
ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЕТЕВАЯ КОМПАНИЯ
ЕДИНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ»



**СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ
ОАО «ФСК ЕЭС»**

**СТО 56947007-
29.130.10.095-2011**

**Выключатели переменного тока на напряжение от 3 до 1150 кВ.
Указания по выбору**

Стандарт организации

Дата введения 02.06.2011

ОАО «ФСК ЕЭС»

2011

Предисловие

Цели и принципы стандартизации в Российской Федерации установлены Федеральным законом от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании», а правила применения стандарта организации - ГОСТ Р 1.4-2004 «Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты организаций. Общие положения».

Сведения о стандарте

1 РАЗРАБОТАН: ОАО «НТЦ электроэнергетики»
2 ВНЕСЕН: Департаментом технологического развития
 и инноваций ОАО «ФСК ЕЭС»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ:
Приказом ОАО «ФСК ЕЭС» от 02.06.2011 № 322

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Замечания и предложения по стандарту организации следует направлять в ОАО «ФСК ЕЭС» по адресу 117630, Москва, ул. Ак. Челомея, д. 5А, электронной почтой по адресу: vaga-na@fsk-ees.ru; linniksp@fsk-ees.ru.

Настоящий стандарт организации не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения ОАО «ФСК ЕЭС»

Содержание

Предисловие	2
Введение	4
1 Область применения	4
2 Нормативные ссылки	4
3 Общие положения	5
4 Выбор выключателя по основным конструктивным признакам и исполнениям	5
5 Основные (номинальные) параметры выключателя	7
6 Выбор параметров и характеристик выключателя, удовлетворяющих требованиям нормального режима работы сети	8
6.1 Номинальное напряжение и координация изоляции	8
6.2 Номинальный ток	8
6.3 Климатическое исполнение	9
6.4 Высота установки над уровнем моря	9
7 Выбор параметров и характеристик выключателя, удовлетворяющих требованиям аварийного режима сети	10
7.1 Выбор номинального тока отключения	10
7.2 Выбор параметров переходного восстанавливающегося напряжения (ПВН) выключателя	12
7.3 Выбор выключателя по условию отключения тока в режиме рассогласования фаз	21
7.4 Выбор выключателя по нормированному значению тока включения при коротком замыкании	22
7.5 Выбор выключателей по нормированному циклу операций	22
7.6 Требования к стойкости при сквозных токах короткого замыкания	23
8 Выбор параметров и характеристик выключателей, устанавливаемых в цепи конденсаторной батареи	23
9 Выбор параметров и характеристик выключателей, устанавливаемых в цепи шунтирующего реактора	24
Приложение А (рекомендуемое) Применение элегазовых баковых и колонковых выключателей на номинальное напряжение 110 кВ и выше наружной установки	25
Приложение Б (рекомендуемое) Методы определения собственного переходного восстанавливающегося напряжения в месте установки выключателя	26

Введение

В настоящем стандарте учтены основные нормативные положения следующих международных стандартов:

МЭК 62271-100:2008 «Коммутационная аппаратура и аппаратура управления высокого напряжения. Часть 100.: Выключатели переменного тока». Издание 2,0. Раздел 8. «Правила выбора выключателей для эксплуатации». Приложение F. «Методы определения собственного переходного восстанавливающегося напряжения». (IEC62271-100: 2008 "High-voltage switchgear and controller. Part 100: Alternating-current circuit-breakers". Edition 2. 8, "Guidance to the selection of circuit-breakers for service." Annex F. "Methods of determining prospective transient recovery voltage waves".)

МЭК 62271-1:2007 «Коммутационная аппаратура и аппаратура управления высокого напряжения. Часть 1: Общие требования». (IEC 62271-1:2007 "High-voltage switchgear and controlgear. Part 1: Common specifications").

1 Область применения

Настоящий стандарт организации распространяется на выключатели (включая их приводы), предназначенные для коммутации электрических цепей при нормальных и аварийных режимах в сетях трехфазного переменного тока частоты 50 Гц номинальным напряжением от 3 до 750 кВ включительно, выпускаемые по ГОСТ Р 52565, и выключатели напряжением 1150 кВ, разрабатываемые по техническим требованиям заказчика.

Стандарт устанавливает требования к выбору выключателей для энергообъектов с учетом условий и режимов работы на месте установки, но не распространяется на генераторные выключатели.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты.

ГОСТ 1516.3-96 Электрооборудование переменного тока на напряжение от 1 до 750 кВ. Требования к электрической прочности изоляции.

ГОСТ 15150-69 Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды.

ГОСТ Р 52565-2006 Выключатели переменного тока на напряжения от 3 до 750 кВ. Общие технические условия.

ГОСТ Р 52735-2007 Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в установках переменного тока напряжением свыше 1 кВ.

3 Общие положения

3.1. Выключатель выбирается на основании сопоставления его параметров с характеристиками сети в месте установки выключателя в нормальных и аварийных режимах.

3.2. При выборе параметров выключателя требуется учитывать развитие сети с возможным увеличением токов нагрузки, токов короткого замыкания, переходного восстанавливающегося напряжения (ПВН).

4 Выбор выключателя по основным конструктивным признакам и исполнениям

4.1. Применяемые выключатели могут отличаться по указанным ниже конструктивным признакам и исполнениям.

4.1.1. По роду установки в соответствии с ГОСТ 15150:

- в помещениях (категории размещения 2, 3, 4);
- на открытом воздухе (категория размещения 1, 2);
- в металлических оболочках комплектных распределительных устройств (КРУ), устанавливаемых в помещениях (категорий размещения 2, 3, 4) и на открытом воздухе (категория размещения 1, 2).

4.1.2. По конструктивной связи между полюсами:

- трехполюсное исполнение:
 - а) с тремя полюсами в общем кожухе;
 - б) с тремя полюсами на общем основании (фиксированное междуполюсное расстояние);
- однополюсное исполнение - с полюсами на отдельных основаниях (нефиксированное междуполюсное расстояние).

4.1.3. По функциональной связи между полюсами:

- с функционально независимыми полюсами (на каждый полюс отдельный привод, отдельный дутьевой клапан);
- с функционально зависимыми полюсами (на три полюса общий привод, общий дутьевой клапан).

4.1.4. По виду дугогасительных устройств:

- с дугогасительными устройствами, расположенными:
 - а) в заземленном корпусе (баке) – баковые выключатели;
 - б) в корпусе (баке), находящемся под напряжением, колонковые выключатели.

4.1.5. По виду привода в зависимости от рода энергии, используемой в процессе оперирования:

- зависимого действия – с электромагнитным, электродвигательным, непосредственно использующим электрическую энергию постоянного, переменного или выпрямленного тока;
- независимого действия – с пневматическим, пружинным или гидравлическим, использующим предварительно запасенную потенциальную энергию сжатого газа, жидкости или пружины.

4.1.6. По характеру конструктивной связи с приводом:

- с отдельным приводом, связанным с выключателем (или его отдельным полюсом) механической передачей;
- со встроенным приводом, являющимся неотъемлемой, конструктивно не выделенной, частью выключателя или его полюса.

4.1.7. По виду дугогасительной среды:

- элегазовые, с чистым элегазом или газовыми смесями, включающими кроме элегаза, хладон или азот;
- вакуумные;
- воздушные;
- масляные.

4.1.8. По наличию или отсутствию в дугогасительном устройстве шунтирующих резисторов:

- с резисторами:
 - а) действующими только в процессе отключения;
 - б) действующими только в процессе включения;
 - в) двухстороннего действия, действующими как в процессе отключения, так и в процессе включения;
- без резисторов.

4.1.9. По наличию или отсутствию шунтирующих конденсаторов:

- с конденсаторами;
- без конденсаторов.

4.1.10. По пригодности для работы при автоматическом повторном включении (АПВ):

- предназначенные;
- не предназначенные.

4.1.11. По пригодности выключателя для коммутации конденсаторных батарей:

- предназначенные;
- не предназначенные.

4.1.12. По пригодности для коммутации токов шунтирующих реакторов:

- предназначенные;
- не предназначенные.

4.2. Выбор выключателя по основным конструктивным признакам и исполнениям осуществляется, исходя из компоновки энергообъекта, применяемой схемы управления, условий установки.

4.3. Рекомендации по применению элегазовых баковых и колонковых выключателей на номинальное напряжение 110 кВ и выше приведены в Приложении А.

5 Основные (номинальные) параметры выключателя

К номинальным параметрам выключателя относятся:
номинальное напряжение
номинальный ток
номинальный ток отключения

$U_{\text{НОМ}}$
 $I_{\text{НОМ}}$
 $I_{\text{о, НОМ}}$

Примечание – Указывается только для выключателей
номинальное напряжение цепей управления и
вспомогательных цепей привода, В
номинальное (избыточное) давление сжатого воздуха
для пневматического привода, МПа

$U_{\text{п, НОМ}}$
 $P_{\text{НОМ}}$

Значения номинальных параметров коммутационного оборудования выбирают из ряда стандартных значений, приведенных в таблице 1.

Стандартные значения номинальных параметров коммутационного оборудования по ГОСТ Р 52565

Таблица 1

Параметр	Значение параметра
$U_{\text{НОМ}}/U_{\text{н.р.}}$, кВ	3/3,6; 6/7,2; 10/12; 15/17,5; 20/24; 24*/26,5; 27*/30; 35/40,5; 110/126; 150/172; 220/252; 330/363; 500/525; 750/787
$I_{\text{НОМ}}$, А	200; 400; 630; 800; 1000; 1250; 1600; 2000; 2500; 3150; 4000; 5000; 6300; 8000; 10000; 12500; 16000; 20000; 25000; 31500
$I_{\text{о, НОМ}}$, кА	2,5; 3,2; 4; 5; 6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250
$U_{\text{п, НОМ}}$, В	Для постоянного тока - 24; 48; 110; 220 Для переменного тока (однофазного и трехфазного) частоты 50 Гц – 100; 120; 230; 400
$P_{\text{НОМ}}$, МПа (кгс/см ²)	0,5(5); 1,0(10); 1,6(16); 2,0(20); 2,6(26); 3,0(30); 4,0(40)
* Только для выключателей, предназначенных для цепей генераторов. ** Номинальное вторичное напряжение трансформатора напряжения, используемого для питания вспомогательных цепей выключателя (привода). Примечания: 1 $U_{\text{н.р}}$ - наибольшее рабочее напряжение оборудования, соответствующее номинальному напряжению, $U_{\text{НОМ}}$. 2 Давление сжатого газа для выключателей с индивидуальной компрессорной установкой и пневмогидравлических приводов не нормируется. 3 Для включающих электромагнитов и электродвигателей приводов зависимого действия номинальные напряжения 24 и 48 В постоянного тока и 100 В переменного тока не применяются. 4 Номинальные напряжения вспомогательных цепей могут отличаться от номинального напряжения цепей управления и электродвигателей приводов зависимого действия.	

6 Выбор параметров и характеристик выключателя, удовлетворяющих требованиям нормального режима работы сети

6.1. Номинальное напряжение и координация изоляции

6.1.1. Номинальное напряжение выключателя должно соответствовать номинальному напряжению электрической сети в соответствии с разделом 5¹ настоящего стандарта.

6.1.2. Испытательные напряжения выключателя:

- напряжение грозового импульса;
- напряжение коммутационного импульса;
- кратковременное переменное напряжение

должны соответствовать нормированным испытательным напряжениям электрооборудования для выбранного класса напряжения в соответствии с ГОСТ 1516.3.

6.1.3. Испытательные напряжения изоляции выключателей в сухом состоянии проверяются для всех категорий размещения по ГОСТ 15150.

6.1.4. Испытательные напряжения изоляции выключателей под дождем проверяются только для категории размещения 1 по ГОСТ 15150.

6.1.5. Если уровень возможных перенапряжений в сети превышает нормированные испытательные напряжения изоляции, то для координации изоляции возможны следующие меры:

- применение специальных выключателей с повышенным уровнем изоляции;
- применение устройств, позволяющих снизить уровень перенапряжений, например, R-C цепочек, ограничители перенапряжений (ОПН);
- применение устройств синхронизированного отключения выключателя.

Выбор мер по ограничению перенапряжений должен быть согласован с предприятием изготовителем.

6.2. Номинальный ток

6.2.1. Номинальный ток выключателя должен выбираться из ряда значений, приведенных в таблице 1.

6.2.2. Если ток через выключатель в условиях эксплуатации может в отдельные промежутки времени превышать значение номинального тока выключателя, то применение выключателя допускается только при согласовании с предприятием-изготовителем.

6.3. Климатическое исполнение

6.3.1 В отношении стойкости к воздействию климатических факторов внешней среды выключатели должны соответствовать требованиям ГОСТ 15150 с учетом следующих положений:

¹ Для выключателя напряжением свыше 750 кВ номинальное напряжение выбирается в соответствии с техническими требованиями.

а) Для выключателей, устанавливаемых в открытых распределительных устройствах, нижнее рабочее значение температуры должно быть не менее среднего значения из ежегодных абсолютно минимальных температур воздуха для конкретной территории расположения распределительного устройства.

б) Для выключателей категорий размещения 1, 2, 3 по ГОСТ 15150, расположенных в умеренном (У) макроклиматическом районе при эпизодически появляющихся температурах ниже минус 40⁰С, нижнее рабочее значение температуры допускается в технически обоснованных случаях принимать равным минус 40⁰С.

в) Выключатели с нижним рабочим значением температуры минус 55⁰С допускается применять в умеренном макроклиматическом районе (У) и узком диапазоне холодного макроклиматического района (ХЛ) для территорий со значением средней из ежегодных абсолютных минимумов температуры воздуха минус 55⁰С и выше, т.е. во всем диапазоне типа климата (Хл) и частично для территории с типом климата (ЭХл) до средней температуры из ежегодных абсолютных минимумов минус 55⁰С.

6.3.2. Для выключателей климатического исполнения У, категории размещения 3 нижнее значение температуры воздуха при эксплуатации следует принимать равным минус 25⁰С. По согласованию с заказчиком допускается устанавливать нижнее значение температуры воздуха при эксплуатации равным минус 5⁰С.

6.3.3. Возможность установки выключателей в неблагоприятных атмосферных условиях при наличии дыма, химических газов, распыленных паров и т.д. должна согласовываться с предприятием-изготовителем.

6.3.4. Выключатели категории размещения 1 должны нормально работать в условиях гололеда при толщине корки льда до 20 мм и ветре скоростью до 15 м/с, а при отсутствии гололеда - при ветре со скоростью до 40 м/с.

В случае превышения указанных параметров возможность установки и дальнейшей эксплуатации выключателя должна согласовываться с предприятием-изготовителем.

6.4. Высота установки над уровнем моря

6.4.1. Выключатели должны быть предназначены для работы на высоте над уровнем моря не более 1000 м.

6.4.2. Для элегазовых выключателей, устанавливаемых на высоте над уровнем моря от 1000 до 3500 м, избыточное давление заполнения газом должно определяться с учетом снижения атмосферного давления на указанной высоте.

6.4.3. Для выключателей, устанавливаемых на высоте над уровнем моря от 1000 до 3500 м, испытательные напряжения изоляции должны определяться по ГОСТ 1516.3, раздел 4.3.

7 Выбор параметров и характеристик выключателя, удовлетворяющих требованиям аварийного режима сети

7.1. Выбор номинального тока отключения

7.1.1. Номинальный ток отключения выбирается из ряда номинальных значений, приведенного в таблице 1, по наибольшему возможному эффективному значению периодической составляющей тока короткого замыкания в месте установки выключателя в момент размыкания его контактов, который рассчитывается в соответствии с рекомендациями ГОСТ Р 52735.

7.1.2. После выбора номинального тока отключения следует проверить относительное содержание апериодической составляющей в токе короткого замыкания (β) в процентах в момент размыкания контактов выключателя. Метод определения апериодической составляющей тока приведен на рисунке 1. Относительное содержание апериодической составляющей в токе короткого замыкания в месте установки выключателя в процентах в момент размыкания контактов выключателя не должно превышать значение, нормированное для выключателя конкретного типа.

7.1.3. Относительное содержание апериодической составляющей зависит от промежутка времени от начала короткого замыкания до размыкания контактов и постоянной времени затухания тока в цепи.

7.1.3.1. Время от начала короткого замыкания до размыкания контактов определяется суммированием двух значений времени: минимального значения собственного времени отключения выключателя и минимальным значением времени срабатывания релейной защиты.

7.1.3.2. Расчет по определению постоянной времени затухания апериодической составляющей тока в сети приведены в ГОСТ Р 52735.

Постоянная времени цепи может быть также определена при известных коэффициенте мощности цепи и частоте. Для частоты 50 Гц соотношение между коэффициентом мощности и постоянной времени цепи дано в таблице 2.

Соотношение между коэффициентом мощности постоянной времени цепи

Таблица 2

Коэффициент мощности $\cos\varphi$	Постоянная времени τ , мс
0.071	45
0.053	60
0.042	75
0.026	120

7.1.3.3. Если постоянная времени затухания тока в цепи менее 45 мс ($\cos\varphi$ более 0.071), то относительное содержание апериодической составляющей можно не проверять.

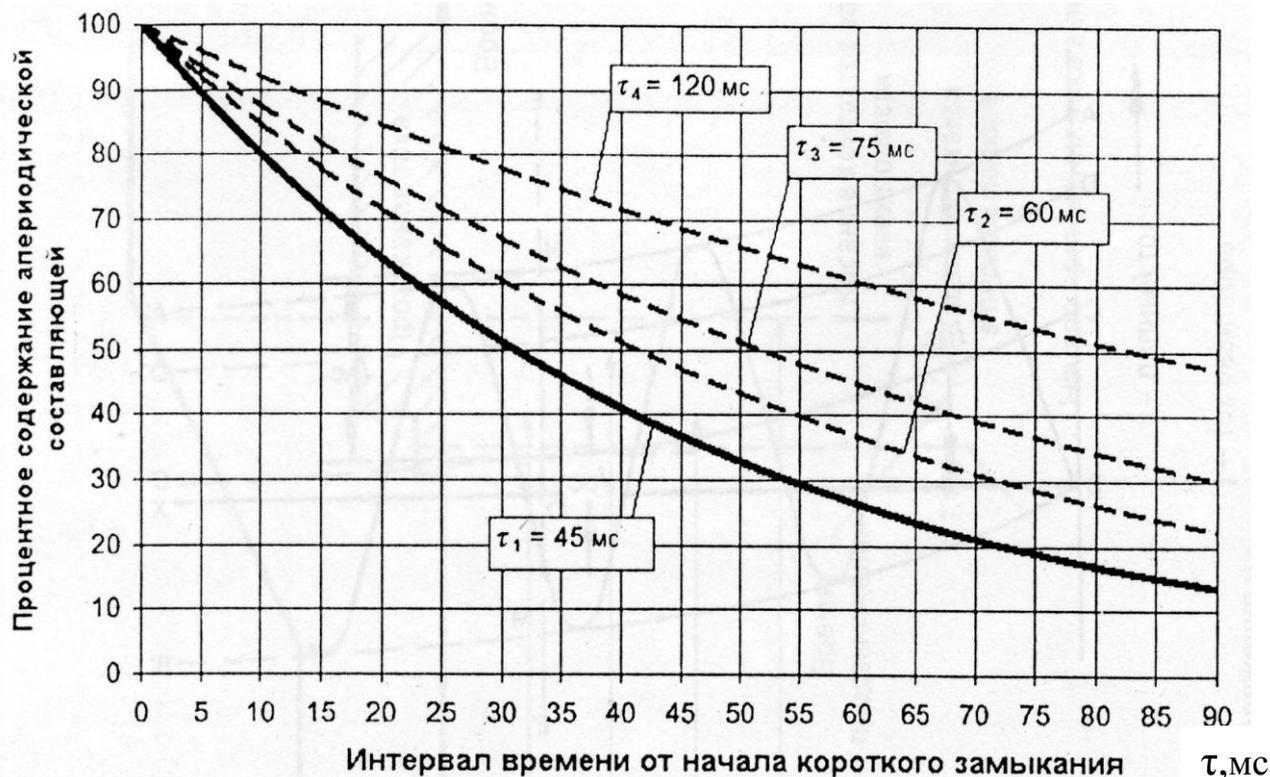


Рисунок 2. Процентное содержание апериодической составляющей в зависимости от интервала времени для стандартной постоянной времени τ_1 и для специальных случаев постоянных времени τ_2 , τ_3 и τ_4 .

7.1.3.5. В некоторых случаях содержание апериодической составляющей может превышать значение, нормированное предприятием-изготовителем. Такое превышение может иметь место при расположении выключателя вблизи источников генерирования электроэнергии и в ряде других случаев.

В таких случаях допускается:

- применять выключатель при большем значении β по согласованию с предприятием изготовителем;
- принимать минимальное время срабатывания релейной защиты более нормированного в ГОСТ Р 52565 времени 10 мс;
- применять подключение дополнительных демпфирующих устройств (резистор) для увеличения постоянной времени затухания тока.

7.2. Выбор параметров переходного восстанавливающегося напряжения (ПВН) выключателя

7.2.1. При выборе или проверке выключателя в отношении способности его отключать токи короткого замыкания должно проводиться сопоставление кривых собственного ПВН, нормированных или гарантируемых для данного типа выключателя, и имеющих место при отключении токов короткого замыкания в конкретной точке сети. Собственное ПВН определяется только параметрами коммутируемой цепи при отключении тока без апериодической составляющей «идеальным выключателем» у которого полное сопротивление

между размыкаемыми контактами при «естественном» переходе через нуль мгновенно изменяется от нуля до бесконечности.

7.2.2. Нормированные характеристики ПВН задаются условной граничной линией, определяемой:

а) двумя параметрами - u_c , t_3 , а также координатами линии запаздывания u' и t_d в соответствии с рисунком 3 или

б) четырьмя параметрами - u_1 , u_c , t_1 , t_2 , а также координатами линии запаздывания u' и t_d в соответствии с рисунком 4.

Параметры u_1 и u_c определяются соотношениями:

$$\begin{aligned} u_1 &= \sqrt{2} U_{\text{вп}} - \text{для выключателей с } U_{\text{ном}} \leq 35 \text{ кВ,} \\ u_1 &= 0,75 \sqrt{2} U_{\text{вп}} - \text{для выключателей с } U_{\text{ном}} \geq 110 \text{ кВ,} \\ u_c &= K_a \sqrt{2} U_{\text{вп}}, \\ U_{\text{вп}} &= K_{\text{п.г}} U_{\text{н.р}} / \sqrt{3}, \end{aligned} \quad (1)$$

где $U_{\text{вп}}$ - полюсное возвращающееся напряжение;

$K_{\text{п.г}}$ - коэффициент первого гасящего полюса (при трехфазном коротком замыкании);

K_a - коэффициент превышения амплитуды.

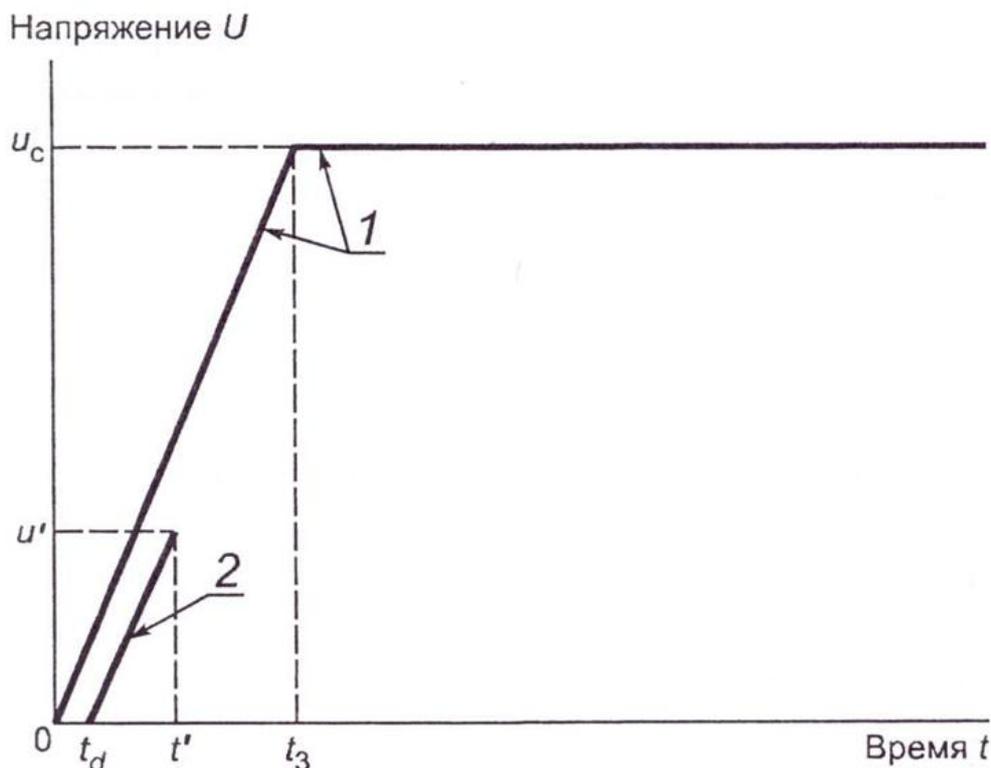
Для выключателей с $U_{\text{ном}} \leq 35$ кВ $K_{\text{п.г}} = 1,5$; для выключателей с $U_{\text{ном}} \geq 110$ кВ $K_{\text{п.г}} = 1,3$.

Значения K_a , составляющие от 1,4 до 1,54, приведены в таблицах 3 - 10.

7.2.3. Выключатель должен отключать токи вплоть до нормированного при условии, что ПВН в месте установки выключателя:

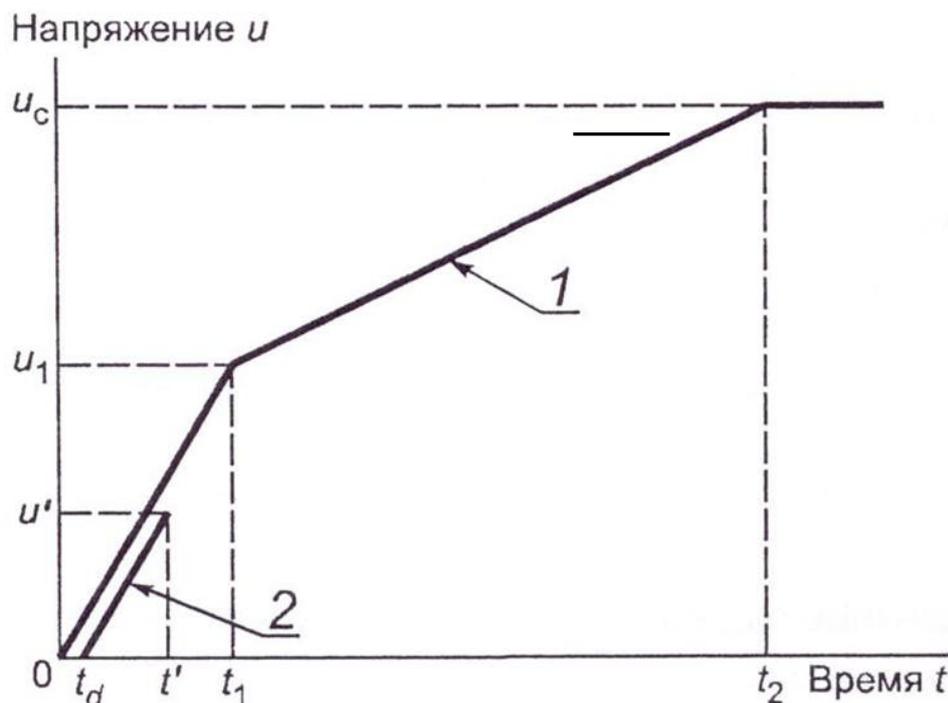
а) не выходит за пределы (не проходит выше) условной граничной линии;

б) пересекает один раз линию запаздывания и вторично ее не пересекает.



1 – условная граничная линия ПВН; 2 – линия запаздывания ПВН (параллельная граничной линии)

Рисунок 3. Нормированные характеристики ПВН, определяемого двумя параметрами



1 – условная граничная линия ПВН; 2 – линия запаздывания ПВН (параллельная граничной линии)

Рисунок 4. Нормированные характеристики ПВН, определяемого четырьмя параметрами

7.2.4. Нормированные характеристики ПВН при отключении токов короткого замыкания, приведенные в таблицах 3 - 10, соответствуют условиям работы первого гасящего полюса при отключении трехфазного короткого замыкания.

Нормированные характеристики ПВН для выключателей с номинальным напряжением от 3 до 35 кВ при отключении тока $I_{от} = I_{о, ном}$. Условная граничная линия задана двумя параметрами $K_{п.г} = 1,5$, $K_a = 1,4$

Таблица 3

$U_{ном}/U_{н.р.}$, кВ	u_c , кВ	t_3 , мкс	t_d , мкс	u' , кВ	t' , мкс	$S=u_c/t_3$, кВ/мкс
3/3,6	6,2	41	6	2,1	20	0,15
6/7,2	12,3	51	8	4,1	25	0,24
10/12	20,6	61	9	6,9	29	0,34
15/17,5	30	71	11	10	35	0,42
20/24	41	87	13	14	43	0,47

35/40,5	69,4	122	18	23,1	59	0,57
---------	------	-----	----	------	----	------

$$u_c = 1,4 \cdot 1,5 \cdot \sqrt{2/3} \cdot U_{н.р}; \quad t_d = 0,15t_3; \quad u' = 1/3u_c$$

Нормированные характеристики ПВН для выключателей с номинальным напряжением от 3 до 35 кВ при отключении тока $I_{о.н} = 0,6 I_{о, ном}$.
Условная граничная линия задана двумя параметрами $K_{п.г} = 1,5$, $K_a = 1,5$.

Таблица 4

$U_{ном}/U_{н.р}$, кВ	u_c , кВ	t_3 , мкс	t_d , мкс	u' , кВ	t' , мкс	$S = u_c/t_3$, кВ/мкс
3/3,6	6,6	17	3	2,2	9	0,39
6/7,2	13	22	3	4,4	11	0,60
10/12	22	26	4	7,3	13	0,85
15/17,5	32	31	5	11	16	1,04
20/24	44	38	6	15	18	1,16
35/40,5	74	52	8	25	25	1,44

$$u_c = 1,5 \cdot 1,5 \cdot \sqrt{2/3} \cdot U_{н.р}; \quad t_d = 0,15t_3; \quad u' = 1/3u_c$$

Нормированные характеристики ПВН для выключателей с номинальным напряжением от 3 до 35 кВ при отключении тока $I_{о.н} = 0,3 I_{о, ном}$. Условная граничная линия задана двумя параметрами $K_{п.г} = 1,5$, $K_a = 1,5$.

Таблица 5

$U_{ном}/U_{н.р}$, кВ	u_c , кВ	t_3 , мкс	t_d , мкс	u' , кВ	t' , мкс	$S = u_c/t_3$, кВ/мкс
3/3,6	6,6	9	1	2,2	4	0,77
6/7,2	13	11	2	4,4	6	1,20
10/12	22	13	2	7,3	6	1,70
15/17,5	32	15	2	11	7	2,14
20/24	44	19	3	15	9	2,32
35/40,5	74	26	4	25	13	2,88

$$u_c = 1,5 \cdot 1,5 \cdot \sqrt{2/3} \cdot U_{н.р}; \quad t_d = 0,15t_3; \quad u' = 1/3u_c$$

Нормированные характеристики ПВН для выключателей с номинальным напряжением от 3 до 35 кВ при отключении тока $I_{о.н} = 0,1 I_{о, ном}$. Условная граничная линия задана двумя параметрами $K_{п.г} = 1,5$, $K_a = 1,5$.

Таблица 6

$U_{ном}/U_{н.р}$, кВ	u_c , кВ	t_3 , мкс	t_d , мкс	u' , кВ	t' , мкс	$S = u_c/t_3$, кВ/мкс
3/3,6	6,6	9	1	2,2	4	0,77
6/7,2	13	11	2	4,4	6	1,20
10/12	22	13	2	7,3	6	1,70
15/17,5	32	15	2	11	7	2,14
20/24	44	19	3	15	9	2,32
35/40,5	74	26	4	25	13	2,88

$$u_c = 1,5 \cdot 1,5 \cdot \sqrt{2/3} \cdot U_{н.р}; \quad t_d = 0,15t_3; \quad u' = 1/3u_c$$

Нормированные характеристики ПВН для выключателей с номинальным напряжением 110 - 750 кВ при отключении тока $I_{0,н} = I_0$, ном. Условная граничная линия задана четырьмя параметрами $K_{п.г} = 1,3$, $K_a = 1,4$.

Таблица 7

$U_{ном}/U_{н.р.}$ кВ	u_1 , кВ	t_1 , мкс	u_c , кВ	t_2 , мкс	t_d , мкс	u' , кВ	t' , мкс	$S = u_1/t_1$, кВ/мкс
110/126	100	50	187	200	2(14)	50	От 27 до 39	2,0
150/172	137	68	255	272	2(19)	68	От 36 до 53	2,0
220/252	200	100	374	400	2(28)	100	От 52 до 78	2,0
330/363	289	144	538	576	2(40)	144	От 74 до 112	2,0
500/525	417	209	779	836	2(59)	209	От 107 до 166	2,0
750/787	626	313	1167	1242	2(88)	313	От 158 до 245	2,0
$u_1 = 0,75 \cdot 1,3 \cdot \sqrt{2/3} \cdot U_{н.р.}$; $u_c = 1,4 \cdot 1,3 \cdot \sqrt{2/3} \cdot U_{н.р.}$, $t_2 = 4 t_1$; $u' = 1/2 \cdot u_1$.								
Примечание. Нормированное значение $t_d - 2$ мкс; при испытаниях значение t_d может быть увеличено до значения, указанного в скобках, если выключатель испытывают в режиме отключения тока не удаленного короткого замыкания.								

Нормированные характеристики ПВН для выключателей с номинальным напряжением от 110 до 750 кВ при отключении тока $I_{0,н} = 0,6 I_0$, ном. Условная граничная линия задана четырьмя параметрами $K_{п.г} = 1,3$, $K_a = 1,5$

Таблица 8

$U_{ном}/U_{н.р.}$ кВ	u_1 , кВ	t_1 , мкс	u_c , кВ	t_2 , мкс	t_d , мкс	u' , кВ	t' , мкс	$S = u_1/t_1$, кВ/мкс
110/126	100	33	200	198	От 2 до 10	50	От 19 до 27	3,0
150/172	137	46	273	276	От 2 до 14	68	От 25 до 36	3,0
220/252	200	67	400	402	От 2 до 20	100	От 35 до 53	3,0
330/363	289	96	577	576	От 2 до 29	144	От 50 до 77	3,0
500/525	417	139	834	834	От 2 до 42	209	От 72 до 112	3,0
750/787	626	209	1251	1254	От 2 до 63	312	От 106 до 166	3,0
$u_1 = 0,75 \cdot 1,3 \cdot \sqrt{2/3} \cdot U_{н.р.}$; $u_c = 1,5 \cdot 1,3 \cdot \sqrt{2/3} \cdot U_{н.р.}$, $t_2 = 6t_1$; $2 \text{ мкс} \leq t_d \leq 0,3t_1$; $u' = 1/2 u_1$.								

Нормированные характеристики ПВН для выключателей с номинальным напряжением от 110 до 750 кВ при отключении тока $I_{0,н} = 0,3 I_0$

$I_{0,ном}$. Условная граничная линия задана двумя параметрами $K_{п.г} = 1,3$, $K_{п.г} = 1,54$

Таблица 9

$U_{ном}/U_{н.р}$, кВ	u_c , кВ	t_3 , мкс	t_d , мкс	u' , кВ	t' , мкс	$S = u_c/t_3$, кВ/мкс
110/126	206	41	6	69	20	5,0
150/172	281	56	8	94	27	5,0
220/252	411	82	12	137	39	5,0
330/363	592	118	18	197	57	5,0
500/525	857	171	26	286	83	5,0
750/787	1284	257	39	428	125	5,0
$u_c = 1,54 \cdot 1,3 \cdot \sqrt{2/3} \cdot U_{н.р}$, $t_d = 0,15t_3$; $u' = 1/3u_c$.						

Нормированные характеристики ПВН для выключателей с номинальным напряжением от 110 до 750 кВ при отключении тока $I_{0,н} = 0,1 I_{0,ном}$. Условная граничная линия задана двумя параметрами $K_{п.г} = 1,3$, $K_a = 1,54$

Таблица 10

$U_{ном}/U_{н.р}$, кВ	u_c , кВ	t_3 , мкс	t_d , мкс	u' , кВ	t' , мкс	$S = u_c/t_3$, кВ/мкс
110/126	206	29	4	69	14	7,0
150/172	281	40	6	94	19	7,0
220/252	411	59	9	137	29	7,0
330/363	592	85	13	197	41	7,0
500/525	857	122	18	286	59	7,0
750/787	1284	183	27	428	88	7,0
$u_c = 1,54 \cdot 1,3 \cdot \sqrt{2/3} \cdot U_{н.р}$, $t_d = 0,15t_3$; $u' = 1/3u_c$.						

7.2.5. Для выключателей с номинальным напряжением 35 кВ и ниже характеристики ПВН даны для систем с изолированной нейтралью, в которых коэффициент отключения первого полюса принимается равным 1.5.

Для выключателей с номинальным напряжением 110 кВ и выше характеристики ПВН даны для систем с заземленной нейтралью, в которых коэффициент отключения первого полюса принимается равным 1.3.

Выбор коэффициента первого полюса равного 1.3 основан на предположении, что в системе с заземленной нейтралью трехфазные короткие замыкания без земли рассматриваются как невероятные события. Если для системы с заземленной нейтралью нельзя пренебречь трехфазным коротким замыканием без земли или выключатель будет применяться в системе с изолированной или резонансно заземленной нейтралью, то может быть необходимым использовать коэффициент первого полюса 1.5.

7.2.6. Предприятие-изготовитель, на основании результатов соответствующих испытаний на коммутационную способность, может гарантировать работоспособность выключателя при характеристиках ПВН сети, превышающих нормированные ГОСТ Р 52565. В этом случае характеристики ПВН должны быть указаны в технической документации предприятия-изготовителя.

7.2.7. В некоторых точках сети возможно превышение условной граничной линии, в частности при установке выключателя в цепи генератора или непосредственно за мощным трансформатором (автотрансформатором), при отсутствии существенной емкости присоединений. Если при этом не выполняются условия пунктов 7.2.3 и 7.2.4, то возможность применения выключателя в данной цепи должна быть согласована с предприятием-изготовителем.

7.2.8. Определение формы кривой собственного ПВН в точке сети может проводиться одним из указанных ниже методов с учетом конкретных условий:

а) расчет по параметрам основных элементов схемы сети и построение кривой ПВН;

б) моделирование схемы сети со снятием осциллограммы процесса восстановления напряжения;

в) отключение выключателем с возможно низкими искажающими собственное ПВН факторами импульса малого тока со снятием осциллограммы ПВН;

г) использование результатов определения ПВН для аналогичных или близких по структуре схем, в которых получены параметры ПВН, существенно более низкие, чем нормированные.

Достоинства и недостатки каждого из указанных методов определения ПВН в сети приводятся в Приложении Б.

7.2.9. Требования к характеристикам ПВН для выключателей, предназначенных для прямого присоединения к воздушным линиям с $U_{\text{ном}} \geq 110$ кВ и $I_{\text{о, ном}} > 12,5$ кА, при условии отключения однофазных неудаленных коротких замыканий, определяются нормируемыми параметрами линии: волновым сопротивлением $z = 450$ Ом, коэффициентом пика $K_{\text{п.л}} = 1,6$ и временем задержки $t_{\text{дл}}$, равным 0,2 мкс - для выключателей на $U_{\text{ном}} \leq 150$ кВ и 0,5 мкс - для выключателей на $U_{\text{ном}} \geq 220$ кВ.

В исключительных случаях, когда эти условия не удовлетворяются, следует совместно с предприятием-изготовителем рассмотреть возможность установки выключателя с большим номинальным током отключения.

Для отдельных типов выключателей на номинальные напряжения 330 кВ и более допускается по согласованию с заказчиком нормировать значения z и $K_{\text{п.л}}$ меньшими, чем указано выше, например в случае, если в конструкции линии электропередачи предусмотрены мероприятия, уменьшающие эффект сближения проводов при коротком замыкании.

7.2.10. Для выключателей с $U_{\text{ном}} \geq 110$ кВ и $I_{\text{о, ном}} \geq 25$ кА дополнительно нормируется начальная часть ПВН (начальное ПВН - НПВН). НПВН

определяется параметрами f_I и t_I , характеризующими ее граничную линию, в соответствии с рисунком 5 и таблицей 11.

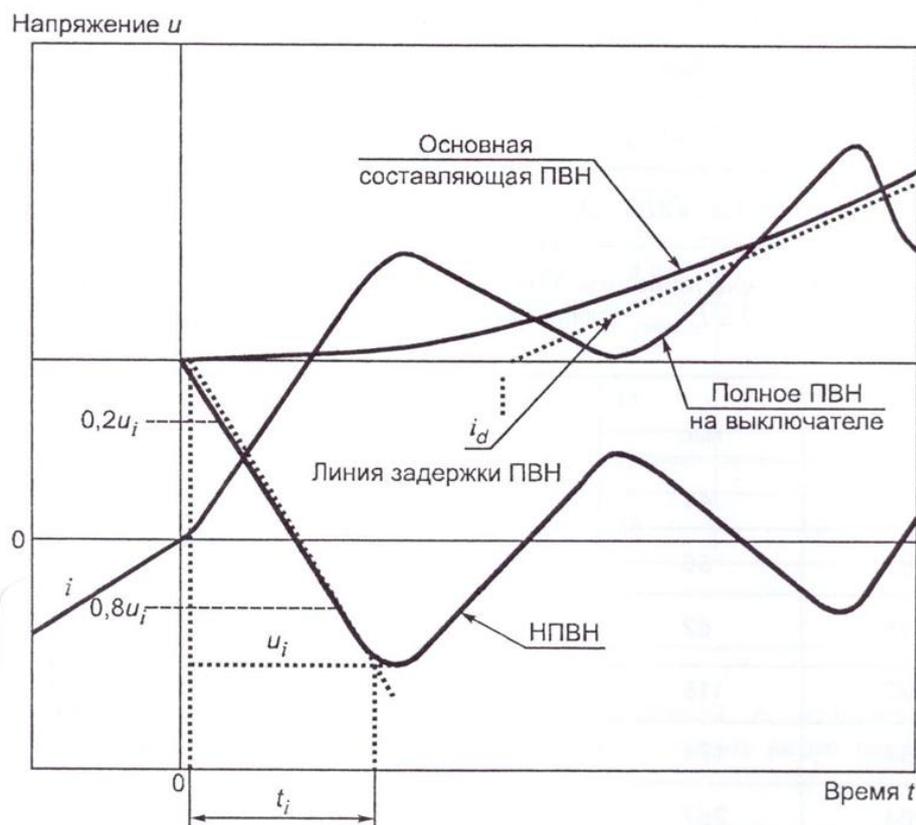


Рисунок 5. Начальная часть переходного восстанавливающегося напряжения (НПВН)

Нормированные значения НПВН

Таблица 11

$U_{\text{ном}}/U_{\text{н.р.}}$, кВ	Коэффициент f_I , кВ/кА	Координата времени t_I , мкс
110/126	0,046	0,4
150/172	0,058	0,5
220/252	0,069	0,6
330/362	0,092	0,8
500/525	0,116	1,0
750/787	0,159	1,1

Пик НПВН определяют умножением коэффициента f_I на действующее значение тока отключения.

Требования к НПВН не распространяются на выключатели, являющиеся составной частью КРУЭ.

7.3. Выбор выключателя по условию отключения тока в режиме рассогласования фаз

7.3.1 Выключатели на $U_{\text{ном}} \geq 110$ кВ в подавляющем большинстве случаев удовлетворяют требованиям отключения тока менее $0,25 I_{0, \text{ном}}$ в режиме рассогласования фаз без необходимости дополнительной проверки.

Форма нормированной кривой ПВН должна соответствовать приведенной на рисунке 3. Нормированные значения параметров ПВН приведены в таблице 12.

В отдельных случаях может потребоваться проверка способности выключателя обеспечить надежное отключение тока в режиме рассогласования фаз. К таким случаям могут быть отнесены установка выключателя в точках сети, где отключение тока в режиме рассогласования фаз выполняется по условию работы часто, а значения тока и ПВН выше нормированных для данного режима. Высокие значения ПВН в частности могут быть получены для выключателя, установленного в цепи трансформатора.

Нормированные характеристики ПВН при отключении тока в режиме рассогласования фаз. Условная граничная линия задана четырьмя параметрами $K_{\text{п.г}} = 2,0$, $K_{\text{а}} = 1,25$

Таблица 12

$U_{\text{ном}}/U_{\text{н.р}}$, кВ	u_1 , кВ	t_1 , мкс	u_c , кВ	t_2 , мкс	t_d , мкс	u' , кВ	t' , мкс	$S =$ u_1/t_1 , кВ/мкс
110/126	154	100	257	От 200 до 400	От 2 до 10	77	От 52 до 60	1,54
150/172	210	136	350	От 272 до 544	От 2 до 14	105	От 70 до 82	1,54
220/252	308	200	513	От 400 до 800	От 2 до 20	154	От 102 до 120	1,54
330/363	444	288	740	От 576 до 1152	От 2 до 29	222	От 146 до 173	1,54
500/525	642	417	1070	От 836 до 1672	От 2 до 42	21	От 210 до 250	1,54
750/787	962	625	1604	От 1242 до 2484	От 2 до 62	481	От 314 до 374	1,54
$u_1 = 0,75 \cdot 2,0 \cdot \sqrt{2/3} U_{\text{н.р}}$; $u_c = 1,25 \cdot 2,0 \cdot \sqrt{2/3} U_{\text{н.р}}$; $2 \text{ мкс} \leq t_d \leq 0,1 t_1$; $u' = 1/2 \cdot u_1$								

7.3.2. Если значения тока или ПВН в условиях рассогласования фаз превышают нормированные для данного выключателя, то возможность его применения должна быть согласована с предприятием-изготовителем.

Для облегчения коммутации тока в режиме рассогласования фаз возможно применение релейных схем, обеспечивающих отключение выключателя в интервалы времени до и после момента сдвига векторов напряжения с разных сторон выключателя на фазный угол, существенно меньший 180° .

7.4. Выбор выключателя по нормированному значению тока включения при коротком замыкании

7.4.1. Нормированное значение тока выключателя при включении на короткое замыкание должно быть не меньше, чем наибольший возможный пик тока, ожидаемый в месте установки. Пик тока зависит от частоты и постоянной времени затухания цепи. При частоте 50 Гц и постоянной времени затухания $\tau = 45$ мс пик тока должен быть приблизительно в 2.5 раза ($1.8\sqrt{2}$) больше номинального тока отключения выключателя.

7.4.2. В специальных случаях постоянной времени затухания цепи (60, 75 или 120 мс), см. п. 7.1.3.4, пик тока включения приблизительно в 2.7 раза больше номинального тока отключения выключателя. Выбор выключателя по условию включения на ток короткого замыкания в этих случаях должен согласовываться с предприятием изготовителем.

7.4.3. В отдельных случаях, например при близком расположении к выключателю двигателей, максимальный пик тока короткого замыкания может быть больше, чем рассчитанный по эффективному значению периодической составляющей тока и приведенным в пп. 7.4.1, 7.4.2 коэффициентам. При этом выключатель следует выбирать по току включения.

7.5. Выбор выключателей по нормированному циклу операций

7.5.1. Выполняемая выключателем последовательность коммутационных операций с заданными интервалами между ними – указывается предприятием-изготовителем в соответствии со следующими нормированными коммутационными циклами:

а) для выключателей, предназначенных для работы при АПВ, - коммутационные циклы - это:

цикл 1: О - $t_{бт}$ – ВО - 180 с - ВО;

цикл 2: О - 180 с - ВО - 180 с - ВО,

где О - операция отключения тока короткого замыкания вплоть до равного $I_{о, ном}$;

ВО - операция включения на ток короткого замыкания вплоть до равного $I_{в.н}$ и незамедлительно (без преднамеренной выдержки времени) следующая за ней операция отключения,

$t_{бт}$ - нормированная бестоковая пауза при АПВ, значение которой может находиться в пределах от 0,3 до 1,2 с, причем для выключателей, предназначенных для работы при быстродействующем АПВ (БАПВ), это значение принимается равным 0,3 с;

б) для выключателей, не предназначенных для работы при АПВ, - только цикл 2;

в) выключатели на $U_{ном} \leq 220$ кВ, предназначенные для работы при АПВ, кроме нормированных коммутационных циклов 1 и 2, должны также выполнять цикл

О - $t_{бт}$ - ВО - 20 с - ВО (цикл 1а).

7.5.2. Если для цикла операций предприятие-изготовитель нормирует ток, который меньше номинального тока отключения, то значение тока должно быть указано в инструкции по эксплуатации на выключатель.

7.6. Требования к стойкости при сквозных токах короткого замыкания

7.6.1. Выключатель во включенном положении должен выдерживать электродинамическое и термическое воздействие сквозных токов короткого замыкания с параметрами, вплоть до следующих нормированных значений:

а) наибольший пик (ток электродинамической стойкости) $I_{д}$, значение которого должно быть не менее $2,5I_{о, ном}$;

б) среднеквадратичное значение тока за время его протекания (ток термической стойкости) $I_{т}$, значение которого должно быть не менее $I_{о, ном}$;

в) время протекания тока (время короткого замыкания) $t_{к.з.}$, которое рекомендуется выбирать из ряда: 1, 2 или 3 с.

П р и м е ч а н и я

1. Для выключателей со встроенными в привод максимальными расцепителями тока $t_{к.з.}$ равно полному времени отключения при максимальной уставке по времени срабатывания в условиях нормированного коммутационного цикла.

2. Допускается использовать выключатели при времени короткого замыкания t , превышающем $t_{к.з.}$, и при уменьшенном по сравнению с $I_{т}$ значении тока I_t , определяемом по формуле

$$I_t = I_{т} \sqrt{t_{к.з.} / t} \quad (2)$$

Значение I_t принимают равным $I_{т}$ при $t < t_{к.з.}$.

8 Выбор параметров и характеристик выключателей, устанавливаемых в цепи конденсаторной батареи

8.1 Для коммутации конденсаторных батарей могут применяться выключатели, возможность использования которых в этом режиме указана в технических условиях или другой технической документации предприятия-изготовителя.

8.2. Ток конденсаторной батареи должен быть не более нормированного предприятием-изготовителем для устанавливаемого выключателя.

8.3. Выключатель должен быть испытан в соответствии требованиями ГОСТ Р 52565 раздел 9.7 «Испытание на коммутационную способность при емкостных токах». Применение выключателей при токе, превышающем значение тока, при котором проводились испытания на отключение конденсаторной батареи, допускается при представлении предприятием-изготовителем соответствующего обоснования.

8.4. Рекомендуется применение выключателей с очень низкой вероятностью повторных пробоев (класс С2) при отключении емкостных токов. Класс выключателя С2 должен быть документально подтвержден предприятием-изготовителем.

9. Выбор параметров и характеристик выключателей, устанавливаемых в цепи шунтирующего реактора

9.1. Выбор параметров и характеристик выключателей, устанавливаемых в цепи шунтирующего реактора, должен проводиться в соответствии с рекомендациями РД 153-34.3-47.501-2001 «Рекомендации по выбору и эксплуатации выключателей, работающих в цепи шунтирующих реакторов».

9.2. Для коммутации шунтирующих реакторов могут применяться выключатели, возможность использования которых в этом режиме указана в технических условиях или другой технической документации.

9.3. Ток шунтирующего реактора должен находиться в диапазоне между нормированным и минимальным значениями тока отключения шунтирующего реактора, указанными предприятием-изготовителем.

9.4. Выключатель с номинальным напряжением 110 кВ и выше должен быть испытан в соответствии требованиями ГОСТ Р 52565 раздел 9.8 «Испытание на отключение тока шунтирующего реактора». Применение выключателей при токе, превышающем значение тока, при котором проводились испытания на отключение шунтирующего реактора, допускается по согласованию с предприятием-изготовителем.

9.5. Данные о перенапряжениях, возникающих при отключении шунтирующего резистора, и необходимости применения ограничителей перенапряжений должны быть предоставлены предприятием-изготовителем выключателя на основании испытаний на отключение тока шунтирующего резистора в соответствии с ГОСТ Р 52565, пункт 9.8.7.

Приложение А (рекомендуемое)

Применение элегазовых баковых и колонковых выключателей на номинальное напряжение 110 кВ и выше наружной установки

А1. Колонковые элегазовые выключатели рекомендуется устанавливать:

- в распределительных устройствах, в которых установлены отдельно стоящие трансформаторы тока или установка дополнительных трансформаторов тока экономически целесообразна и допускается существующей компоновкой;

- в районах с низкой температурой окружающего воздуха (-45°C и ниже), с обеспечением работоспособности при этих температурах применением смеси газов без дополнительного расхода электроэнергии на подогрев полюсов выключателя.

А2. Баковые элегазовые выключатели рекомендуется устанавливать:

- в распределительных устройствах, в которых отсутствуют отдельно стоящие трансформаторы тока или установка дополнительных трансформаторов тока экономически нецелесообразна и не допускается существующей компоновкой;

- в районах с низкой температурой окружающего воздуха (-45°C и ниже), с обеспечением работоспособности при этих температурах применением подогрева полюсов, если дополнительный расход электроэнергии на подогрев полюсов выключателя экономически обоснован.

Приложение Б (рекомендуемое)

Методы определения собственного переходного восстанавливающегося напряжения в месте установки выключателя

Б1. Вводная часть

Переходное восстанавливающееся напряжение, возникающее при отключении тока короткого замыкания, зависит от многих факторов, которые можно разделить на две группы. Первая группа включает факторы, определяемые схемой и оборудованием сети: индуктивности, емкости, активные сопротивления, волновые сопротивления и т.д. Вторая группа включает факторы, определяемые процессами, происходящими при отключении выключателя: напряжение дуги, остаточная последуговая проводимость, влияние шунтирующих резисторов и конденсаторов.

Для выбора выключателя необходимо определить ПВН, возникающее под воздействием факторов первой группы, называемое собственным ПВН.

Для определения собственного ПВН могут применяться следующие методы:

- а) расчет по параметрам основных элементов схемы сети;
- б) моделирование схемы сети со снятием осциллограммы процесса восстановления напряжения;
- в) отключение выключателем с возможно низкими искажающими собственное ПВН факторами импульса малого тока со снятием осциллограммы ПВН.
- г) использование результатов определения ПВН для аналогичных или близких по структуре схем, в которых получены параметры ПВН, существенно более низкие, чем нормированные.

При расчетах и моделировании сети необходимо учитывать следующие факторы.

ПВН в реальной сети является многочастотным процессом с апериодическими составляющими существенных величин и длительностей. Постоянные времени апериодических составляющих зависят от характеристик элементов схемы сети – генераторов, трансформаторов, линий и т.д. Апериодические составляющие снижают как пик, так и скорость нарастания ПВН.

Индуктивность различных элементов изменяется при изменении частоты вследствие влияния вихревых токов, цепей заземления, магнитных цепей.

При больших временах достижения пика ПВН следует учитывать уменьшение составляющей восстанавливающегося напряжения частоты 50 Гц (например, при времени достижения пика ПВН 1250 мкс составляющая восстанавливающегося напряжения 50 Гц уменьшается на 6%).

Мгновенное напряжение составляющей промышленной частоты зависит от коэффициента мощности и содержания апериодической составляющей в токе короткого замыкания.

Б2. Расчет по параметрам основных элементов схемы сети

Для выполнения точных расчетов необходима информация о нелинейных, зависящих от частоты элементах сети, а также об элементах с распределенными параметрами. Для расчета необходимо использовать проверенные и отработанные программы расчетов.

Для оценки точности выполненных расчетов необходимых корректировок рекомендуется сравнение результатов расчетов с данными прямых испытаний, выполненных согласно Б4.

Б3. Моделирование схемы сети

Необходимо правильно воспроизводить элементы реальной схемы с распределенными параметрами элементами модели с сосредоточенными параметрами. Необходимо, чтобы индуктивности и активные сопротивления модели соответствовали элементам полной схемы при частотах по крайней мере соответствующих основной частоте ПВН.

Модель достаточно качественно должна воспроизводить полномасштабные элементы.

Модель часто не позволяет учесть уменьшение пика ПВН из-за действия апериодических составляющих и дает увеличенные значения по сравнению с полномасштабными испытаниями.

Для выполнения точного моделирования необходима информация о нелинейных и зависящих от частоты элементах сети, а также об элементах с распределенными параметрами.

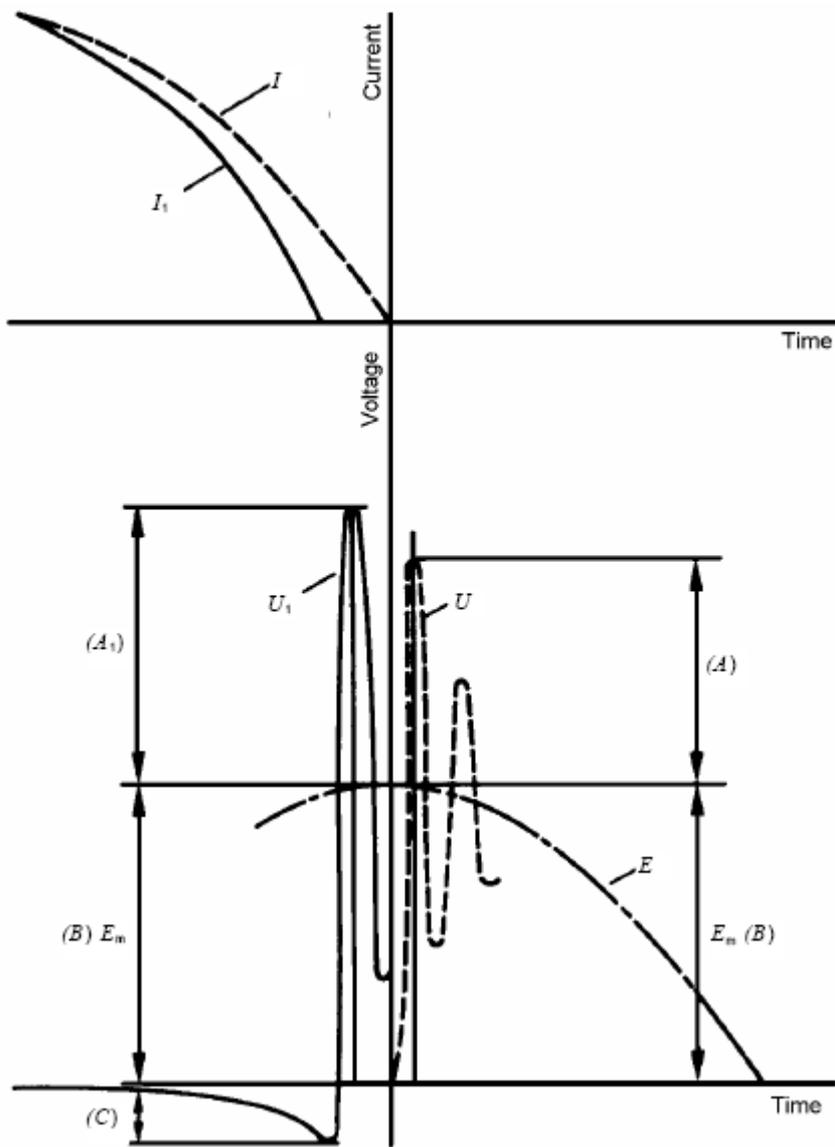
Моделирование требует многократной проверки и сопоставления с другими методами.

Б4. Прямые отключения в сети

Метод заключается в прямом отключении тока короткого замыкания, осуществляемого металлической закороткой, с фиксацией ПВН. Ток должен быть симметричным или, в случае небольшого содержания апериодической составляющей, должна быть определена скорость изменения тока di/dt при подходе к нулевому значению.

Выключатель влияет на процесс восстановления напряжения из-за наличия напряжения на дуге и остаточной проводимости после гашения дуги.

Из-за напряжения дуги процесс восстановления напряжения может начинаться не с нулевого значения, а напряжения некоторой величины, полярность которой противоположна полярности основной части восстанавливающегося напряжения. При этом пик восстанавливающегося напряжения будет выше, чем у идеального выключателя. Влияние напряжения дуги может быть скомпенсировано при обработке осциллограммы, как показано на рис. Б1.



I_1, U_1 - ток и напряжение, полученные при испытаниях;
 I, U - собственные ток и напряжение в сети;
 E - возвращающееся напряжение.
 $A + B = A_1 (B / (D + C) + B$ - пик ПВН.

Рисунок Б.1. Ток и напряжения, полученные при испытаниях, и их собственные кривые в сети.

Компенсация напряжения дуги правомерна для одночастотного процесса восстановления напряжения, но может быть применена и в случае многочастотного процесса, если одна из частот является доминирующей.

Остаточная проводимость дугового столба демпфирует процесс восстановления напряжения, снижая как пик, так и скорость нарастания восстанавливающегося напряжения. Аналогичное влияние оказывают резисторы, подключенные параллельно дугогасительному устройству.

Предпочтительным является применение вакуумного выключателя, не имеющего тока среза. Характеристика используемого выключателя некоторых типов может быть улучшена путем регулирования момента размыкания контактов таким образом, чтобы получить наиболее короткое время дуги и соответственно наименьшее напряжение дуги.

Метод прямого отключения позволяет получить наиболее точные значения пика и скорости восстанавливающегося напряжения и может использоваться для проверки других методов. Его недостатком является трудность точной оценки временной задержки кривой процесса восстановления напряжения.