



Низковольтное оборудование

Низковольтные комплектные устройства с защитой от электрической дуги

Серия инженера-конструктора

Power and productivity
for a better world™



Низковольтные комплектные устройства с защитой от электрической дуги

Содержание

1. Общие сведения о низковольтных комплектных устройствах	2
1.1. Введение	2
1.2. Стандарты на низковольтные комплектные устройства	3
1.3. Электрические характеристики НКУ	4
1.4. Классификация НКУ	4
1.4.1. Типы конструктивного исполнения НКУ	4
1.4.2. НКУ первичного распределения электроэнергии (Главные распределительные щиты, ГРЩ)	4
1.4.3. НКУ конечного распределения электроэнергии (Вводно-распределительные устройства, ВРУ)	5
1.4.4. НКУ управления электродвигателями (Щиты станций управления, ЩСУ)	5
1.5. Степень защиты (Код IP)	6
1.5.1. Степень защиты, обеспечиваемая оболочкой низковольтных комплектных устройств	7
1.6. Виды внутреннего разделения	8
1.7. Превышение температуры внутри НКУ	10
1.8. Специальные исполнения НКУ	12
1.8.1. Проведение испытаний при воздействии электрической дуги, возникшей вследствие появления неисправности внутри НКУ	12
1.8.2. Квалификационные испытания на сейсмостойкость	12
1.8.3. Испытания на ударную прочность	12
2. Электрическая дуга	13
2.1. Явление электрической дуги	13
2.2. Действие электрической дуги, возникающей внутри НКУ	13
2.3. Воздействие электрической дуги на людей	14
3. НКУ с защитой от электрической дуги	15
3.1. Общие сведения	15
3.2. НКУ с защитой от электрической дуги	16
3.2.1. НКУ, стойкие к механическому воздействию электрической дуги (пассивная защита)	16
3.2.2. НКУ с устройствами ограничения воздействия внутренней дуги (активная защита)	16
3.2.3. НКУ с токоограничивающими автоматическими выключателями	18
4. НКУ с защитой от воздействия дуги производства АББ	19
Приложение А:	
Испытание НКУ с защитой от воздействия электрической дуги	20

1. Общие сведения о низковольтных комплектных устройствах

1.1 Введение

В последние годы значительно возросло внимание к безопасности низковольтных электроустановок.

Организации, производящие электрооборудование и эксплуатирующие электроустановки, ставят вопросы безопасности на первое место.

Низковольтные комплектные устройства (НКУ), вне всякого сомнения, являются компонентами электроустановок, которые наиболее подвержены непосредственному вмешательству оперативного, обслуживающего и т. п. персонала. Вот почему требования потребителей к безопасности НКУ становятся все выше и выше.

В последние годы многие потребители обращают особое внимание на безопасность НКУ, связанную с таким чрезвычайно разрушительным и наиболее жестко действующим электрофизическим явлением, как электрическая дуга. В отличие от отключающих аппаратов, в которых дуга является обычным явлением, проявляющимся в стандартных рабочих условиях, возникновение электрической дуги в низковольтных комплектных устройствах является абсолютно аномальным и редко случающимся событием.

Дуга, возникшая внутри НКУ, создает внутреннее избыточное давление и вызывает локальный перегрев, что может привести к воздействию на оборудование значительного механического напряжения и перепада температур.

Кроме того, под воздействием дуги различные материалы разлагаются на продукты, имеющие высокую температуру, в том числе газы и дым, которые почти всегда вырываются из оболочки НКУ под высоким давлением, подвергая опасности оперативный персонал.

Европейская директива 2006/95/ЕС определяет основные требования безопасности для низковольтного (от 50 до 1000 В переменного тока и от 75 до 1500 В постоянного тока) оборудования поставляемого на рынок Европейского Сообщества.

Одно из основных требований безопасности, определяемое данной директивой как наиболее важное, заключается в необходимости предпринять технические меры для предотвращения «подъема температуры, возникновения электрической дуги или излучения», которые могут причинить ущерб. Данная проблема всегда учитывалась при создании различных аппаратов, но незаслуженно игнорировалась при разработке низковольтных комплектных устройств, и только в последние 10-15 лет ей стали уделять должное внимание во всем мире.



1.2 Стандарты на низковольтные комплектные устройства

Определение термина НКУ дано в стандарте ГОСТ Р 51321.1 (МЭК 60439-1) «Устройства комплектные низковольтные распределения и управления».

Данный стандарт дает следующее определение: «Низковольтные коммутационные аппараты и устройства управления, измерения, сигнализации, защиты, регулирования, собранные на предприятии-изготовителе на единой конструктивной основе со всеми внутренними электрическими и механическими соединениями».

Соответствие НКУ современным требованиям и техническим стандартам не может быть гарантировано только тем, что составляющие НКУ компоненты отвечают требованиям соответствующих технических стандартов. Такое соответствие необходимо, но недостаточно.

Компоненты должны быть смонтированы в соответствии с определенными правилами, которые обеспечивают прочность НКУ к воздействию тока короткого замыкания, т. е. способность выдерживать термическое действие тока без повреждений, препятствующих его дальнейшей работе.

Другими словами, НКУ должно быть разработано, изготовлено и испытано в соответствии с современными требованиями.

Мы рассматриваем низковольтное оборудование и это означает, что его номинальное напряжение не превышает 1000 В переменного тока или 1500 В постоянного тока. Что касается тока, то ни верхнее, ни нижнее значение стандартами, относящимися к данной области, не оговариваются.

Стандарт ГОСТ Р 51321.1 (МЭК 60439-1) устанавливает требования к конструкции, безопасности и техническому обслуживанию низковольтных комплектных устройств без учета их функций, предполагая, что функции НКУ должны быть предусмотрены проектировщиками электроустановки.

НКУ, ПРОШЕДШИЕ ТИПОВЫЕ И ЧАСТИЧНЫЕ ТИПОВЫЕ ИСПЫТАНИЯ

Стандарт ГОСТ Р 51321.1 (МЭК 60439-1) различает две категории НКУ:

- НКУ, прошедшие типовые испытания (ПИ НКУ);
- НКУ, прошедшие частичные типовые испытания (ЧИ НКУ).

Термин «НКУ, прошедшие типовые испытания» (ПИ НКУ) означает НКУ «соответствующее типичному образцу НКУ без значительных отклонений, влияющих на работоспособность, испытанному на соответствие требованиям настоящего стандарта».

В соответствии с этим, ПИ НКУ должны отвечать, по крайней мере, одному из следующих условий:

1. НКУ изготовлено в одном экземпляре и прошло все типовые испытания согласно настоящего стандарта;
2. Данное НКУ аналогично другому НКУ, которое прошло все типовые испытания, и что отличия от испытанного НКУ, не влияют на результаты типовых испытаний и следовательно не влияют на эксплуатационные качества и номинальные характеристики.
3. Данное НКУ является частью типовой сборки, подвергнутой таким же типовым испытаниям в одном из возможных вариантов. Это типичный случай НКУ, поставляемых в виде несмонтированных компонентов.

Термин «НКУ, прошедшие частичные типовые испытания» (ЧИ НКУ) обозначает НКУ «включающее в себя узлы, прошедшие типовые испытания, и узлы, не подвергаемые типовым испытаниям, при условии, что технические характеристики последних являются производными (полученными, например, расчетом) от технических характеристик подобных узлов, прошедших типовые испытания».

ЧИ НКУ являются НКУ, в которых часть узлов прошла типовые испытания, а вместо испытания других узлов использованы результаты экстраполяции (вычисления) их характеристик на основе характеристик узлов, прошедших требуемые типовые испытания.

Различие между ПИ НКУ и ЧИ НКУ не отражается на соответствии требованиям стандарта ГОСТ Р 51321.1 (МЭК 60439-1), поскольку НКУ должны удовлетворять требованиям в независимости от того, являются ли они полностью испытанными (ПИ) или частично испытанными (ЧИ).

1.3 Электрические характеристики НКУ

Стандарт ГОСТ Р 51321.1 (МЭК 60439-1) определяет номинальные характеристики НКУ, нормальные условия эксплуатации, требования к механической части конструкции, а также следующие параметры:

- изоляция;
- превышение температуры;
- устойчивость к воздействию тока короткого замыкания;
- защита от поражения электрическим током;
- степень защиты оболочки;
- комплектующие элементы, виды внутреннего разделения НКУ ограждениями и перегородками, электрические соединения внутри НКУ;
- требования к цепям питания электронного оборудования.

Информация, приведенная в пунктах а) и б), должна быть указана на паспортной табличке, соответствующей данному стандарту.

Информация, приведенная в пунктах с) ... д), должна быть указана либо на паспортной табличке, либо в технической документации изготовителя:

- наименование предприятия-изготовителя или его товарный знак;
- обозначение типа, идентификационный номер или другой знак, позволяющий получить необходимую информацию от изготовителя;
- обозначение ГОСТ Р 51321.1;
- вид тока (и частота для переменного тока);
- номинальные рабочие напряжения;
- номинальное напряжение изоляции, а также номинальное импульсное выдерживаемое напряжение если изготовитель его устанавливает;
- номинальное напряжение вспомогательных цепей, при их наличии;
- номинальный ток каждой главной цепи при необходимости;
- устойчивость к токам короткого замыкания;
- степень защиты;
- меры защиты от поражения электрическим током;
- условия эксплуатации при внутренней или наружной установке или специальном назначении, если они отличаются от нормальных, а также степень загрязнения, если указана изготовителем;
- вид системы заземления, которая была принята при проектировании НКУ;
- размеры приводимые в следующей последовательности: высота, ширина (или длина), глубина;
- масса;
- вид внутреннего разделения;
- типы электрических соединений функциональных блоков;
- условия окружающей среды А и/или В.

¹ Под изготовителем понимается организация, отвечающая за КОМПЛЕКТНОЕ УСТРОЙСТВО в целом.

1.4 Классификация НКУ

1.4.1 Типы конструктивного исполнения НКУ

НКУ имеют шкафное исполнение, предназначенное для установки на пол. Шкаф может состоять из нескольких секций и отсеков.

Секция — часть НКУ между двумя последовательно расположенными перегородками. Термин «отсек» означает полностью отгороженную часть секции, за исключением отверстий, необходимых для выполнения электрических соединений, контроля состояния и вентиляции (см. рис. 1).

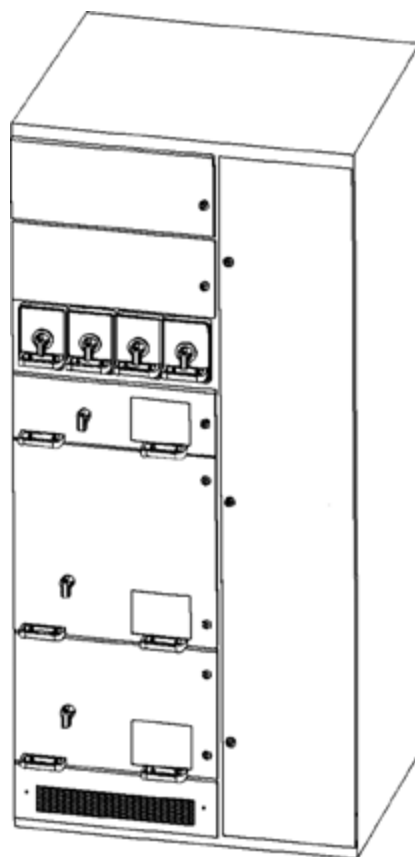


Рис. 1 — НКУ, состоящее из одной секции, разделенной на отсеки

1.4.2 НКУ первичного распределения электроэнергии (Главный распределительный щит, ГРЩ)

Такие устройства обычно подключают на низковольтной стороне (НВ) трансформаторов или генераторов. В их состав входят один или несколько вводных шкафов, шинопровод для подключения трансформаторов / генераторов, и шкафы с отходящими линиями.

В состав комплектного устройства первичного распределения электроэнергии входят также измерительные приборы, коммутационные устройства и средства контроля (см. рис. 2).



Рис. 2 — НКУ первичного распределения электроэнергии

Данные комплектные устройства имеют прочную конструкцию, способную выдерживать электродинамическое действие токов и вес крупногабаритной аппаратуры. ГРПЦ характеризуются высокими номинальным током и током короткого замыкания. С точки зрения конструктивного исполнения они представляют собой многоярусное НКУ с металлической оболочкой, состоящее из секций, каждая из которых разделена на отсеки с независимым доступом. Вид отходящей линии зависит от номинала и может быть как в виде отдельной секции (большой номинал), так и в виде выдвижного модуля, размещаемого в отсеке секции.

1.4.3 НКУ конечного распределения электроэнергии (Вводно-распределительные устройства, ВРУ)

Данные НКУ обычно имеют один или два вводных шкафа, и шкафы отходящих линий (см. рис. 3). Внутри такого НКУ находятся обычно выдвижные модули с автоматическими выключателями в литом корпусе и/или модульными автоматическими выключателями.

Рис. 3 — НКУ конечного распределения электроэнергии



Номинальные токи и токи короткого замыкания НКУ конечного распределения меньше чем у НКУ первичного распределения электроэнергии.

Если НКУ конечного распределения электроэнергии должны устанавливаться в местах доступных неквалифицированному персоналу, то они должны соответствовать требованиям стандарта ГОСТ Р 51321.3 (МЭК 60439-3).

Стандарт ГОСТ Р 51321.3 (МЭК 60439-3) рассматривает только НКУ, прошедшие типовые испытания (ПИ НКУ).

Это означает, что каждое изготовленное НКУ должно соответствовать типичному НКУ или сборке из частей НКУ без значительных отклонений от характеристик НКУ, прошедшего типовые испытания.

1.4.4 НКУ управления электродвигателями (Щит станции управления, ЩСУ)

НКУ управления электродвигателями предназначены для управления и централизованной защиты электродвигателей: в их состав входят соответствующие выключатели и аппараты защиты, а также вспомогательные аппараты контроля состояния и сигнализации.

Отходящие линии выполнены в виде выдвижных модулей, каждый из которых электрически соединен только с одним электродвигателем, что позволяет при необходимости совершенно безопасно отсоединить модуль требуемого электродвигателя, не отсоединяя при этом все остальные нагрузки (см. рис. 4).

Рис. 4 — НКУ управления электродвигателями



1.5 Степень защиты (Код IP)

Код IP обозначает степень защиты, обеспечиваемую оболочкой от попадания внутрь твердых посторонних предметов и воды. Степень защиты оболочки обозначается в соответствии со стандартом ГОСТ 14254-96 (МЭК 60529) буквенным обозначением IP (International Protection, что означает «Международная степень защиты»), после которого следуют две цифры, к которым в некоторых случаях добавляются еще две буквы. Первая цифра обозначает степень защиты от проникновения твердых посторонних предметов, и от контакта людей с находящимися внутри оболочки опасными токоведущими частями. Вторая цифра обозначает степень защиты оболочки от проникновения воды.

Разумеется, степени защиты, обозначаемые этими двумя цифрами взаимосвязаны.

Дополнительная буква обозначает степень защиты людей от доступа к опасным частям.

Дополнительная буква применяется только в том случае, если фактическая защита от доступа к опасным частям выше защиты, указанной первой цифрой, либо если обозначена только защита от доступа к опасным частям, а первая цифра заменена символом Х. Например, такая более высокая степень защиты может быть обеспечена установкой барьеров, использованием отверстий специальной формы или за счет использования расстояний внутри оболочки.

Если обозначение указывает только на защиту людей от прямого контакта, то обе цифры заменяются на обозначение «XX». В этом случае степень защиты обозначается дополнительной буквой. Совершенно очевидно, что степень защиты, обозначаемая дополнительной буквой, тесно связана со степенью защиты, обозначаемой предшествующими этой букве двумя цифрами. Вот почему дополнительные буквы могут использоваться только в том случае, если обозначаемая ими степень защиты от прямого контакта выше степени защиты, обозначаемой первой цифрой. Для того чтобы сообщить дополнительную информацию используется вспомогательная буква.

В представленной ниже таблице приведено описание степени защиты, обозначаемых IP кодом. Более подробная информация приведена в стандарте ГОСТ 14254-96 (МЭК 60529).

Код	Международная защита
Первая цифра	Цифры от 0 до 6 или буква X
Вторая цифра	Цифры от 0 до 8 или буква X
Дополнительная буква (может не использоваться)	Буквы A, B, C, D
Дополнительная буква (может не использоваться)	Буквы H, M, S, W

	Защита оборудования	От доступа к опасным частям
Первая цифра	0 Защита отсутствует	Защита отсутствует
(защита от проникновения посторонних твердых предметов)	1 Защищено от проникновения внешних твердых предметов диаметром больше или равным 50 мм	Защита от доступа тыльной стороной руки
	2 Защищено от проникновения внешних твердых предметов диаметром больше или равным 12,5 мм	Защита от доступа пальцем руки
	3 Защищено от проникновения внешних твердых предметов диаметром больше или равным 2,5 мм	Защита от доступа инструментом
	4 Защищено от проникновения внешних твердых предметов диаметром больше или равным 1,0 мм	Защита от доступа проволокой
	5 Пылезащищенность	Защита от доступа проволокой
	6 Пыленепроницаемость	
Вторая цифра	0 Защита отсутствует	
(защита от проникновения воды)	1 Защита от вертикально падающих капель воды	
	2 Защита от вертикально падающих капель воды под углом до 15°	
	3 Защита от воды, падающей в виде дождя	
	4 Защита от постоянного обрызгивания	
	5 Защита от водяных струй	
	6 Защита от сильных водяных струй	
	7 Защита при временном (непродолжительном) погружении в воду	
	8 Защита от воздействия при продолжительном погружении в воду	
Дополнительная буква (может использоваться)	A	Защита от доступа тыльной стороной руки
	B	Защита от доступа пальцем руки
	C	Защита от доступа инструментом
	D	Защита от доступа проволокой
Вспомогательная буква (может использоваться)	H Высоковольтные аппараты	
	M Оборудование с движущимися частями или находящееся в процессе движения	
	S Оборудование с движущимися частями, находящееся в состоянии неподвижности	
	W Погодные условия	

1.5.1 Степень защиты, обеспечиваемая оболочкой
низковольтных комплектных устройств

Если изготовитель не указал иное, то степень защиты относится ко всему НКУ в целом при условии, что оно смонтировано и установлено внутри помещения. При этом изготовитель может указать степени защиты для отдельных положений частей НКУ, которые возникают в процессе его эксплуатации, например, степень защиты НКУ при открытых дверцах или при извлеченных или выдвинутых модулях / аппаратах.

Что касается защищенных НКУ, то стандарт требует, чтобы минимальная степень защиты была IP 2X или IPXXB для токоведущих частей, до которых не дотрагиваются намеренно и IP4X или IPXXD для легко доступных горизонтальных поверхностей. В приведенной ниже таблице указаны минимальные степени защиты НКУ для разных типов окружающей среды, и соответствующие пункты стандарта.

Тип НКУ и тип окружающей среды	Стандарт и соответствующий пункт	Минимальная степень защиты
Защищенное НКУ	ГОСТ Р 51321.1 (МЭК 60439-1) п. 2.3.3	Не определена
НКУ наружной установки	ГОСТ Р 51321.1 (МЭК 60439-1) п. 7.2.1.3	IPX3
НКУ с полной изоляцией	ГОСТ Р 51321.1 (МЭК 60439-1) п. 7.4.3.2.2	IP2XC
Электроустановки, работающие в нормальной окружающей среде		
Токоведущие части, к которым не должны прикасаться намеренно	ГОСТ Р 50571.4 (МЭК 60364-4) п. 412.2.1	IPXXB (IP2X)
Легкодоступные токоведущие части (горизонтальные поверхности)	ГОСТ Р 50571.4 (МЭК 60364-4) п. 412.2.2	IPXXD (IP4X)



Рис. 7 — Секция НКУ со степенью защиты IP54

1.6 Виды внутреннего разделения

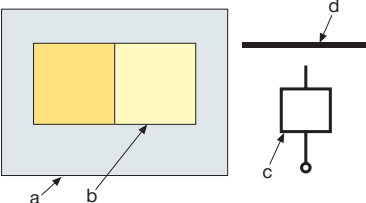
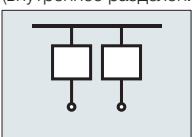
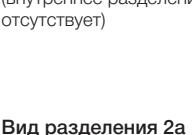
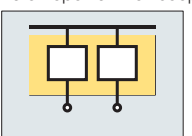
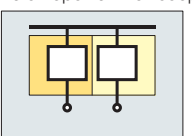
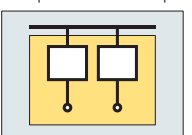
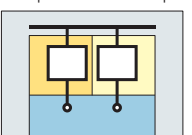
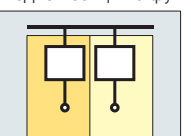
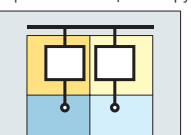
Обозначение вида внутреннего разделения (секционирования) определяет тип разделения внутреннего пространства оболочки перегородками или ограждениями на отдельные отсеки или огражденные подсекции. Цель разделения с помощью ограждений или перегородок (металлических или неметаллических) состоит в следующем:

- обеспечение защиты от прямого прикосновения (минимальная степень защиты IPXXB) в случае доступа к отсоединенной части НКУ в то время когда оставшаяся часть НКУ остается под напряжением;
- уменьшение вероятности проникновения и распространения дуги, возникшей внутри НКУ;
- защита от перемещения твердых частиц из одного отсека НКУ в соседние отсеки (минимальная степень защиты IP2X).

Перегорodka представляет собой элемент, разделяющий две секции, в то время как ограждение защищает оператора от прямого прикосновения и от воздействия дуги, возникающей при коммутации автоматического выключателя или короткого замыкания. В представленной ниже таблице, взятой из стандарта ГОСТ Р 51321.1 (МЭК 60439-1), показаны типичные виды внутреннего разделения, выполняемые с помощью ограждений или перегородок:



Рис. 8 — Каркас НКУ, с разделением 4b, вид со снятыми задними дверями. На металлических ограждениях сборных и распределительных шин можно закрепить предупредительные знаки. Тоже самое относится и к крышкам, закрывающим пространство для присоединения кабелей.

<p>Символы</p> 	<p>Обозначения</p> <p>a Оболочка</p> <p>b Внутреннее разделение</p> <p>c Функциональные блоки, включая зажимы для присоединения внешних проводников</p> <p>d Сборные шины, в том числе и распределительные шины</p>
<p>Вид разделения 1 (внутреннее разделение отсутствует)</p> 	
<p>Вид разделения 2 (внутреннее разделение отсутствует)</p> 	<p>Вид разделения 3 Разделение сборных шин и функциональных блоков - разделение всех функциональных блоков между собой</p>
<p>Вид разделения 2a Зажимы для внешних проводников не отгорожены от сборных шин</p> 	<p>Вид разделения 3a Зажимы для внешних проводников не отгорожены от сборных шин</p> 
<p>Вид разделения 2b Зажимы для внешних проводников отгорожены от сборных шин</p> 	<p>Вид разделения 3b Зажимы для внешних проводников отгорожены от сборных шин</p> 
	<p>Вид разделения 4 Разделение сборных шин и всех функциональных блоков - разделение всех функциональных блоков между собой - разделение зажимов для внешних проводников, связанных с одним функциональным блоком, и зажимов другого функционального блока и сборных шин</p>
	<p>Вид разделения 4a Зажимы для внешних проводников в одной секции с функциональным блоком</p> 
	<p>Вид разделения 4b Зажимы для внешних проводников в разных секциях с функциональным блоком</p> 

Ниже показано устройство каркаса НКУ с видами внутреннего разделения 3а, 3b и 4b при установке выключателя

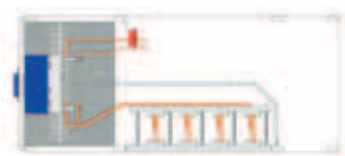
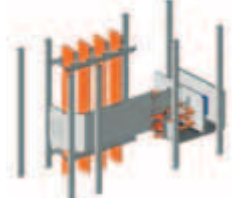
Вид разделения 3а



Каркас отсека, с разделением 3а, с установленным автоматическим выключателем в литом корпусе

Вид сверху на секцию, с разделением 3а, с установленным автоматическим выключателем в литом корпусе

Вид разделения 3b



Каркас отсека, с разделением 3b, с установленным автоматическим выключателем в литом корпусе

Вид сверху на секцию, с разделением 3b, с установленным автоматическим выключателем в литом корпусе

Вид разделения 4b



Каркас отсека, с разделением 4b, с установленным автоматическим выключателем в литом корпусе

Вид сверху на секцию, с разделением 4b, с установленным автоматическим выключателем в литом корпусе

1.7 Превышение температуры внутри НКУ

Чрезмерное превышение температуры внутри НКУ свидетельствует о наличии одной из основных проблем, часто рассматриваемых, и на которые потребители обращают наибольшее влияние.

Совершенно очевидно, что аномальный нагрев элементов внутри НКУ может создать опасность для людей (например, возникновение пожара) и для электроустановки (неправильная работа аппаратуры).

Поэтому стандарт ГОСТ Р 51321.1 (МЭК 60439-1) уделяет большое внимание рассмотрению предельных значений температуры в НКУ и методам их определения, как путем проведения прямых испытаний, так и с помощью экстраполяции значений, полученных в результате испытаний.

Термин типовые испытания определяет испытания, целью которых является доказательство, что испытываемое устройство отвечает определенным техническим условиям.

Такие испытания обычно проводят на одном или нескольких типовых образцах, и считают, что полученные результаты являются детерминированными. Поэтому их можно применить ко всем изделиям, конструкция которых соответствует испытанным образцам.

В перечень проверок и испытаний, проводимых на НКУ в соответствии со стандартом ГОСТ Р 51321.1 (МЭК 60439-1)¹, входят:

- проверка предельных значений превышения температуры;
- проверка электроизоляционных свойств;
- проверка стойкости к токам короткого замыкания;
- проверка непрерывности цепи защиты;
- проверка размеров воздушных зазоров и расстояний утечки;
- проверка работоспособности механических частей;
- проверка степени защиты;
- испытания на ЭМС.

Как сказано выше проверка предельных значений превышения температуры является одним из наиболее важных параметров НКУ. Согласно стандарту превышение предельного значения температуры относительно средней температуры окружающего воздуха, равной 35 °С, не должно превышать значений, указанных в таблице 1.

В ПИ НКУ проверка предельных значений превышения температуры должна выполняться в процессе проведения типовых испытаний.

В ЧИ НКУ в качестве альтернативы типовым испытаниям может применяться экстраполяция результатов, например, по методу, изложенному в МЭК 60890 (в серии ГОСТ Р аналога данного стандарта нет).

В дополнение к типовым испытаниям стандарт требует проведения приемосдаточных испытаний.

Таким испытаниям подвергают каждое изготовленное НКУ для обнаружения возможных дефектов, допущенных при изготовлении. Эти испытания являются неразрушающими и могут выполняться как на предприятии-изготовителе комплектных устройств (подготовленных к поставке НКУ с выполненным электромонтажом), так и на месте эксплуатации после их сборки.

В перечень приемосдаточных испытаний, проводимых на НКУ в соответствии со стандартом ГОСТ Р 51321.1 (МЭК 60439-1), входят следующие проверки и испытания:

- осмотр НКУ, включая проверку монтажа;
- проверка электрической работоспособности
- проверка электроизоляционных свойств;
- проверка средств защиты и электрической непрерывности цепи защиты.

³ Аналогичные испытания предписываются стандартом ГОСТ Р 51321.3 (МЭК 60439-1) для распределительных панелей (РП).

¹ Стандарт ГОСТ Р 51321.3 (МЭК 60439-3) на распределительные панели (РП), определяет следующие дополнительные проверки, не входящие в требования стандарта ГОСТ Р 51321.1 (МЭК 60439-1):

- проверка соответствия требованиям к конструкции и маркировке;
- проверка стойкости к механическому удару;
- проверка стойкости к коррозии и влажности;
- проверка термостойкости изоляционных материалов;
- проверка стойкости к аномальному нагреву и огню;
- проверка механической прочности средств крепления оболочек.

Табл. 1. Предельные значения превышения температуры отдельных частей низковольтных комплектных устройств распределения и управления

Составные элементы, комплектующие части НКУ	Предельные значения превышения температуры
Встроенные комплектующие элементы ⁽¹⁾	В соответствии с требованиями к отдельным комплектующим элементам, установленным в стандарте или в инструкции ⁽⁶⁾ изготовителя комплектующих элементов с учетом температуры внутри НКУ
Зажимы для внешних изолированных проводников	70 °C ⁽²⁾
Шины и проводники, втычные контакты выдвижных или съемных частей, соединяющихся шинами	Ограничено: <ul style="list-style-type: none"> • механической прочностью проводящего материала⁽⁷⁾ • возможным воздействием на находящуюся рядом аппаратуру • предельной допустимой температурой для изоляционных материалов, находящихся в контакте с проводником • воздействием температуры проводника на части, к которым он присоединен • свойствами и обработкой поверхности контактного материала (для втычных контактов)
Органы ручного управления:	
• из металла	15 °C ⁽³⁾
• из изоляционного материала	25 °C ⁽³⁾
Доступные наружные оболочки и элементы оболочек:	
• металлические поверхности	30 °C ⁽⁴⁾
• изолирующие поверхности	40 °C ⁽⁴⁾
Отдельно расположенные устройства разъемного типа (вилка - розетка)	Должно соответствовать предельной температуре элементов оборудования, частью которого они являются ⁽⁵⁾

(1) Термин «встроенные комплектующие элементы» означает:

- обычную аппаратуру распределения и управления,
- электронные блоки (например, выпрямительный мост, печатная плата),
- части оборудования (например, регулятор, стабилизированный источник питания, операционный усилитель).

(2) Температура 70 °C является предельной для проводников с изоляцией из ПВХ для испытания по 8.2.1 ГОСТ Р 51321.1.

НКУ, эксплуатируемое или испытываемое в условиях эксплуатации, может иметь соединения, тип, характер и расположение которых не будут соответствовать условиям проведения испытаний, а полученное значение температуры зажимов может быть иным.

(3) Для органов ручного управления, расположенных внутри НКУ, доступ к которым возможен только после открывания НКУ, например для рукоятки для выдвижения блоков, которыми редко пользуются, допускается устанавливать более высокое значение превышения температуры.

(4) Если нет других указаний относительно оболочки и ее элементов, к которым обеспечен открытый доступ, но к которым нет необходимости прикасаться во время нормальной эксплуатации НКУ, то допускается устанавливать предельные значения превышения температуры на 10 °C выше установленного значения.

(5) Данное положение позволяет проявлять определенную гибкость в отношении выбора оборудования (например, электронных устройств), у которого предельные значения превышения температуры отличаются от предельных значений, как правило, устанавливаемых для аппаратуры распределения и управления.

(6) Предельные значения превышения температуры для проверки по 8.2.1 ГОСТ Р 51321.1 устанавливает изготовитель НКУ.

(7) Если предположить, что для перечисленных ниже критериев это допустимо, максимальное превышение температуры для неизолированных медных шин и проводников не должно быть св. 105 °C. Это температура, выше которой происходит снижение прочности меди.

1.8 Специальные исполнения НКУ

Термин «специальное исполнение» определяет НКУ, обладающее характеристиками, не рассматриваемыми в стандарте ГОСТ Р 51321.1 (МЭК 60439-1), но необходимыми потребителям вследствие специальных требований их электроустановок.

Наибольшее распространение получили следующие специальные исполнения:

- НКУ с защитой от электрической дуги;
- сейсмостойкие НКУ;
- ударопрочные НКУ.⁴

Соответствие таких НКУ указанным требованиям обеспечивается проведением испытаний, определенных международными и/или национальными стандартами и отсутствующих в стандарте ГОСТ Р 51321.1 (МЭК 60439-1).

1.8.1. Проведение испытаний при воздействии электрической дуги, возникшей вследствие появления неисправности внутри НКУ

Наиболее широко распространенным международным документом является Технический отчет МЭК 61641 (Приложение А).

Данное испытание проверяет способность комплектных устройств соответствовать определенным требованиям, влияющим на безопасность оператора, в условиях воздействия электрической дуги, возникшей вследствие появления неисправности внутри НКУ.

Это специальное испытание, выполняемое по соглашению между изготовителем и потребителем.

Результаты такого испытания должны быть представлены в виде протокола испытаний и не являются требованием сертификации. Анализ результатов испытаний выполняется в соответствии с соглашением между изготовителем и потребителем.

1.8.2. Квалификационные испытания на сейсмостойкость

Квалификационные испытания на сейсмостойкость должны доказать способность НКУ и размещенного в нем оборудования противостоять воздействию землетрясений при сохранении функциональности.

1.8.3. Испытания на ударную прочность

На практике необходимо, чтобы на таких объектах, как корабли, НКУ могли выдерживать определенные вибрации и удары.

К данной области относятся следующие стандарты:

- ГОСТ 28231-89 (МЭК 60068-2-6 / EN 60068-2-6 (стойкость к вибрации))
- ГОСТ 28231-89 (МЭК 60068-2-27 / EN 60068-2-27 (стойкость к ударам))

И в этом случае набор правил и стандартов очень широк и зависит от отрасли (так, например, в военно-морском и торговом флоте существуют многочисленные отличающиеся требования). Испытания должны выполняться в соответствии с утвержденными заранее методиками с целью проверки определенных эксплуатационных качеств оборудования.

⁴ Достигается соответствующим выбором каркаса и аппаратуры.

2. Электрическая дуга

2.1 Явление электрической дуги

Электрическая дуга между двумя электродами в газе представляет собой физическое явление, возникающее в тот момент, когда напряжение между двумя электродами превышает значение электрической прочности изоляции данного газа. При наличии соответствующих условий образуется плазма, по которой протекает электрический ток. Ток будет протекать до тех пор, пока в системе электропитания не сработает защитное устройство.

Газы, являющиеся хорошим изолятором, при нормальных условиях, могут стать проводником в результате изменения их физико-химических свойств, которые могут произойти вследствие увеличения температуры или в результате воздействия каких-либо иных внешних факторов.

Для того чтобы понять механизм возникновения электрической дуги, следует рассмотреть процессы при размыкании или замыкании электрической цепи. При размыкании электрической цепи контакты защитного устройства начинают расходиться, в результате чего постепенно уменьшается сечение контактной поверхности, через которую протекает ток. Сопротивление электрической цепи возрастает, что приводит к увеличению температуры. Как только контакты начнут отходить один от другого, приложенное напряжение превысит электрическую прочность воздуха, что вызовет электрический пробой. Высокая температура приведет к ионизации воздуха, которая обеспечит протекание электрического тока через электрическую дугу. Кроме термической ионизации молекул воздуха происходит также эмиссия электронов с катода, вызванная термоэлектрическим эффектом. Образующиеся под воздействием очень высокой температуры ионы ускоряются в электрическом поле и бомбардируют катод. Высвобождающаяся в результате столкновения энергия, вызывает локальный нагрев, который, в свою очередь, приводит к эмиссии электронов. Электрическая дуга длится до тех пор, пока напряжение на ее концах обеспечивает поступление энергии, достаточной для компенсации выделяющегося тепла и для сохранения условий поддержания высокой температуры. Если дуга вытягивается и охлаждается, то условия, необходимые для ее поддержания, исчезают и дуга гаснет.

Аналогичным образом возникает дуга в результате короткого замыкания электрической цепи. Короткое замыкание представляет собой соединение элементов с низким электрическим сопротивлением двух проводников, находящихся под разными потенциалами. Проводящий элемент с малым сопротивлением, например, металлический инструмент,

забытый на шинах внутри комплектного устройства, ошибка в электромонтаже или тело животного, случайно попавшего в комплектное устройство, может соединить элементы, находящиеся под разными потенциалами, в результате чего через это соединение потечет электрический ток, значение которого определяется параметрами образовавшейся короткозамкнутой цепи.

Протекание большого тока короткого замыкания вызывает перегрев кабелей или шин, который может привести к расплавлению проводников с меньшим сечением. Как только проводник расплавится, возникает ситуация, аналогичная размыканию электрической цепи. Т. е. в момент размыкания возникает дуга, которая длится либо до срабатывания защитного устройства, либо до тех пор, пока существуют условия, обеспечивающие её стабильность.

Электрическая дуга характеризуется интенсивной ионизацией газов, что приводит к падению анодного и катодного напряжений (на 10 и 40 В соответственно), высокой или очень высокой плотностью тока в середине плазменного канала (от 102-103 до 107 А/см²), очень высокой температурой (сотни градусов Цельсия) в середине плазменного канала и маленькому падению напряжения при расстоянии между концами дуги от нескольких микрон до нескольких сантиметров.



2.2 Действие электрической дуги, возникающей внутри НКУ

Короткое замыкание в электрической цепи, непосредственно связанной с большими силовыми устройствами (такими, как трансформаторы или генераторы) имеет очень большую мощность. Поэтому энергия электрической дуги, возникшей в результате короткого замыкания, очень большая.

Не вдаваясь в сложное математическое описание данного явления, можно сказать, что первые мгновения формирования дуги внутри шкафа можно упрощенно разделить на 4 этапа.

1. Этап сжатия: на этом этапе объем воздуха, в котором происходит зарождение дуги, перегревается вследствие непрерывного высвобождения энергии. За счет конвекции и излучения оставшийся объем воздуха внутри шкафа нагревается. На этом начальном этапе значения температуры и давления воздуха в разных зонах НКУ разные.
2. Этап расширения: с первых мгновений внутреннее давление создает канал, через который начинается движение перегретого воздуха. На этом этапе давление достигает своего максимального значения, после чего начинает уменьшаться вследствие выхода горячего воздуха.
3. Этап эмиссии: на этом этапе вследствие непрерывного наполнения энергией дуги почти весь воздух выталкивается под действием не высокого и почти постоянного избыточного давления.
4. Термический этап: после выхлопа воздуха, температура внутри НКУ почти достигает температуры электрической дуги. Так начинается заключительный этап, который длится до тех пор, пока дуга не погаснет. При этом все металлические и изоляционные материалы, вступившие в контакт с дугой, оказываются подвергнутыми эрозии с выделением газов, дыма и частиц расплавленного материала. Если электрическая дуга возникнет в открытом НКУ, то некоторые из описанных этапов могут не присутствовать, или могут иметь меньшее воздействие. Тем не менее будет иметь место воздушная волна и подъем температуры вблизи дуги.

Находиться вблизи электрической дуги опасно. Ниже приведены некоторые сведения, помогающие осознать эту опасность:

- давление: На расстоянии 60 см от электрической дуги, вызванной током короткого замыкания 20 кА, человек может подвергнуться воздействию силы 225 кг. Более того, резкая волна давления может нанести тяжелую травму барабанным перепонкам;
- температура дуги: около 7000-8000 °С;
- шумовое воздействие: Уровень шумового воздействия электрической дуги может достигнуть 160 дБ (выстрел из дробовика — 130 дБ).

2.3 Воздействие электрической дуги на людей

Из сказанного выше очевидно, что электрическая дуга является источником высокой опасности для людей и имущества. При высвобождении энергии электрической дуги человек может подвергнуться следующим опасностям:

- получение ожогов;
- повреждения от выброса продуктов горения дуги;
- нарушение слуха;
- вдыхание ядовитых газов.



Ожоги

Высокая температура газов, образующихся при горении электрической дуги, и выброс раскаленных частиц металла могут явиться причиной тяжелых ожогов.

Можно получить любую степень ожогов, вплоть до обугливания. Раскаленные до красна твердые частицы, такие как металлические частицы НКУ, вызывают ожоги третьей степени. Перегретый пар вызывает ожоги, аналогичные ожогам от горячих жидкостей. Энергия излучения вызывает менее тяжелые ожоги.



Повреждения от выброса продуктов горения дуги

Выброс металлических или иных частиц, происходящий при горении электрической дуги, может привести к серьезным телесным повреждениям, особенно при попадании в глаза. Частицы, выбрасываемые при горении дуги, могут проникнуть в роговую оболочку глаза и повредить ее. Степень поражения зависит от характеристик и кинетической энергии выбрасываемых частиц.

Кроме того, газы, выделяющиеся в процессе горения дуги, могут повредить слизистую оболочку глаз, а ультрафиолетовое и инфракрасное излучение – роговую оболочку и сетчатку в зависимости от длины волны воздействующего излучения.



Органы слуха

Как уже упоминалось, электрическая дуга представляет собой реальный взрыв, звук которого может нанести тяжелую травму органам слуха.



Вдыхание ядовитых газов

Продукты горения изоляционных материалов и пары металлов могут быть ядовитыми.

Дым, образующийся при неполном сгорании и содержащий частицы углерода и других веществ, попадает в окружающий воздух.

3. НКУ с защитой от электрической дуги

3.1 Общие сведения

В низковольтных комплектных устройствах могут возникать неисправности двух типов, характеризующиеся существенным увеличением тока:

- ошибка монтажа
- «дуговая» неисправность, т. е. неисправность, приводящая к возникновению дуги.

Под термином «ошибка монтажа» понимается ошибка, обусловленная контактом двух или более токоведущих частей, находящихся под разными потенциалами, что приводит к короткому замыканию типа фаза-фаза или фаза-земля и протеканию по цепи короткого замыкания аварийного тока. К «дуговой» неисправности, относится неисправность, обусловленная уменьшением электрической прочности изолирующей среды (воздуха в НКУ) между двумя или более токоведущими элементами, находящимися под разными электрическими потенциалами.

Дуга образуется в тот момент, когда вследствие высокой ионизации воздуха происходит пробой изолирующей среды, вследствие чего через нее начинает протекать электрический ток.

Вредное воздействие ошибки монтажа в основном сводится к электродинамическому воздействию, пропорциональному квадрату тока (I^2), обусловленному большой силой тока и низким сопротивлением неправильно смонтированного участка электрической цепи (средой протекания аварийного тока является проводящий материал).

Проявлением «дуговой» неисправности, является тепловое воздействие, пропорциональное $R_a I^2$ и достигающее большого значения вследствие большого сопротивления дуги R_a . Дело в том, что ток дуги протекает через среду, которая всегда является изолирующей, пусть даже и чрезвычайно ионизированной.

Указанные воздействия очевидны сами по себе особенно в форме:

- теплового градиента температуры, вызванного быстрым и интенсивным подъемом температуры воздуха;
- высоким градиентом давления в форме ударной волны;
- высокой ионизацией воздуха с последующим уменьшением электрической прочности.

В целом, в НКУ, разработанных и испытанных в соответствии с требованиями стандарта ГОСТ Р 51321.1 (МЭК 60439-1) «дуговая» неисправность маловероятна. Однако, если дуга все таки возникнет, ее последствия будут чрезвычайно тяжелыми как для оборудования, так и для персонала (см. п. 2.2 и 2.3).

Причина «дуговой» неисправности может носить как технический, так и нетехнический характер. Среди последних наиболее часто возникают следующие:

- **ошибки персонала**, совершаемые главным образом во время технического обслуживания;

- **недостаточно аккуратное выполнение монтажа;**
- **ненадлежащее техническое обслуживание**, главным образом при эксплуатации НКУ в тяжелых условиях окружающей среды.

Среди технических причин «дуговой» неисправности в НКУ необходимо помнить о следующих:

- **пробой изоляции**, особенно вблизи опор шин и втычных контактов выдвижных частей НКУ (75 % случаев);
- **перенапряжения**, вызываемые электрическими разрядами между точками с минимальными зазорами (15 % случаев);
- **конструктивные дефекты аппаратуры** (10 % случаев).

Известно, что стандарт на НКУ (ГОСТ Р 51321.1 (МЭК 60439-1)) требует проведения в составе типовых испытаний проверку прочности при коротких замыканиях, вызванных ошибкой электромонтажа, но при этом, она не дает какой-либо точной индикации в отношении «дуговой» неисправности. Единственное указание, относящееся к рассматриваемой проблеме и приведенное в стандарте ГОСТ Р 51321.1 (МЭК 60439-1), адресовано изготовителю, который обязан предпринять все возможные меры предосторожности, направленные на уменьшение возможности образования дуги внутри комплектного устройства.

Тем не менее, существует нормативный документ, касающийся проверки прочности НКУ при возникновении дуги, известный во многих странах.

Это — **МЭК 61641 (в серии ГОСТ Р аналога данного стандарта нет) «Защищенные НКУ распределения и управления. Руководство по испытанию на воздействие дуги, вызванной внутренней неисправностью»** («Enclosed low-voltage switchgear and controlgear assemblies — Guide for testing under conditions of arcing due to internal fault») (см. приложение А).

Поскольку данный документ является техническим отчетом типа 3, он не имеет юридической силы стандарта и, следовательно, соответствующие испытания не относятся к обязательным проверкам типового испытания, выполняемого с целью получения статуса НКУ, прошедшего типовые испытания.

Тем не менее, данный документ содержит конкретные технические рекомендации по проведению испытаний.

В соответствии с МЭК 61641-1¹, конструкция НКУ должна предусматривать:

- ограничение опасности поражения персонала в случае возникновения дуги внутри НКУ
- ограничение распространения дуги той секцией НКУ, где она возникла, так чтобы другие части НКУ оказались в безопасности (что позволяет обеспечить возможность работы в аварийном режиме).

¹ Должно быть опубликовано новое издание.

3.2 НКУ с защитой от электрической дуги

При возникновении электрической дуги внутри НКУ безопасность оператора и электроустановки обеспечивается тремя способами:

1. Конструкция НКУ должна выдерживать механические воздействия, возникающие при горении электрической дуги (пассивная защита).
2. НКУ должно быть оснащено устройствами¹, ограничивающими воздействие электрической дуги (активная защита)
3. НКУ должны быть оснащены токоограничивающими автоматическими выключателями.

Указанные три способа (применяемые совместно) получили дальнейшее развитие в промышленности и успешно применяются основными изготовителями НКУ.

Как будет показано далее при рассмотрении первых двух способов, активная защита от дуговых неисправностей является более сложной, чем пассивная защита.

3.2.1 НКУ, стойкие к механическому воздействию электрической дуги (пассивная защита).

К данному типу НКУ относятся такие устройства, конструкция которых предусматривает противостояние механическому воздействию электрической дуги и обеспечивает выхлоп образующихся газов.

В НКУ указанного типа используются два специальных конструктивных решения:

- усиленный каркас, способный противостоять нагрузке (избыточному давлению) возникающему при воздействии электрической дуги внутри НКУ;
- наличие внутри НКУ периферийного канала для выпуска горячих газов, образующихся в процессе горения дуги.

Согласно документу МЭК 61641 для удовлетворения требований безопасности оператора и электроустановки наличие обоих конструктивных решений является обязательным условием.

В результате изготовители используют конструктивные решения, направленные на предотвращение случайного открытия дверей (или их отверстий) при возникновении волны избыточного давления создаваемого электрической дугой. Кроме того, приборы, размещаемые на дверях должны выдерживать избыточное давление, равное приблизительно 1 бар (1 кг/см²) и оставаться при этом на своих местах (не выдвигаться из НКУ наружу).

Газы, возникающие при горении дуги, имеют высокую температуру. Конструкция НКУ должна обеспечивать выход газов в верхней части (на высоте более 2 м) и не допускать выход газа в нижней части, поскольку это опасно для оператора.

Совершенно очевидно, что каждое достаточно большое отверстие в дверях шкафа может пропускать газы, и это опас-

но для оператора. Поэтому, в НКУ рассматриваемого типа такие отверстия обычно отсутствуют.

Как уже было сказано, документ МЭК 61641 кроме требований обеспечения безопасности оператора устанавливает требования для обеспечения безопасности электроустановки при возникновении дуги (см. Приложение А).

Это означает, что изготовитель комплектных устройств должен реализовать дополнительные конструктивные решения.

По существу, НКУ должно быть изготовлено таким образом, чтобы в случае возникновения дуги осуществлялась защита его функциональных блоков, а после того, когда причина неисправности будет устранена, сохранялась возможность безопасно включить электроустановку.

Конструкция НКУ такого типа должна, в основном, обеспечить следующее:

- нераспространение дуги из одной секции в другую (смежную) секцию НКУ;
- нераспространение дуги из части НКУ, в которой расположены шины, в ту часть НКУ, в которой установлена аппаратура.

Результатом реализации данных требований является разделение внутреннего пространства НКУ на отсеки.

По существу такое внутреннее разделение позволяет получить защищенные от распространения дуги подсекции, т. е. шкафы или отсеки в которых распространение электрической дуги ограничено местом ее возникновения, что позволяет избежать повреждения смежных областей.

3.2.2 НКУ с устройствами ограничения воздействия внутренней дуги (активная защита)

Для решения этой задачи используются совершенно другие, отличающиеся от ранее рассмотренных, принципы, заключающиеся в том, что противодействие внутренней дуге обеспечивается применением устройств, ограничивающих саму дугу.

Существует два типа решения проблемы в этом направлении:

- ограничение разрушающего воздействия дуги после того, как ее обнаружат специальные устройства;
- ограничение разрушающего воздействия дуги после того, как специальные устройства обнаружат возникновение избыточного давления.

В первом случае в НКУ устанавливают устройства обнаружения дуги, реагирующие на световой поток, сопровождающий явление электрической дуги.

При обнаружении дуги данные устройства посылают сигнал управления на размыкание вводного автоматического выключателя. Гарантируемое время реакции составляет 1-2 мс, что меньше времени срабатывания автоматического выключателя.

¹ Устройства обнаружения дуги и/или избыточного давления

Логика работы устройства обнаружения дуги следующая: дуга, возникшая внутри НКУ, обнаруживается датчиком, реагирующим на интенсивное световое излучение, которым сопровождается горение дуги. Обнаружив дугу, система управления посылает сигнал автоматическому выключателю.

Время срабатывания датчика и системы управления составляет несколько миллисекунд, что меньше времени срабатывания автоматического выключателя, осуществляющего защиту от сверхтока, который обычно для обеспечения требуемой селективности срабатывает с задержкой.

На рис. 1 показаны места возможной установки устройства защиты внутри НКУ.

Идеальным решением является установка, по крайней мере, одного устройства защиты в каждый шкаф многошкафного НКУ. Это позволит до минимума сократить длину оптоволоконных кабелей передачи сигнала.

Для предотвращения ложного срабатывания от других источников света (т. е. не от дуги), например, лампы, солнечного излучения и т. п., дополнительно в главной цепи вводного автоматического выключателя устанавливают датчик тока. Только при наличии двух событий, а именно: срабатывания датчика света и обнаружения аномального увеличения тока, система управления считает, что возникла электрическая дуга и подает команду на отключение вводного автоматического выключателя.

Второе решение заключается в установке внутри НКУ датчика избыточного давления.

Как было описано ранее, одним из характерных проявлений электрической дуги, возникшей внутри НКУ, является ударная волна.

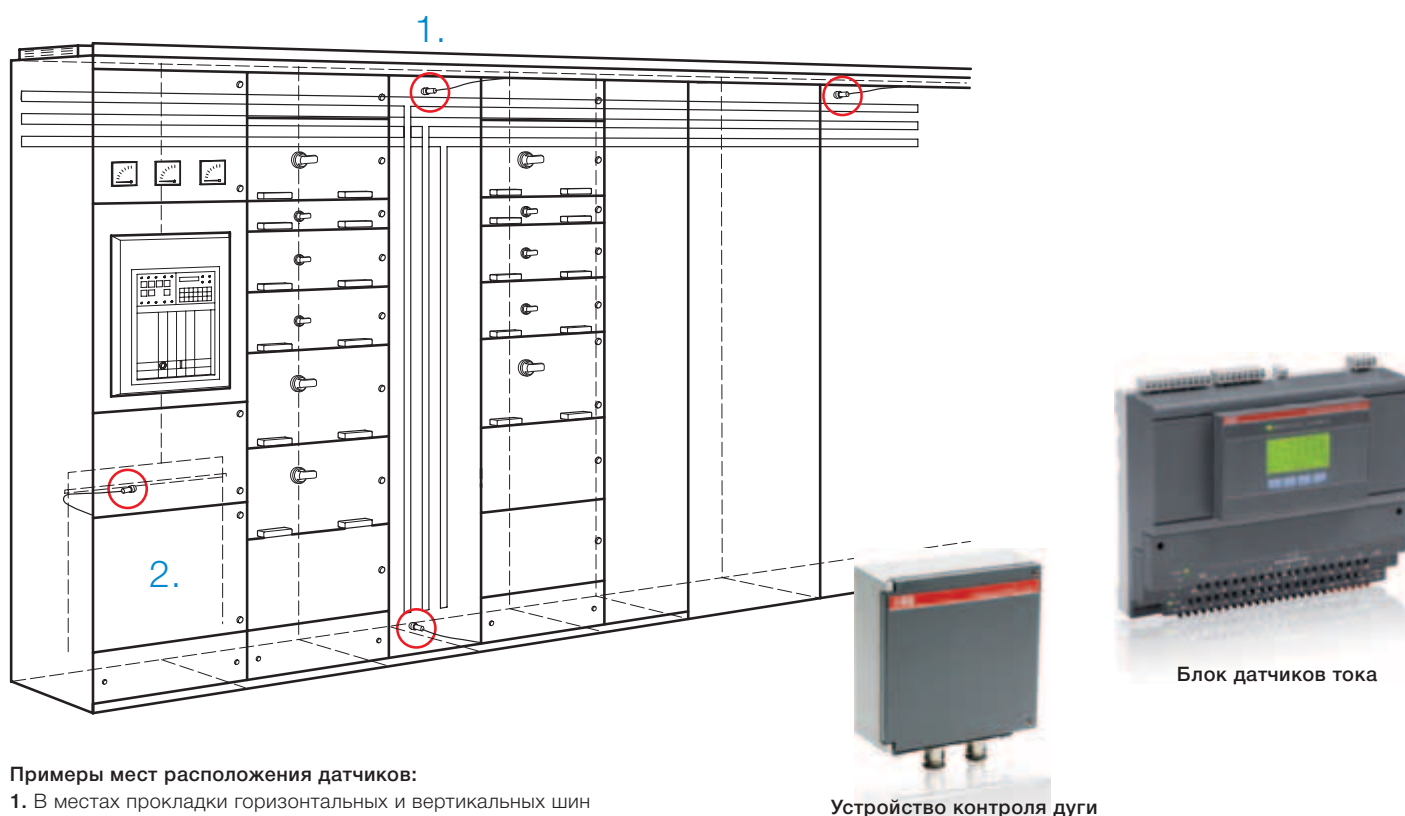
Это означает, что можно установить несколько датчиков давления, задачей которых является обнаружение импульса давления (с задержкой 10...15 мс), обусловленного зажиганием дуги. Сигнал от датчиков давления поступает на вводной автоматический выключатель, который срабатывает без задержки на обеспечение селективности.

Такая система не нуждается в электронном устройстве обработки информации, поскольку воздействует непосредственно на независимый расцепитель автоматического выключателя.

Вполне понятно, что такое устройство имеет фиксированный порог срабатывания. Датчик-реле дуги работает, как только будет достигнуто заданное значение избыточного давления.

Следует иметь в виду, что не так легко заранее определить значение избыточного давления, которое будет создано при зажигании дуги внутри НКУ.

Рис. 1. Возможные места установки датчиков дуги



Примеры мест расположения датчиков:

1. В местах прокладки горизонтальных и вертикальных шин
2. В шкафу с вводным автоматическим выключателем

3.2.3 НКУ с токоограничивающими автоматическими выключателями

Еще одной возможностью ограничить воздействие внутренней дуги является оснащение НКУ токоограничивающими автоматическими выключателями.

В этом случае возможны два решения:

- разделение электроустановки на части с высоким током короткого замыкания (рис. а);
- ограничение тока короткого замыкания в каждой линии и, следовательно, ограничение интенсивности возможной дуги (рис. b).

При использовании решения а) токоограничивающий автоматический выключатель разделяет правую и левую части электроустановки, ограничивая таким образом воздействие неисправности (в нашем случае дуги) в одной из частей НКУ .

Если такое решение окажется недостаточным, то можно использовать решение b), в котором токоограничивающий автоматический выключатель установлен в каждой питающей линии, идущей от трансформатора, что позволяет в случае возникновения дуги уменьшить энергию, передаваемую каждой отходящей линией.

Оба представленных решения часто применяют в пассивно защищенных НКУ, когда требуется повысить эффективность защиты НКУ в соответствии с требованиями, предъявляемыми к защите электроустановки в целом.

Например, если НКУ имеет механическую прочность, достаточную для того, чтобы противостоять воздействию элек-

трической дуги с током 65 кА, а ток короткого замыкания электроустановки значительно выше 65 кА, то при возникновении дуги внутри НКУ решение а) или b) несомненно обеспечит требуемую безопасность.

Рис. а

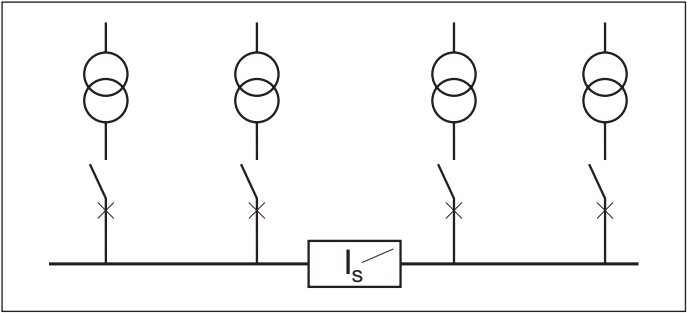
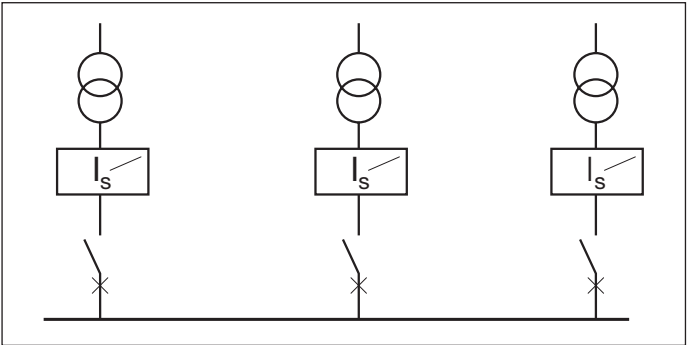


Рис. b



4. НКУ с защитой от воздействия дуги производства АББ

Концерн АББ производит НКУ (на базе выдвижных модулей) двух типов: MNS и MNS iS. НКУ типа MNS — традиционное исполнение распределительного устройства; НКУ типа MNS iS — современное исполнение с интегрированной системой для мониторинга и управления распределением электроэнергии.

НКУ типа MNS и MNS iS¹ имеют сертификат, подтверждающий наличие пассивной защиты от воздействия внутренней дуги с током до 100 кА и продолжительностью 0,3 сек.

НКУ испытаны и имеют сертификат, подтверждающий соответствие параметрам при испытаниях воздействием вну-

тренней электрической дуги в соответствии с требованиями стандарта МЭК 61641-2007 (см. приложение А).

Благодаря тщательно продуманной конструкции НКУ, воздействие дуги ограничивается отсеком, в котором она возникла. В результате обеспечивается не только безопасность эксплуатирующего персонала, но и защита самого НКУ.

Более подробная информация о характеристиках НКУ типа MNS и MNS iS приведена в документах:

1. НКУ MNS. Техническое руководство.
2. НКУ MNS iS с интегрированной системой управления. Техническое руководство.

¹ Исполнения MNS3.0, MNS iS



Рис.1 — НКУ типа MNS iS с защитой от дуги

Приложение А: Испытание НКУ с защитой от воздействия электрической дуги

В данном приложении описываются испытания, проводимые для НКУ с защитой от воздействия электрической дуги.

Целью данного испытания является проверка конструкции НКУ на нераспространение в смежные зоны частиц, образующихся в результате горения дуги. При этом используются параметры дуги, возникающей при прохождении ожидаемого тока короткого замыкания, указанного изготовителем НКУ. После испытания необходимо проверить НКУ по следующим параметрам:

1. Закрытые надлежащим образом двери, крышки и др. не открылись.
2. Из НКУ не вылетели части (большие, с острыми краями), которые могут нанести поражение.
3. В результате воздействия электрической дуги не образовалось отверстий в легко доступных наружных частях оболочки;
4. Не произошло воспламенение вертикально установленных индикаторов.
5. Устройство выравнивания потенциалов доступных частей оболочки продолжает функционировать.
6. Действие возникшей дуги ограничено в определенной зоне и отсутствует последующее загорание дуги в смежных зонах.
7. После гашения дуги и после отделения или извлечения функциональных блоков, подвергшихся воздействию неисправности, сохраняется возможность эксплуатировать часть НКУ, оставшуюся неповрежденной (работа в аварийном режиме). Для этого выполняется проверка диэлектрических свойств (при значении напряжения в 1,5 раза превышающего номинальное значение) в течение одной минуты.

Испытание должно выполняться на образце, который ранее не подвергался проверкам на воздействие дуги, а условия монтажа НКУ должны быть максимально близкими к условиям нормальной эксплуатации. Подвергаемый испытанию образец должен быть полностью оснащен всеми внутренними компонентами и всеми средствами защиты персонала.

В качестве индикаторов нежелательного воздействия газов или вылетающих твердых частиц используют хлопчатобумажную ткань, закрепляемую в монтажных рамах. Указанные индикаторы должны быть размещены на высоте до 2 м и на расстоянии $30 \text{ см} \pm 5 \%$ от точек НКУ, из которых может происходить выделение газов (места соединений, отверстия, двери и т. п.)

Дуга должна возникнуть в результате межфазного короткого замыкания созданного с помощью неизолированного медного проводника в результате соединения двух смежных проводников по кратчайшему расстоянию. Дуга должна быть создана в трехфазной системе таким образом, чтобы короткое замыкание могло превратиться в трехфазное, а место возникновения дуги должно быть выбрано таким образом, чтобы воздействия результирующей дуги на НКУ были наибольшими. Сечение проводника определяется испытательным током.

Точки возникновения дуги должны быть выбраны в местах, где согласно имеющемуся опыту может образоваться дуга:

- в точках присоединения системы главных шин;
- на неизолированных токоведущих частях коммутационных устройств и аппаратов защиты со стороны подвода питания;
- на кабельных зажимах.

Кроме того, проводник инициирования дуги должен соединять только доступные неизолированные проводники. Прикладываемое к проверяемой цепи напряжение должно быть равно максимальному номинальному напряжению НКУ с допустимым отклонением $+5 \%$, а указываемый изготовителем ожидаемый ток короткого замыкания должен проверяться по осциллограмме. Пиковое значение тока получают умножением предельного кратковременного тока на коэффициент n . Стандартные значения коэффициента n , соответствующие значениям коэффициента мощности, приведены в следующей таблице.

Действующее значение тока короткого замыкания, кА	$\cos \varphi$	n
$I \leq 5$	0,7	0,7
$5 < I \leq 10$	0,5	0,5
$10 < I \leq 20$	0,3	0,3
$20 < I \leq 50$	0,25	0,25
$50 < I$	0,2	0,2

Используемое для проверки значение испытательного тока не должно изменяться в процессе проведения испытания. Длительность проверки определяется изготовителем. Она выбирается в соответствии со временем срабатывания устройств защиты. При отсутствии данных о времени срабатывания данных устройств, электропитание подают в течение 0,1 сек. Обычно эта длительность не должна превышать 0,5 сек.

Результаты теста считаются положительными, если выполнены указанные в начале условия.

Выполняют три теста:

- А. Калибровочный тест.
- В. Испытание на воздействие электрической дуги, зажигаемой на зажимах выводного функционального блока.
- С. Испытание на воздействие электрической дуги, зажигаемой на главных шинах.

А. Калибровочный тест.

Значение пропускаемого тока проверяется при испытательном токе 65 кА и номинальном напряжении 462 В (440 В +5 %)

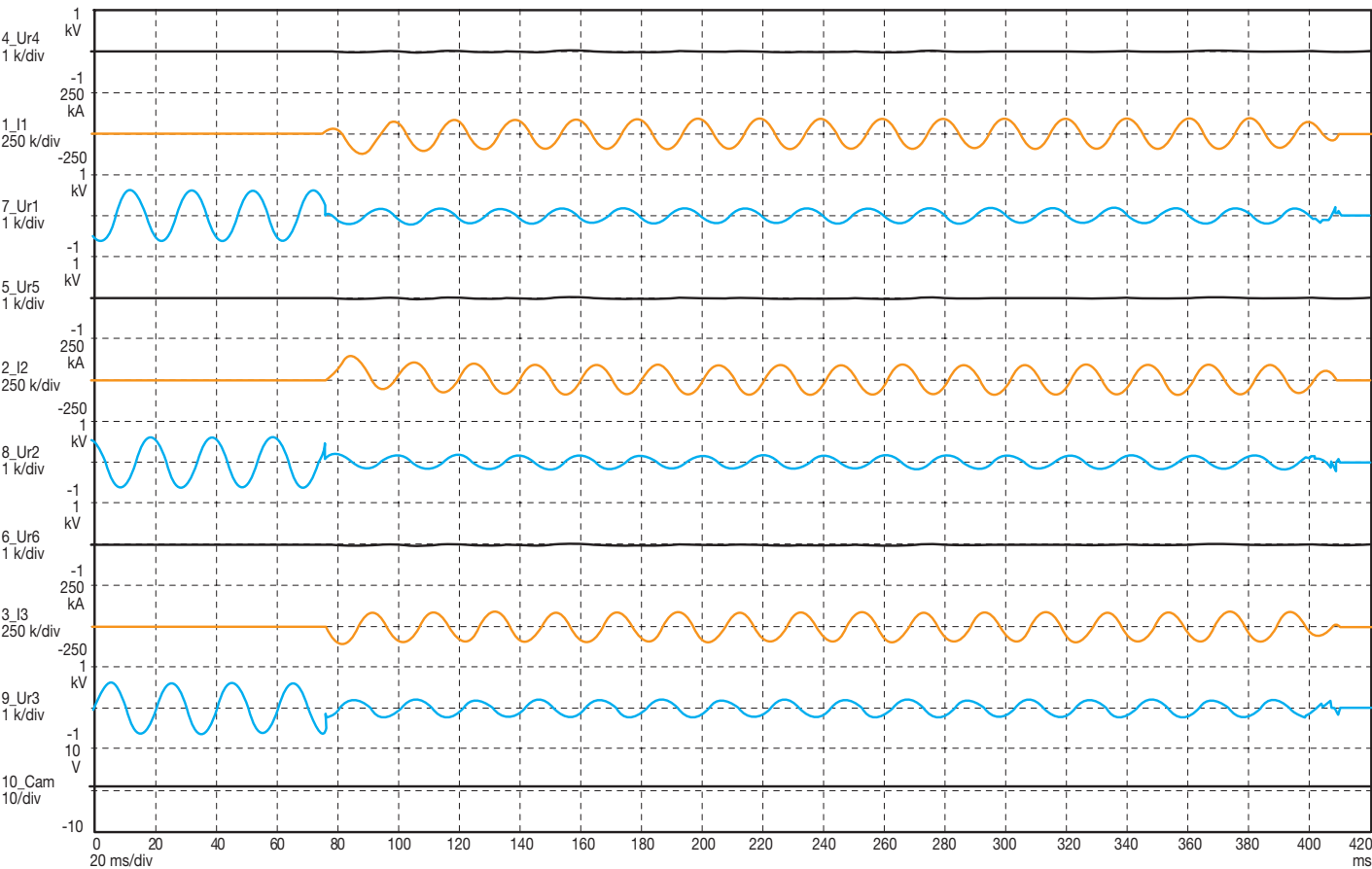
В представленной ниже таблице показаны значения величин, измеренных в процессе выполнения теста.

	1_I1	2_I2	3_I3	Среднее значение
Симметричный ток, кА	65,9	65,0	65,7	65,5
Пиковый ток, кА	-129	144	-106	
Время начала, мс	75,8	76,5	75,9	
Время окончания, мс	409,4	408,5	409,4	
Cos φ				0,16

Обозначения:

- 1_I1, 2_I2, 3_I3: токи, протекающие в соответствующих фазах трехфазной цепи
- Cos φ: коэффициент мощности

Ниже представлена осциллограмма, на которой показаны линейные напряжения (7_Ur1, 8_Ur2, 9_Ur3) и токи (1_I1, 2_I2, 3_I3) в трехфазной цепи.



В. Испытание на воздействие электрической дуги, зажигаемой на зажимах выводного функционального блока

После калибровки цепи выполняют испытание на воздействие электрической дуги длительностью 0,3 сек с испытательным током 65 кА при напряжении 462 В (440 В +5 %). Дуга инициируется между верхними зажимами автоматического выключателя одного из выводных функциональных блоков. За счет самозатухания дуги возникший ток будет длиться всего 7,7 мс. И в следствие этого значение тока уменьшится.

Дуга погаснет в течение первой половины планируемой длительности испытания и не зажжется снова. Поэтому, в соответствие с требованиями Технического отчета МЭК 61641, такой тест необходимо повторить с зажиганием дуги в том же самом месте, что и в первый раз.

Поскольку и во второй раз дуга погаснет в течение первой половины планируемой длительности испытаний, то продолжать испытание не требуется.

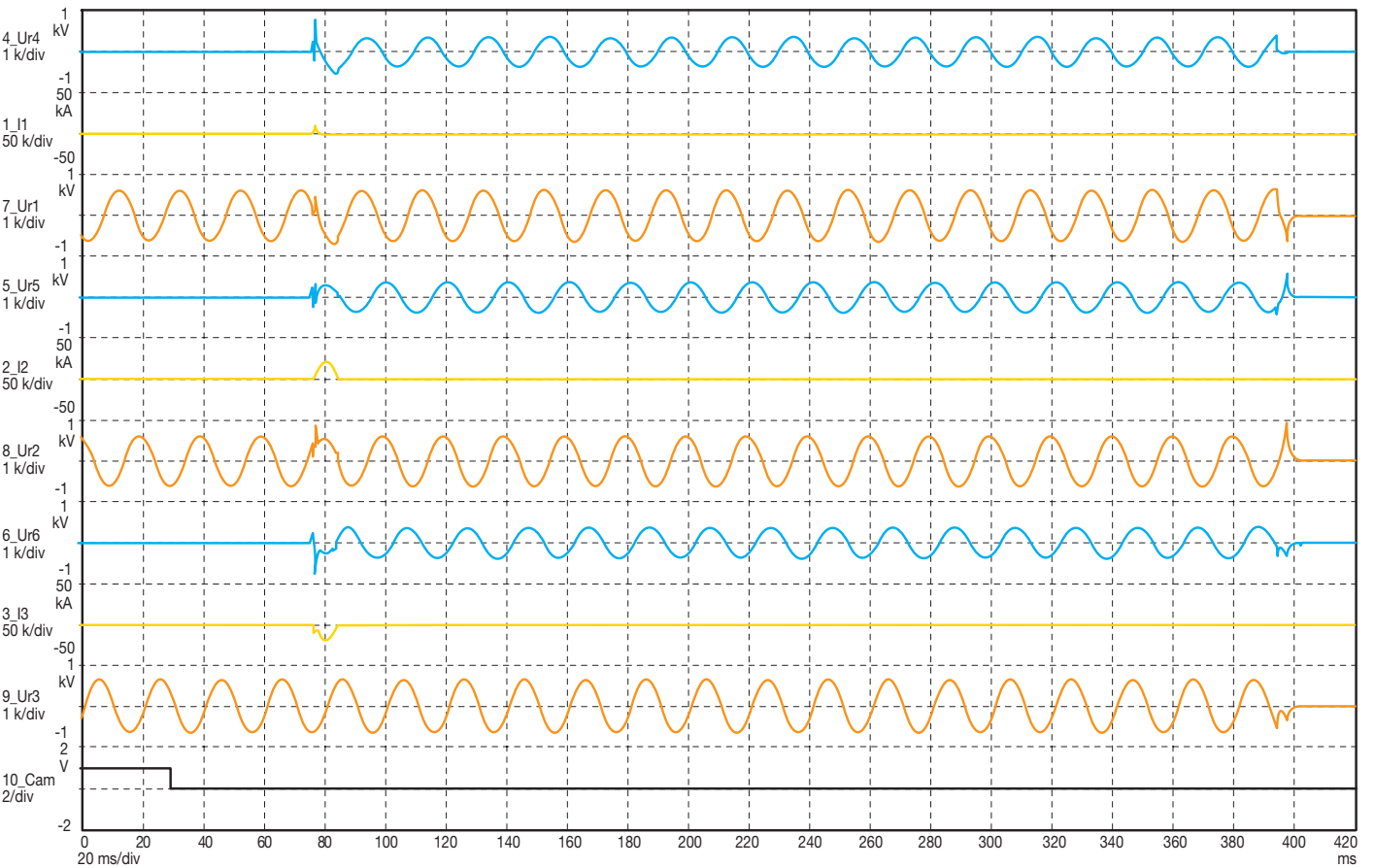
В представленной ниже таблице показаны измеренные в процессе выполнения испытаний значения.

	1_I1/4_Ur4	2_I2/5_Ur5	3_I3/6_Ur6
Максимальный ток, КА	10,3	19,8	–19,8
Максимальное напряжение, В	786	349	–746
Энергия дуги, КДж	1,28	22,7	22,3
Значение интеграла Джоуля, А²·с	4,38·10 ⁴	1,43·10 ⁶	1,52·10 ⁶
Мощность дуги, Вт	6,98·10 ⁶	5,52·10 ⁶	7,55·10 ⁶
Длительность дуги, мс	1,1	7,7	7,6

Обозначения:

- 1_I1, 2_I2, 3_I3: токи, протекающие в соответствующих фазах трехфазной цепи
- 4_Ur4, 5_Ur5, 6_Ur6: напряжения дуги
- Cos φ: коэффициент мощности

Ниже представлена осциллограмма, на которой показаны напряжения дуги (4_Ur4, 5_Ur5, 6_Ur6), линейные напряжения (7_Ur1, 8_Ur2, 9_Ur3) и токи (1_I1, 2_I2, 3_I3), протекающие в трехфазной цепи. Из данной осциллограмме видно, что токи имеют короткую продолжительность вследствие быстрого погасания дуги.



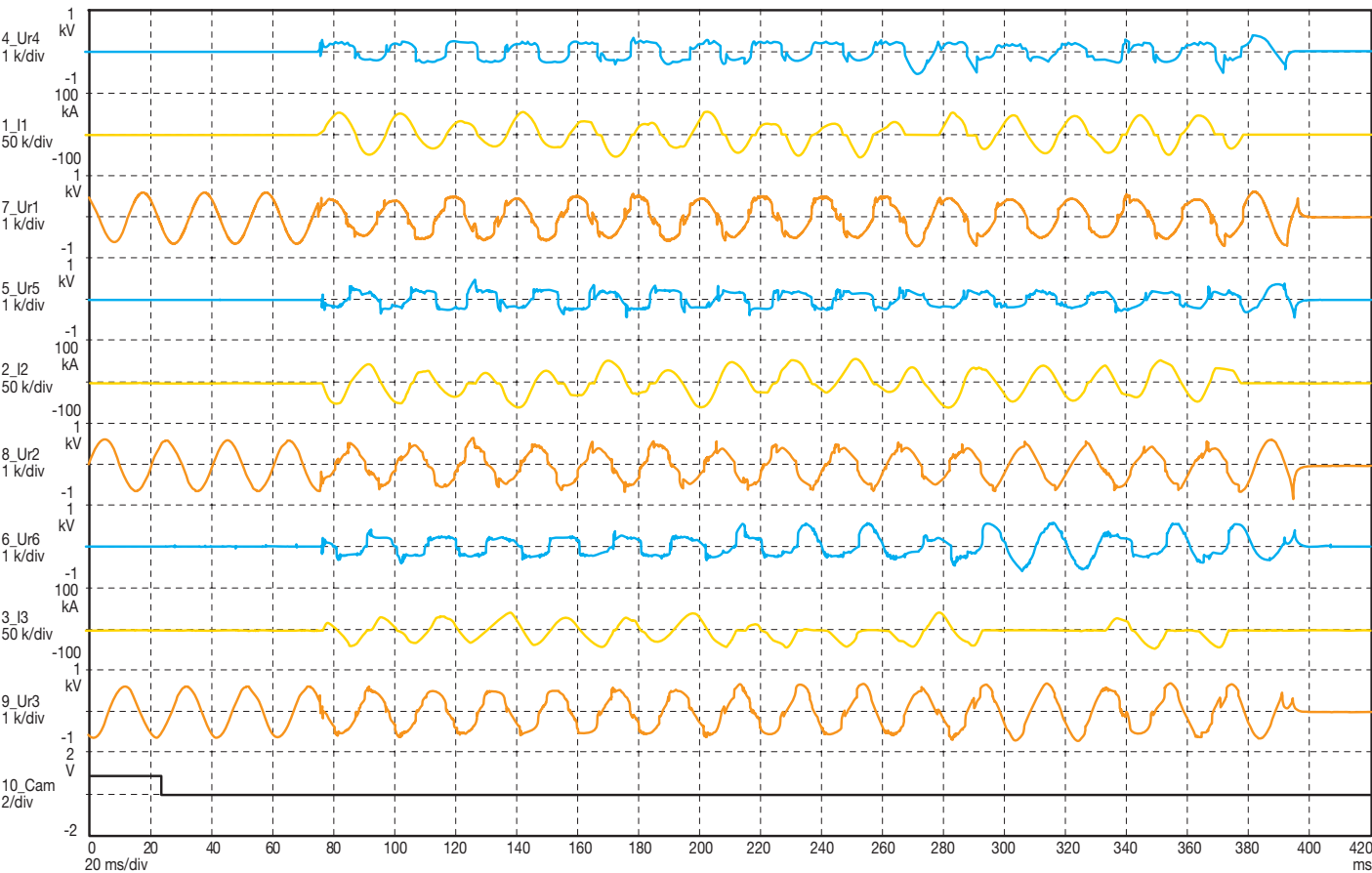
С. Испытание на воздействие электрической дуги, зажигаемой на главных шинах

Следующее испытание выполняют с испытательным током 65 кА при напряжении 462 В и с дугой, зажигаемой на главных шинах. Фактическая продолжительность возникающего тока оставляет 0,3 сек с временным самозатуханием дуги между фазами L1 и L2 и последующим повторным зажиганием.

В представленной ниже таблице показаны измеренные в процессе выполнения испытаний значения.

	1_I1/4_Ur4	2_I2/5_Ur5	3_I3/6_Ur6
Пиковый ток, кА	55,7	-62,3	46,6
Продолжительность, мс	301,37	301,37	216,76
Значение интеграла Джоуля, А²·с	2,53·10 ⁸	2,97·10 ⁸	1,12·10 ⁸

Ниже представлена осциллограмма, на которой показаны напряжения дуги (4_Ur4, 5_Ur5, 6_Ur6), линейные напряжения (7_Ur1, 8_Ur2, 9_Ur3) и токи (1_I1, 2_I2, 3_I3), протекающие в трехфазной цепи.



Серия инженера-конструктора



QT1

Селективность автоматических выключателей АББ в сетях низкого напряжения

QT2

Выбор электрооборудования при проектировании трансформаторных подстанций в сетях среднего/низкого напряжения

QT3

Системы распределения электроэнергии, защита при косвенном прикосновении и защита от замыкания на землю

QT4

Методические рекомендации по выбору и размещению автоматических выключателей в распределительных сетях 0,4 кВ и низковольтных комплектных устройствах

QT5

Автоматические выключатели АББ для применений на постоянном токе

QT6

Низковольтные комплектные устройства с защитой от электрической дуги

QT7

Трехфазные асинхронные двигатели. Общие сведения и координация аппаратов АББ

QT8

Коррекция коэффициента мощности и фильтрация гармоник в электроустановках

QT9

Применение автоматических выключателей АББ в цифровых системах автоматизации

QT10

Методические рекомендации по выбору элементов крепления и стабилизации контактного нажатия в разборных электрических контактных соединениях (РЭКС) низковольтных комплектных устройств (НКУ)

Наши координаты

117997, Москва,

ул. Обручева, 30/1, стр. 2

Тел.: +7 (495) 960 2200

Факс: +7 (495) 960 2220

194044, Санкт-Петербург,

ул. Гельсингфорсская, д. 2А

Тел.: +7 (812) 326 9900

Факс: +7 (812) 326 9901

400005, Волгоград,

пр. Ленина, 86

Тел.: +7 (8442) 24 3700

Факс: +7 (8442) 24 3700

394006, Воронеж,

ул. Свободы, 73

Тел.: +7 (4732) 39 3160

Факс: +7 (4732) 39 3170

620066, Екатеринбург,

ул. Бархотская, 1

Тел.: +7 (343) 369 0069

Факс: +7 (343) 369 0000

664033, Иркутск,

ул. Лермонтова, 257

Тел.: +7 (3952) 56 2200

Факс: +7 (3952) 56 2202

420061, Казань,

ул. Н. Ершова, 1а

Тел.: +7 (843) 279 3330

Факс: +7 (843) 279 3331

350049, Краснодар,

ул. Красных Партизан, 218

Тел.: +7 (861) 221 1673

Факс: +7 (861) 221 1610

660135, Красноярск,

ул. Взлетная, 5, стр. 1, оф. 4-05

Тел.: +7 (913) 578 6833

603140, Нижний Новгород,

Мотальный пер., 8

Тел.: +7 (831) 461 9102

Факс: +7 (831) 461 9164

630073, Новосибирск,

пр. Карла Маркса, 47/2

Тел.: +7 (383) 346 5719

Факс: +7 (383) 315 4052

614077, Пермь,

ул. Аркадия Гайдара, 86

Тел.: +7 (342) 263 4334

Факс: +7 (342) 263 4335

344065, Ростов-на-Дону,

ул. 50-летия Ростсельмаша, 1/52

Тел.: +7 (863) 203 7177

Факс: +7 (863) 203 7177

443013, Самара,

Московское шоссе, 4 А, стр.2

Тел.: +7 (846) 205 0311

Факс: +7 (846) 205 0313

354002, Сочи,

Курортный проспект, 73

Тел.: +7 (8622) 62 5048

Факс: +7 (8622) 62 5602

450071, Уфа,

ул. Рязанская, 10

Тел.: +7 (347) 232 3484

Факс: +7 (347) 232 3484

680000, Хабаровск,

ул. Муравьева-Амурского, 44

Тел.: +7 (4212) 30 2335

Факс: +7 (4212) 30 2327

693000, Южно-Сахалинск,

ул. Курильская 38,

Тел.: +7 (4242) 49 7155

Факс: +7 (4242) 49 7155

По вопросам заказа оборудования обращайтесь по электронному адресу: mns@ru.abb.com