвижный контакт (прижимает его к неподвижному контакту).



Усилия от протекаемого тока КЗ

Этот принцип используется во всех аппаратах Masterpact NT и NW, кроме Masterpact NT модификации L1, которая является токоограничивающей.

Модификация L1 имеет отключающую способность 150 кА / 415 В, и при небольшом объеме Masterpact NT это требует применения другой конструкции контактов аппарата.

Конструкция контактов токоограничивающей модификации

Эффективное токоограничение обеспечивается:

- неподвижным контактом, который имеет петлю тока и U-образную магнитную цепь;
- осью подвижного контакта, расположенной на его торце.

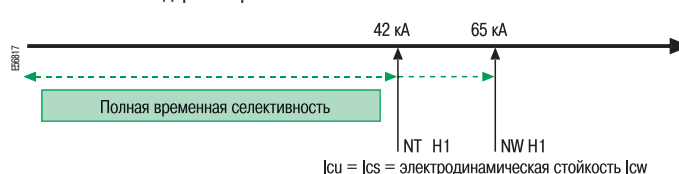
3.1.2. Технические новшества, которые применяются в серии Masterpact

Masterpact NT и NW N1 и H1

Автоматические выключатели Masterpact имеют характеристики, которые прекрасно подходят для использования в системах электроснабжения промышленных предприятий. Эти аппараты применяются также и на объектах непромышленной сферы ($I_{k3} < 65$ кА). Автоматические выключатели Masterpact обеспечивают полную селективность с нижерасположенными аппаратами Compact NS.

Для обеспечения этих характеристик необходимо, чтобы кратковременно допустимый сквозной ток короткого замыкания аппарата (I_{cw}) был равен (достигал) отключающей способности данного автоматического выключателя (I_{cs}), т.е. $I_{cw} = I_{cs}$.

Это позволяет аппарату надежно пропускать и выдерживать ток короткого замыкания в течение всей выдержки времени селективной токовой отсечки.

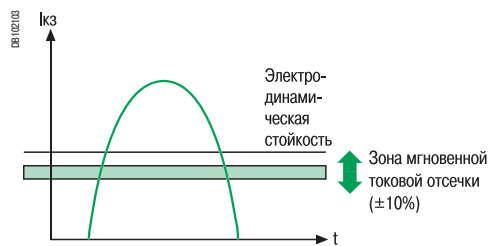


Masterpact NW H2

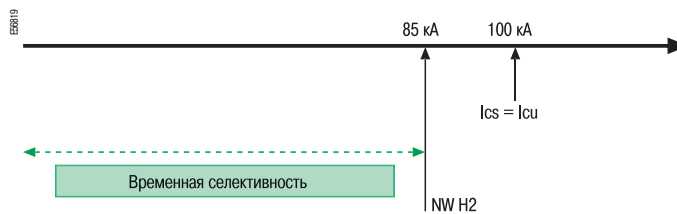
В случае, если значение I_{cw} аппарата меньше, чем значение I_{cs} , то необходимо предусмотреть внутреннюю защиту аппарата, чтобы избежать его повреждения при I_{k3} в диапазоне от I_{cw} до I_{cs} , т.е. когда $I_{cw} < I_{k3} < I_{cs}$.

Эта защита откалибрована на заводе и мгновенно отключает аппарат. Ее уставка чуть ниже уровня электродинамической стойкости аппарата.

Основные принципы работы электрических аппаратов Schneider Electric



Зона мгновенной токовой отсечки ($\pm 10\%$)



I_{cw} = кратковременно доп. ток = уставка внутренней защиты DIN

Ограниченная временная селективность

Большая точность измерения тока и отсутствие насыщения позволяет приблизиться к порогу термической стойкости. Это значительно улучшает уровень селективности, отодвигая порог мгновенного отключения.

На крупных промышленных предприятиях ($I_{k3} < 100 \text{ kA}$) это позволяет обеспечить полную селективность с нижестоящими аппаратами Compact NS.

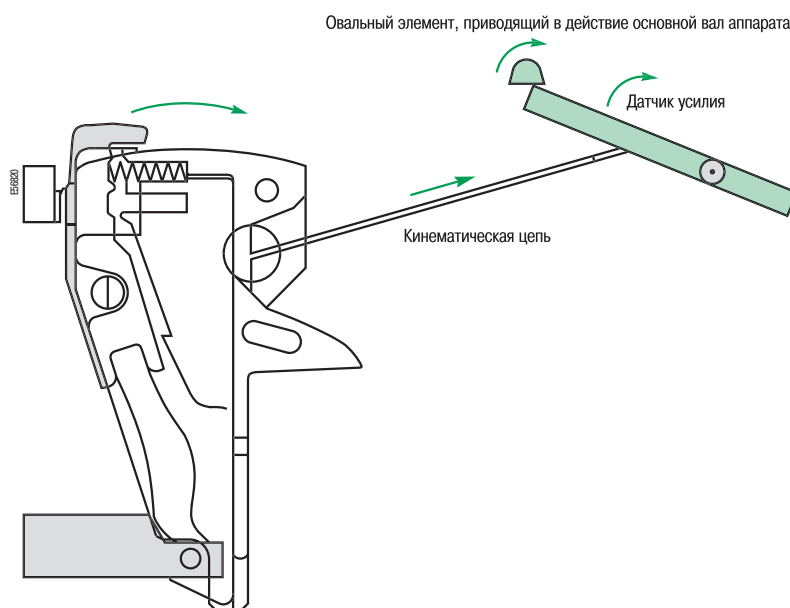
Masterpact NW H3

Как и для Masterpact H2, значение $I_{cw} < I_{cs}$ также требует калибровки мгновенной токовой отсечки.

Чтобы отключить ожидаемый ток КЗ, равный 150 кА, необходимо высокое быстродействие. Т.е. нельзя допускать, чтобы ток КЗ протекал в течение первого полупериода, так как термическая стойкость аппарата значительно ниже.

Электронная измерительная цепь в сочетании с механическим действием катушки отключения не обеспечивает достаточное быстродействие. Технология, которая используется в автоматических выключателях Masterpact NW, запатентована.

При возникновении высокого значения тока короткого замыкания, создается электромагнитная сила, которая действует на полюс, «отталкивая» его. Движение полюса через кинематическую цепь передается на защелку. Эта защелка сдвигается и освобождает основной вал аппарата до того, как срабатывает электронная измерительная цепь.



Отключение при помощи механической системы происходит параллельно с электронной измерительной цепью, которая подтверждает отключение аппарата и осуществляет индикацию повреждения на передней панели.

Данная система обеспечивает:

- высокую термическую стойкость: $I_{cw} = 65 \text{ кА}, 1 \text{ с}$;
 - сверхбыстрое отключение при токе свыше I_{cw} , что гарантирует I_{cu} до 150 кА.
- Такие характеристики аппаратов Masterpact прекрасно подходят для использования в системах электроснабжения промышленных предприятий с несколькими источниками питания и большими токами КЗ на шинах ($> 100 \text{ кА}$). С нижестоящими аппаратами Compact NS естественным образом обеспечивается полная селективность.

Masterpact NW и NT L1

Автоматический выключатель **Masterpact NW L1** объединяет все эти характеристики:

- отключающая способность до 150 кА/400 В;
- термическая стойкость 30 кА/400 В;
- высокая токоограничивающая способность NW L1: ожидаемое значение ударного тока КЗ равно 390 кА при 380/415 В, ограниченное значение ударного тока КЗ равно 170 кА.

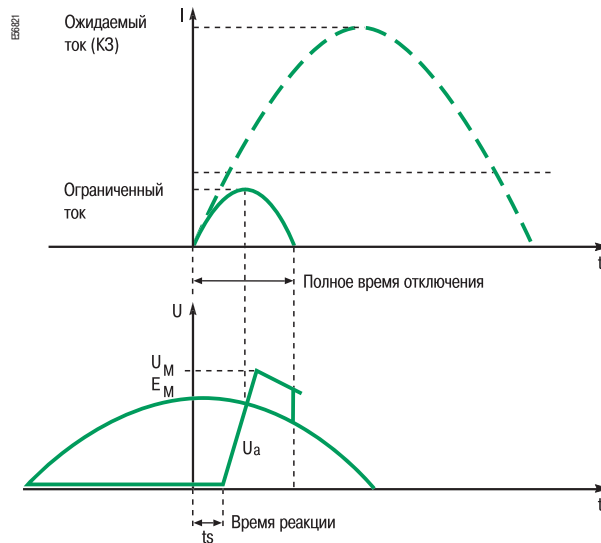
В этом аппарате использованы рассмотренные выше технологии:

- селективный полюс, как и в других аппаратах, для обеспечения термической стойкости 30 кА/400 В;
- механическая система для быстрого отключения высоких значений токов КЗ.

Основные принципы работы электрических аппаратов Schneider Electric

Чтобы обеспечить эффективное токоограничение, неподвижный контакт был подвергнут модернизации. Данная модернизация запатентована.

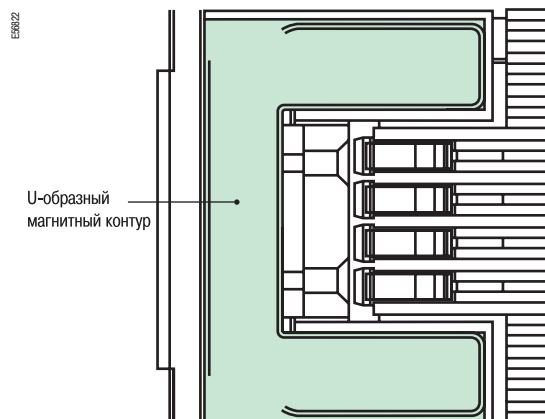
Токоограничение зависит от напряжения дуги, которая возникает между подвижным и неподвижным контактами при их размыкании. Это напряжение дуги должно развиваться как можно раньше и быстро достигать большой величины.

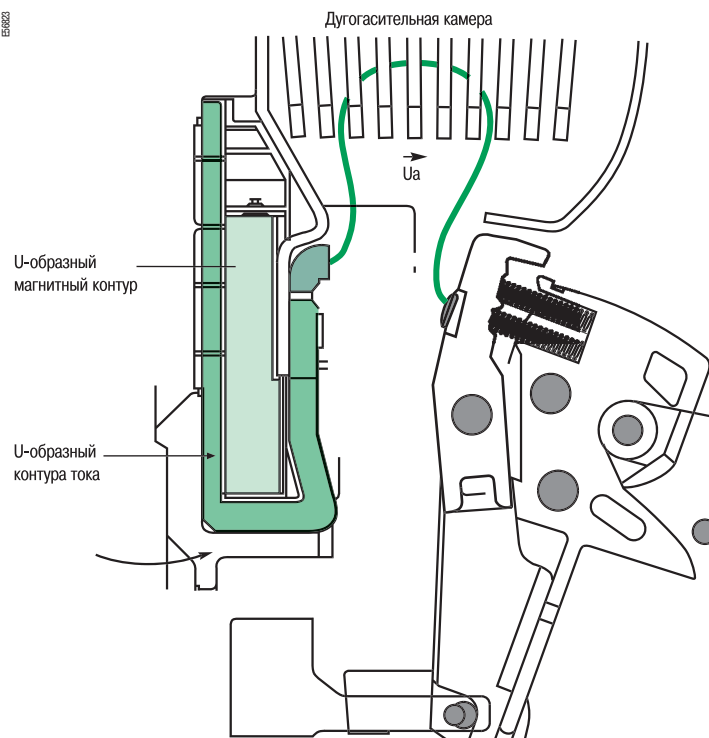


По этой причине необходимо увеличивать силу отталкивания и обеспечивать выброс дуги в дугогасительную камеру.

■ Использование U-образного контура тока для увеличения усилия отталкивания.

■ Использование U-образного магнитного контура вокруг неподвижного контакта для концентрации силовых линий электромагнитного поля. Это позволяет обеспечить ранний, быстрый и энергичный выброс дуги в дугогасительную камеру.





При большом значении тока короткого замыкания контакты аппарата слегка размыкаются, а U-образный магнитный контур способствует выбросу дуги в дугогасительную камеру. Дуга при этом вытягивается, что позволяет затем очень быстро отключить аварийный режим.

Данный автоматический выключатель является токоограничивающим, гарантируя при этом уровень селективности 30 кА – непревзойденный показатель для этого типа выключателей.

В аппарате **Masterpact NT L1** используется токоограничивающий тип силовых контактов, который гарантирует быстрое отключение при большом значении тока КЗ.

Для данного типа выключателей токоограничение **Masterpact NT L1** является очень эффективным: ожидаемый ударный ток КЗ равен 390 кА, ограниченный ударный ток КЗ равен 75 кА.

Чтобы улучшить процессы отключения и обеспечить эффективное токоограничение для аппаратов изначально нетокоограничивающих, используется расцепитель, работа которого основана не на мгновенном значении тока, а на его производной. Такой расцепитель не производит отключения аппарата в течение первого полупериода (первой полуволны) тока. При возникновении тока КЗ нижестоящий автоматический выключатель отключается, как только ток КЗ превысит его уставку, при которой отключение происходит менее чем за полупериод. Вышестоящий аппарат Masterpact NT L1 не отключается, но его контакты отталкиваются. Это снижает протекаемый ток КЗ и, как следствие, тепловые и электродинамические нагрузки на элементы сети.

Основные принципы работы электрических аппаратов Schneider Electric

3.2. Автоматические выключатели в литом корпусе

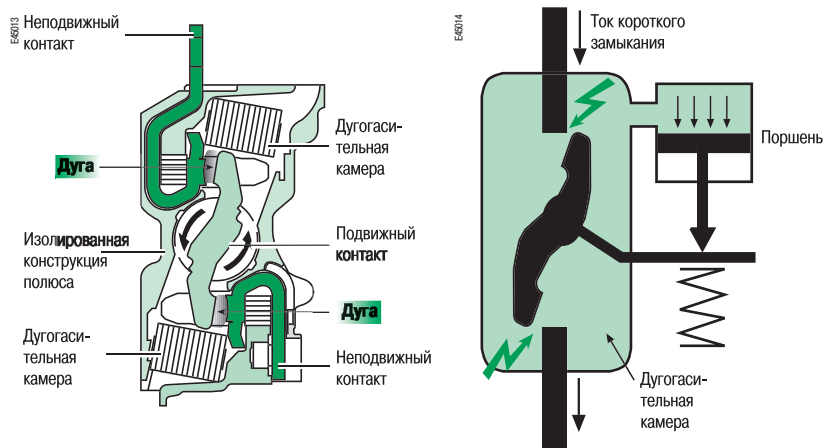
Автоматические выключатели в литом корпусе Merlin Gerin и Telemecanique были специально разработаны для решения следующих задач:

- оптимально удовлетворить требованиям по селективности и обеспечить надежное электроснабжение;
- обеспечить эффективное токоограничение для радикального снижения тепловых и электродинамических воздействий на элементы сети на уровне промежуточных распределительных щитов;

Серия Compact NS на токи от 100 до 630 А в основном применяется:

- для защиты отходящих линий промежуточного уровня;
- для защиты электродвигателей;

В автоматических выключателях Compact NS применяется новаторский принцип ограничения больших токов КЗ: рото-активное размыкание.



Рото-активное размыкание:
отталкивание контактов

Рото-активное размыкание:
отключение давлением

Ограничение больших токов КЗ осуществляется за счет давления, которое создается энергией дуги. Ниже приводится описание этого принципа:

- Каждый полюс выключателя имеет изолированную конструкцию в виде оболочки. Внутри нее при возникновении тока КЗ подвижный контакт начинает поворачиваться за счет электромагнитных сил отталкивания между контактами. При этом создаются две последовательные дуги.
- Пружинно-поршневой механизм использует давление, которое создается энергией дуги. Когда давление достигает определенного порога (примерно при 25 лном), происходит быстрое, «рефлексное» отключение спустя примерно 3 мс после отталкивания контактов.
- Если давление не достигает этого порога, то его оказывается недостаточно для «рефлексного» отключения, но сопротивление двух последовательных дуг при этом ограничивает ток короткого замыкания.
- Если ток КЗ достигает очень высоких значений, отключение происходит еще быстрее (1 мс). Это позволяет обеспечить наиболее эффективное токоограничение.

Элементы, из которых изготовлен полюс, рассчитаны в соответствии с размером выключателя. Кроме того, чем меньше номинальный ток выключателя, тем выше эффективность токоограничения.

Аппараты Compact NS благодаря вышеуказанным принципам имеют исключительные токоограничивающие свойства, а также для этих выключателей характерны широкие возможности по селективности.

Токоограничение позволяет снизить отрицательные тепловые и электродинамические нагрузки на элементы сети.

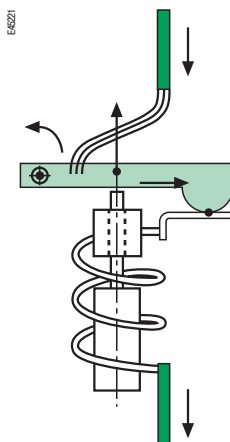
Расцепители

Аппараты Compact NS могут быть оснащены двумя типами расцепителей: магнитотермическим или электронным. Регулировка уставок защиты от перегрузок позволяет обеспечить токовую селективность.

Защита от коротких замыканий в стандартном исполнении имеет незначительную задержку при срабатывании (от 5 до 7 мс в зависимости от номинального тока расцепителя). Этого достаточно для обеспечения временной селективности при невысоких значениях токов КЗ, превышающих уставку защиты от коротких замыканий вышестоящего аппарата D1.

3.3. Модульные автоматические выключатели

Модульные автоматические выключатели Multi 9 Merlin Gerin обладают всеми необходимыми характеристиками, чтобы удовлетворить требованиям конечного распределения электроэнергии.



- Номинальный ток от 0,5 до 125 А.
- Отключающая способность до 50 кА согласно МЭК 60947-2.
- Тип время-токовой характеристики (кривая): В, С, D, МА.
- Простая и безопасная система установки на DIN-рейку.
- Простота установки блоков Vigi на выключатели.

В автоматических выключателях Multi 9 используется электромагнитный элемент (исполнительный механизм), который обеспечивает очень быстрое развитие напряжения дуги.

Основные принципы работы электрических аппаратов Schneider Electric

3.4. Правила селективности для аппаратов от 1 до 6300 А

Автоматические выключатели Masterpact модификаций N и H обеспечивают полную селективность со всеми нижестоящими аппаратами, если выполняются 4 условия:

- соотношение между уставками защиты от перегрузок составляет более 1,6;
- соотношение между уставками защиты от коротких замыканий (между уставками селективной токовой отсечки) составляет 1,5;
- регулируемая выдержка времени одного выключателя совместима с выдержкой времени другого выключателя;
- мгновенная токовая отсечка, если она имеется, должна быть отключена (OFF).

Общие правила селективности (в системе электроснабжения)

■ Защита от перегрузок:

□ вышестоящий и нижестоящий аппараты оснащены магнитотермическими расцепителями. Токовая селективность между выключателями Merlin Gerin и Telemecanique обеспечивается, если отношение уставок защиты:

- от перегрузок превышает 1,6;
- от коротких замыканий превышает 2;

□ вышестоящий выключатель оснащен электронным расцепителем, нижестоящий выключатель магнитотермическим расцепителем.

Токовая селективность между выключателями Merlin Gerin обеспечивается, если соотношение уставок защиты:

- от перегрузок (LR) превышает 1,6^(*) или 2,5;
- от коротких замыканий превышает 1,5;

□ вышестоящий и нижестоящий аппараты оснащены электронными расцепителями. Токовая селективность между выключателями Merlin Gerin обеспечивается, если отношение уставок защиты:

- от перегрузок превышает 1,2^(*) или 1,6;
- от коротких замыканий превышает 1,5.

(*) Расцепитель вышестоящего аппарата имеет защиту от перегрузок с регулируемой выдержкой времени.

■ Защита от коротких замыканий:

□ Временная селективность

Временная селективность между выключателями Merlin Gerin обеспечивается, если имеется выдержка времени Δt при срабатывании вышестоящего аппарата D1;

□ Логическая селективность

Эта селективность всегда полная.

Правила селективности для Masterpact NT и NW

■ Masterpact NT и NW, типы H1 и N1

Если вышестоящий аппарат Masterpact модификации N1 или H1 с $I_{cw} = I_{cu}$, то временная селективность всегда обеспечивается с любым нижестоящим аппаратом.

■ Masterpact NW, типы H2 и H3

Временная селективность обеспечивается до значения кратковременно допустимого тока короткого замыкания I_{cw} , кА, т.е.:

- 85 кА для Masterpact NW H2;
- 65 кА для Masterpact NW H3.

Пример.

На уровне ГРЩ:

- селективность между аппаратами D1 и D2 (рис.1) неполная, обеспечивается только при токах КЗ до 85 кА;
- селективность между аппаратами D1 и D2 (рис.2) полная.

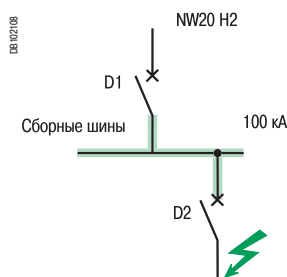


Рис. 1
Селективность обеспечивается при токах КЗ до 85 кА

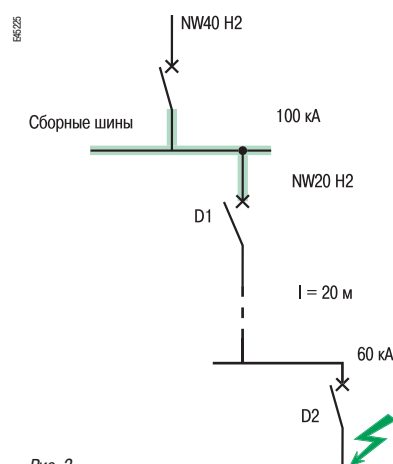


Рис. 2
Полная селективность

Правила селективности между Compact NS

■ **Селективность между автоматическими выключателями распределительной сети**
Для аппаратов Compact NS действуют простые правила селективности, которые обусловлены применением новых технологий.

■ Защита от перегрузок: токовая селективность

Также как и общем случае, токовая селективность между выключателями Compact NS обеспечивается, если отношение уставок защиты:

- от перегрузок превышает 1,2-2,5;
- от коротких замыканий превышает 1,5-2 в зависимости от типов применяемых расцепителей.

■ Защита при малых токах короткого замыкания

□ Временная селективность

Вышестоящий аппарат D1 до порога «рефлексного» отключения имеет незначительную задержку при срабатывании.

Соответственно, нижестоящий аппарат с меньшим номинальным током срабатывает значительно быстрее. Он отключает цепь КЗ за время, меньшее, чем выдержка времени вышестоящего аппарата.

Эта временная селективность применима до порога «рефлексного» отключения вышестоящего аппарата (примерно 25 I_{ном}).

Селективность между аппаратами Compact NS обеспечивается, если соотношение между номинальными токами выключателей превышает 2,5.

■ Защита при больших токах короткого замыкания: энергетическая селективность

Технологии, которые применяются в аппаратах Compact NS, позволяют естественным образом расположить ступенчато их кривые энергии (I^2t): **срабатывания аппарата D2 и несрабатывания аппарата D1.**

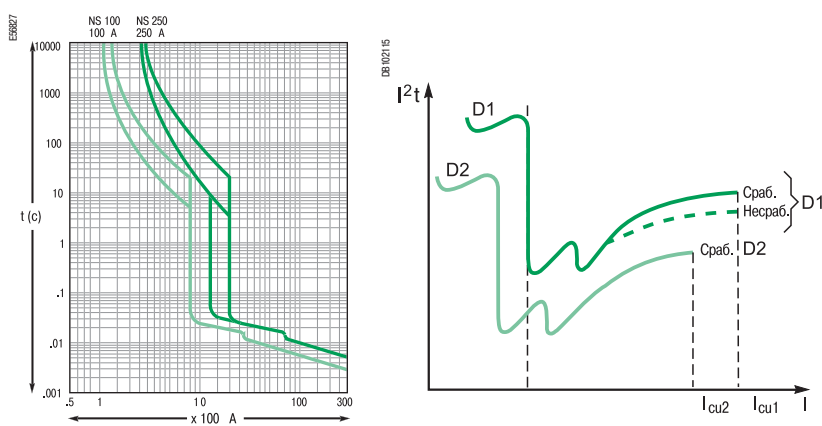
■ Принцип

При возникновении большого тока короткого замыкания контакты аппаратов D1 и D2 размыкаются, ограничивая ток.

□ Энергия дуги аппарата D2 достаточна для его срабатывания.

□ Энергия дуги аппарата D1 недостаточна для его срабатывания.

Нижестоящий автоматический выключатель с меньшим номинальным током имеет более эффективное токоограничение. Он отключает цепь КЗ и ограничивает ток таким образом, что энергия будет недостаточна для отключения вышестоящего аппарата.



Время-токовые характеристики и кривые энергии аппаратов Compact NS 100 и 250 А.

Таким образом, для аппаратов Compact NS действуют простые правила селективности: селективность является полной, если соотношение между номинальными токами выключателей превышает 2,5.

Аналогично понятиям токовой и временной селективности, данный тип селективности называется «энергетической селективностью».

Основные принципы работы электрических аппаратов Schneider Electric

Селективность, усиленная каскадным соединением Compact NS

При использовании традиционных автоматических выключателей принцип каскадного соединения предусматривает отключение вышестоящего аппарата D1, чтобы «помочь» нижестоящему аппарату D2 отключить ток короткого замыкания. Предельный ток селективности (I_s) при этом, как правило, не превышает значение предельной отключающей способности нижестоящего аппарата (I_{cu} D2).

Принцип рото-активного размыкания, который используется в аппаратах Compact NS, позволяет увеличить предельный ток селективности.

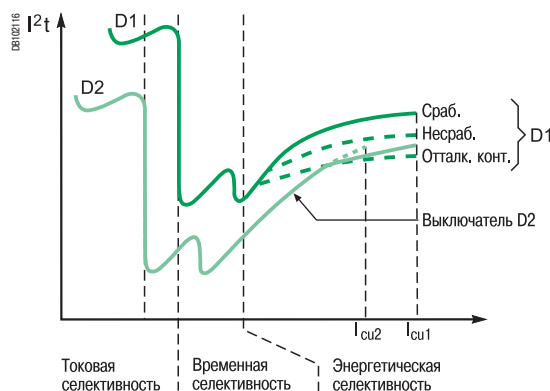
■ При большом токе короткого замыкания нижестоящий аппарат Compact NS (D2) срабатывает очень быстро (около 1 мс), т.е. происходит «рефлексное» отключение, которое сильно ограничивает ток короткого замыкания.

■ Вышестоящий аппарат Compact NS (D1) пропускает через себя ток КЗ, который сильно ограничен выключателем D2. Этот ток вызывает отталкивание контактов аппарата D1 (кривая «Отталк. конт.»). При отталкивании контактов вышестоящего выключателя D1 возникает дуга, которая еще больше ограничивает ток КЗ. Но давления, которое вызвано горением дуги, не достаточно, чтобы выключатель D1 сработал «рефлексно».

Таким образом, вышестоящий аппарат Compact NS (D1) «помогает» аппарату Compact NS (D2) отключить ток КЗ, не отключаясь при этом.

Поэтому предельный ток селективности I_s может превышать значение I_{cu} D2 (предельную отключающую способность нижестоящего аппарата) и достигать отключающей способности при каскадном соединении.

В таком случае обеспечивается полная селективность при меньших затратах, так как нижестоящие аппараты с меньшей отключающей способностью имеют меньшую стоимость.



Селективность, усиленная каскадным соединением: кривые

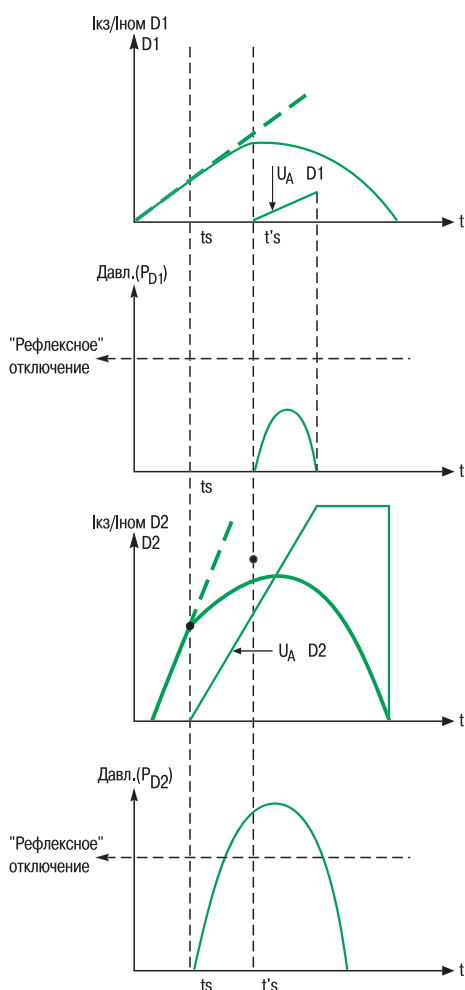
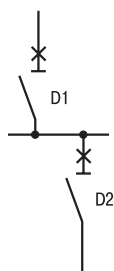
Преимущество полной селективности при использовании Compact NS

Селективность между аппаратами Compact NS обеспечивается, если:

- соотношение уставок защиты от перегрузок (LR) и защиты от коротких замыканий (CR) больше или равно 1,5;
- соотношение между номинальными токами выключателей больше или равно 2,5.

На рисунке представлены три вида селективности.

55624



Селективность, усиленная каскадным соединением: описание принципа

Особые применения

Сравнения с предохранителями

Применение автоматических выключателей:

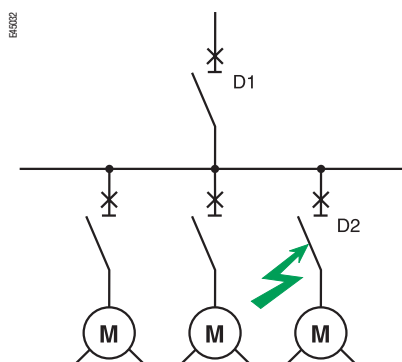
- позволяет обеспечить селективность и каскадное соединение с нижестоящими автоматическими выключателями;
- таблицы каскадного соединения, определяемые результатами испытаний, позволяют достичь сравнимых с предохранителями результатов по отключающей способности;
- автоматические выключатели для защиты электродвигателей;
- автоматические выключатели для защиты электродвигателей рассчитаны на их номинальный ток, тогда как предохранитель должен иметь завышенные параметры по сравнению с номинальным током электродвигателя.

Таким образом, аппараты Compact NS сочетают в себе:

- свойства предохранителей при больших токах КЗ;
- более надежную защиту при перегрузках и малых токах КЗ;
- широкие функциональные возможности, возможность передачи данных.

Селективность между автоматическими выключателями.

Аппараты Compact NS могут также использоваться для защиты электродвигателя.



Селективность между выключателями для защиты электродвигателя

Сводная таблица

В таблице указаны условия, необходимые для того, чтобы обеспечить полную селективность.

D1	Вид применения	D2	Соотношение между уставками вышестоящего аппарата D1 и нижестоящего аппарата D2	
			Защита от перегрузок $I_r D1 / I_r D2$	Защита от КЗ $I_m D1 / I_m D2$
TM...D	Распределение	TM...D	$\geq 1,6$	≥ 2
	Электродвигатель	STR...SE/GE	$\geq 1,6$	$\geq 1,5$
		MA + тепловое реле	≥ 3	≥ 2
		Магнитотермич. расц. для эл. двигателя	≥ 3	≥ 2
STR...2 или 3 нерегулируемая уставка времени LR	Распределение	STR...ME	≥ 3	$\geq 1,5$
		TM...D	$\geq 2,5$	$\geq 1,5$
	Электродвигатель	STR...SE/GE	$\geq 1,6$	$\geq 1,5$
		MA + тепловое реле	≥ 3	$\geq 1,5$
		Магнитотермич. расц. для эл. двигателя	≥ 3	$\geq 1,5$
		STR...ME	≥ 3	$\geq 1,5$
Micrologic 2.0, 5.0, 6.0 и 7.0 STR...4, 5 или 6 регулируемая уставка времени LR, смещенная на ступень по отношению к нижней защите	Распределение	TM...D	$\geq 1,6$	$\geq 1,5$
		STR...SE/GE, Micrologic	$\geq 1,2$	$\geq 1,5$
	Электродвигатель	MA + тепловое реле	≥ 3	$\geq 1,5$
		Магнитотермич. расц. для эл. двигателя	≥ 3	$\geq 1,5$
		STR...ME, Micrologic	≥ 3	$\geq 1,5$
			≥ 3	$\geq 1,5$

Селективность и каскадное соединение (согласно ГОСТ Р 50030.2 - «резервная защита»)

4.1. Таблицы селективности

Эти таблицы приводятся в разделе «Дополнительная техническая информация». Они указывают обеспечивается или нет селективность между автоматическими выключателями Merlin Gerin.

Указанные в таблицах данные являются результатами испытаний или сравнения характеристик рассматриваемых аппаратов.

Условия использования

Автоматические выключатели могут быть использованы для защиты отходящих линий, а также для защиты электродвигателей.

Чтение таблиц

Закрашенные клетки или клетки с буквой «Т» обозначают, что обеспечивается полная селективность между рассматриваемыми аппаратами при условиях, которые оговариваются в разделе «Дополнительная техническая информация».

Если буква «Т» отсутствует, то возможно два варианта:

- обеспечивается частичная селективность (указан предельный ток селективности);
- селективность не обеспечивается (пустые клетки).

Таблицы селективности, усиленной каскадным соединением Compact NS

Для автоматических выключателей Compact NS использование принципа каскадного соединения позволяет повысить предел селективности. Предельный ток селективности при этом может достигать значений отключающей способности, «усиленной» каскадным соединением аппаратов. В таком случае селективность становится полной. Более подробно это отражается в таблицах, которые называются «Селективность, усиленная каскадным соединением».

4.2. Таблицы каскадного соединения

В разделе «Дополнительная техническая информация» для сетей 220/240 В и 400/415 В приводятся таблицы каскадного соединения согласно МЭК 60947-2:

- между выключателями Multi 9;
- между выключателями Compact NS, Masterpact и Multi 9 и т.д.

В случае, если аппараты используются в однофазной сети TN, применяются таблицы 220/240 В.

Примечание: таблицы каскадного соединения даны для систем заземления TT и TN. Эти таблицы не применимы для сетей с изолированной нейтралью IT.

Несколько параллельно работающих трансформаторов

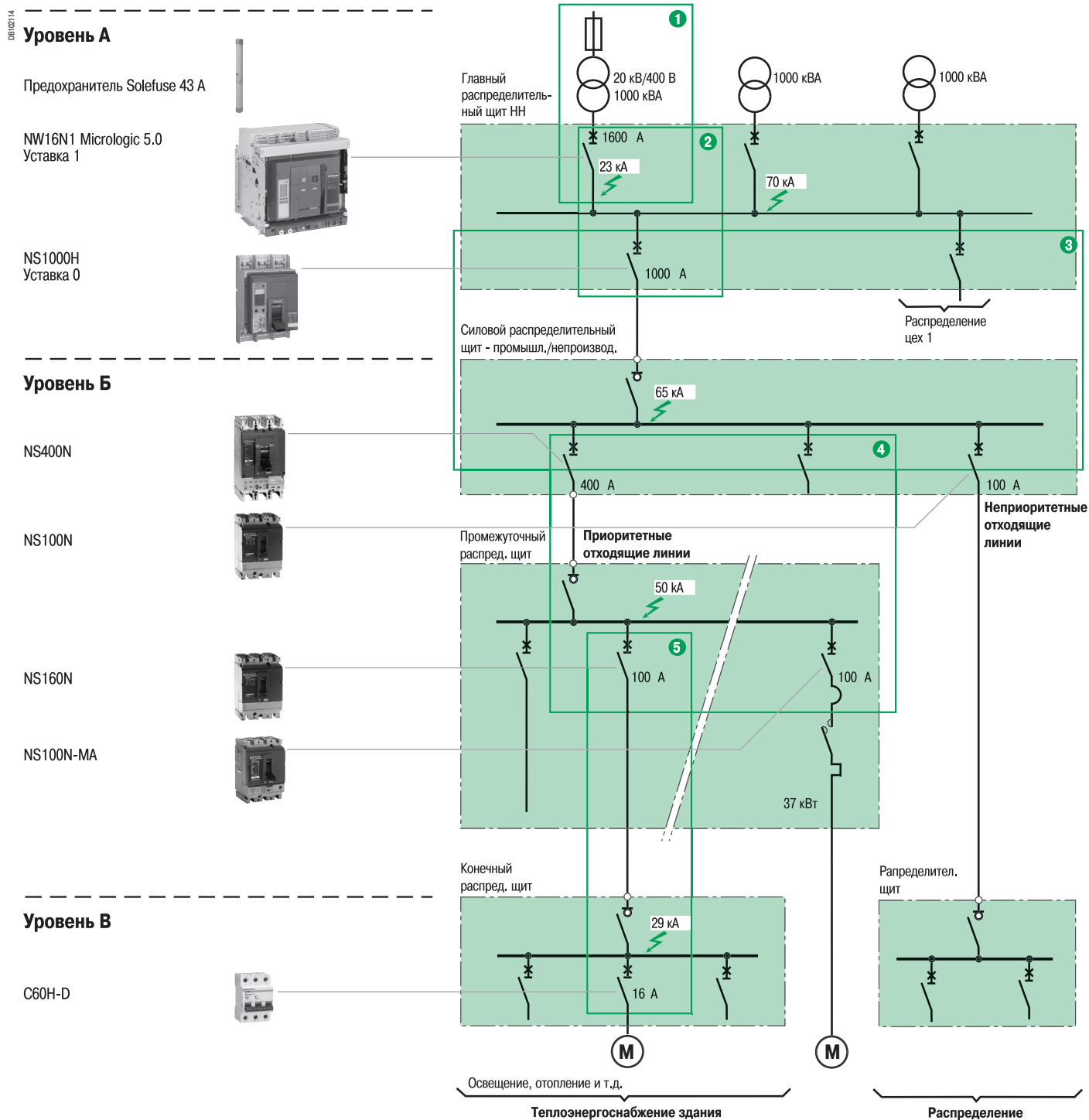
В этом случае необходимо пользоваться специальными таблицами, в которых даны типы автоматических выключателей для случая 2 или 3 параллельно работающих трансформаторов. Эти таблицы составлены при следующих допущениях:

- мощность КЗ составляет 500 МВА;
- силовые трансформаторы имеют стандартное U_k ;
- при расчете токов КЗ на сборных шинах не учитывались переходные сопротивления соединений (наиболее неблагоприятный случай);
- условия параллельного включения трансформаторов выполняются, т.е. трансформаторы имеют:

- одинаковое U_k ;
- одинаковый коэффициент трансформации.

Ток КЗ дается приблизительно, т.е. для оценки. Его значение может быть другим в зависимости от U_k (%). Соответственно, значения отключающей способности, «усиленной» при каскадном соединении аппаратов, даны для больших значений U_k .

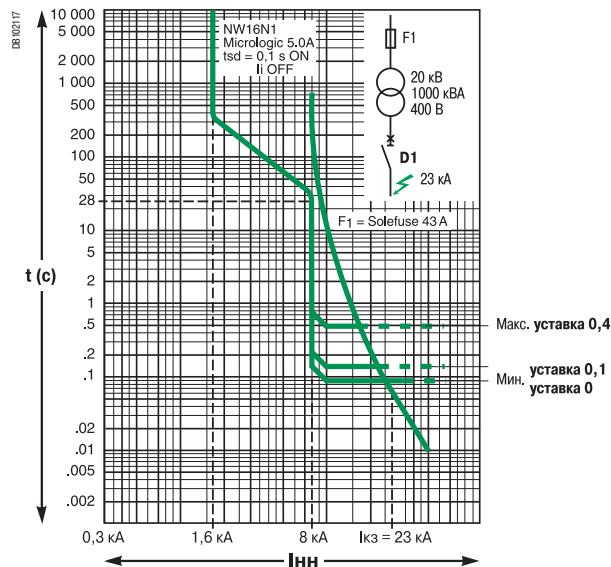
4.3. Примеры селективности в системе ВН/НН



Упрощенная схема типовой электроустановки, отражающая большинство случаев, встречающихся на практике

На рисунке представлено применение координации различных защит в распределительной сети ВН/НН.

Селективность и каскадное соединение (согласно ГОСТ Р 50030.2 - «резервная защита»)



Селективность NW16N1/Solefuse, ток приведен ко вторичной обмотке

На уровне ГРЩ НН

■ Обеспечение селективности с защитами среднего напряжения ①

Очень важно обеспечить селективность между защитами среднего и низкого напряжений. Это связано с тем, что восстановление питания на стороне среднего напряжения может потребовать значительно больше времени.

Сравнение время-токовых характеристик, приведенных ко вторичной обмотке НН силового трансформатора, показывает, что селективность между аппаратом Masterpact NW 1600 и предохранителем Solefuse 43A является:

- **полной**, если Masterpact срабатывает без выдержки времени;
- **почти полной**, если Masterpact NW срабатывает с выдержкой времени 0,1 с, в этом случае предел селективности приблизительно равен 23 кА (Micrologic 5.0 имеет регулировку выдержки времени от 0,1 до 0,4 с).

Примечание: селективность является полной в том случае, если на стороне высшего напряжения установлен выключатель.

■ Селективность в сети низкого напряжения ②

Согласно правилу на стр. 36, выключатель Masterpact NW16 N1 с выдержкой времени 0,1 с имеет полную селективность со всеми нижестоящими аппаратами, если:

- на нижестоящих аппаратах установлена меньшая выдержка времени. В рассматриваемом примере они не должны иметь выдержки времени, так как вышестоящий аппарат Masterpact NW имеет минимальную выдержку времени 0,1 с;
- Если соотношение номинальных токов $\geq 1,5$.

Таким образом, между аппаратами Masterpact NW16 N1 и NS1000 обеспечивается полная селективность.

Каскадное соединение

Между выключателями NW16 N1 и NS1000 каскадное соединение не реализуется.

Schneider Electric предоставляет программное обеспечение Ecodial для выбора автоматических выключателей. Оно позволяет точно определить необходимый тип аппаратов в зависимости от применения, а также оптимизировать их стоимость (использовать аппараты с меньшей отключающей способностью).

На уровне силового распределительного щита 3

Использование принципа «Селективность, усиленная каскадным соединением» позволяет:

- использовать на отходящей линии автоматический выключатель Compact NS типа N. Это возможно благодаря увеличению его отключающей способности за счет каскадного соединения с вышестоящим аппаратом NS1000H;
- обеспечить полную селективность, т.е. благодаря принципу «селективность, усиленная каскадным соединением», предел селективности равен отключающей способности вышестоящего аппарата.

Автоматический выключатель NS100N (рис. на стр. 41) защищает неприоритетные линии. Между автоматическим выключателем NS400N и вышестоящим NS1000 обеспечивается полная селективность, это необходимо, так как аппарат NS400N защищает приоритетные линии.

На уровне промежуточного распределительного щита 4

Ниже автоматического выключателя NS400N координация с аппаратом NS160N осуществляется также благодаря принципу «Селективность, усиленная каскадным соединением», т.е. увеличивается:

- отключающая способность аппарата NS160N (до 50 кА);
- предел селективности (в данном случае до 50 кА).

Таким образом, обеспечивается полная селективность.

Примечание: применяемая в данном случае координация между аппаратами Compact NS описана на стр. 38.

Автоматический выключатель для защиты электродвигателя

Координация с вышестоящими аппаратами

Мощность электродвигателя составляет 45 кВт при 400 В. Поэтому для его защиты используется автоматический выключатель NS100N MA. Для этой отходящей линии применяется тот же принцип координации между аппаратами Compact NS, т.е. увеличивается:

- отключающая способность аппарата NS100N MA;
- предел селективности (до значения отключающей способности аппарата NS100N MA при каскадном соединении, т.е. до 50 кА).

Примечание: защита также может быть выполнена предохранителями типа aM, которые аналогичны стандартным предохранителям.

Координация при защите электродвигателя

Токоограничение автоматического выключателя NS100N позволяет обеспечить координацию по типу 2 с тепловыми реле и контакторами Telemecanique.

Примечание: использование предохранителей для защиты электродвигателей требует более высоких параметров и характеристик используемого оборудования, чтобы обеспечить координацию по типу 2.

Уровень конечного распределительного щита 5

Несмотря на уровень тока КЗ (I_{k3}) на этом уровне, координация аппаратов Compact NS и Multi 9 позволяет обеспечить полную селективность при значительной экономии за счет использования аппаратов Multi 9 с меньшей отключающей способностью: в данном примере модификация C60H-D, или C60H-MA.

Таким образом, в рассматриваемом примере обеспечивается полная селективность между:

- сторонами среднего напряжения (СН) и низкого напряжения (НН);
- всеми пятью уровнями электроснабжения низкого напряжения (НН).

Для заметок

Для заметок

Для заметок

Schneider Electric в странах СНГ

Беларусь

Минск

220004, пр-т Победителей, 5, офис 502
Тел.: (37517) 203 75 50
Факс: (37517) 203 97 61

Казахстан

Алматы

480091, ул. Казыбек би, 139,
угол ул. Шагабутдинова
Тел.: (3272) 50 93 88, 50 27 09,
50 21 29, 50 20 46
Факс: (3272) 50 63 70

Россия

Воронеж

394000, ул. Степана Разина, 38
Тел.: (4732) 39 06 00
Тел./факс: (4732) 39 06 01

Екатеринбург

620219, ул. Первомайская, 104
Офисы 311, 313
Тел.: (343) 217 63 37, 217 63 38
Факс: (343) 349 40 27

Иркутск

664047, ул. Советская, 3 Б, офис 312
Тел./факс: (3952) 29 00 07

Казань

420007, ул. Чернышевского, 43/2, офис 207
Тел.: (843) 292 24 45, 292 22 69
Факс: (843) 292 90 40

Калининград

236040, Гвардейский пр., 15
Тел.: (4012) 53 59 53
Факс: (4012) 57 60 79

Краснодар

350020, ул. Коммунаров, 268, офисы 316, 314
Тел./факс: (861) 210 06 38, 210 06 02

Москва

129281, ул. Енисейская, 37
Тел.: (495) 797 40 00
Факс: (495) 797 40 02

Нижний Новгород

603000, пер. Холодный, 10 А, офис 1.5
Тел.: (8312) 78 97 25
Тел./факс: (8312) 78 97 26

Новосибирск

630005, Красный пр-т, 86, офис 501
Тел.: (383) 358 54 21, 227 62 54
Тел./факс: (383) 227 62 53

Самара

443096, ул. Коммунистическая, 27
Тел./факс: (846) 266 50 08, 266 41 41, 266 41 11

Санкт-Петербург

198103, ул. Циолковского, 9, корпус 2 А
Тел.: (812) 320 64 64
Факс: (812) 320 64 63

Уфа

450064, ул. Мира, 14, офисы 518, 520
Тел.: (3472) 79 98 29
Факс: (3472) 79 98 30

Хабаровск

680011, ул. Металлистов, 10, офис 4
Тел.: (4212) 78 33 37
Факс: (4212) 78 33 38

Туркменистан

Ашгабат

744030, ул. Нейтральный Туркменистан, 28
Офисы 326, 327
Тел.: (99312) 39 00 38
Факс: (99312) 39 34 65

Украина

Днепропетровск

49000, ул. Глилки, 17, 4 этаж
Тел.: (380567) 90 08 88
Факс: (380567) 90 09 99

Донецк

83023, ул. Лабутенко, 8
Тел./факс: (38062) 345 10 85, 345 10 86,
345 10 92

Киев

04070, ул. Набережно-Крещатицкая, 10 А
Корпус Б
Тел.: (38044) 490 62 10
Факс: (38044) 490 62 11

Львов

79000, ул. Грабовского, 11, к. 1, офис 304
Тел./факс: (380322) 97 46 14

Николаев

54030, ул. Никольская, 25
Бизнес-центр «Александровский», офис 5
Тел.: (380512) 46 85 98
Факс: (380512) 46 85 72

Одесса

65079, ул. Куликово поле, 1, офис 213
Тел.: (38048) 724 24 10
Факс: (38048) 222 10 88

Симферополь

95013, ул. Севастопольская, 43/2, офис 11
Тел./факс: (380652) 44 38 26

Харьков

61070, ул. Ак. Проскуры, 1, офис 317
Тел./факс: (380577) 19 07 49



ЦЕНТР ПОДДЕРЖКИ КЛИЕНТОВ

Тел.: 8 (800) 200 64 46 (многоканальный)
(495) 797 32 32
Факс: (495) 797 40 02
ru.csc@ru.schneider-electric.com
www.schneider-electric.ru