

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ И РФ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

**«БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. В.Г. Шухова»**

Кафедра «Электроэнергетика и автоматика»

Лабораторная работа № 3

**Дисциплина: «Электрические станции и
подстанции»**

**Тема: «Коммутационные и защитные
аппараты высокого напряжения.
Высоковольтные выключатели»**

Выполнил: студент гр. Э-3 _____

Проверил: доцент Д.А.Прасол

Лабораторная работа № 3

Коммутационные и защитные аппараты высокого напряжения.

Высоковольтные выключатели

Цель работы: Изучить способы гашения дуги в аппаратах свыше 1 кВ. Изучить назначение и конструкцию выключателей различных типов и их основных узлов. Изучить взаимодействие основных элементов выключателя во время работы и процесс гашения дуги в дугогасительном устройстве. Научиться находить и представлять основные технические параметры выключателей. Ознакомиться с особенностями каждого из типов выключателей, изучить области их применения. Выполнить выбор и проверку выключателя по заданным условиям.

Основные понятия и определения

Выключатель – это электрический коммутационный аппарат, предназначенный для отключения и включения цепей высокого напряжения в нормальных и аварийных режимах.

Выключатели являются одними из наиболее ответственных аппаратов в электрических установках. Они должны обеспечивать четкую работу в любых режимах, так как отказ выключателя может привести к развитию аварии. Выключатель должен за минимальное время отключить цепь при коротком замыкании, должен обладать достаточной отключающей способностью, т.е. надежно разрывать цепь с током КЗ. Выключатель должен допускать как можно большее число отключений без ревизий и ремонтов [9].

Выключатели характеризуются следующими параметрами:

1. Номинальный ток отключения – наибольший ток КЗ (действующее значение), который выключатель способен отключить при напряжении, равном наибольшему рабочему напряжению при заданных условиях

восстанавливающегося напряжения и заданном цикле операций. Номинальный ток отключения определяется действующим значением периодической составляющей тока короткого замыкания в момент расхождения контактов.

2. Допустимое относительное содержание аperiodической составляющей тока в токе отключения.

3. Цикл операций – выполняемая выключателем последовательность коммутационных операций с заданными интервалами между ними.

4. Стойкость при сквозных токах характеризуется токами термической стойкости и электродинамической стойкости; эти токи выключатель выдерживает во включенном положении без повреждений, препятствующих дальнейшей работе.

5. Номинальный ток включения – ток КЗ, который выключатель с соответствующим приводом способен включить без приваривания контактов и других повреждений.

6. Собственное время отключения – интервал времени от момента подачи команды на отключение до момента прекращения соприкосновения дугогасящих контактов.

Время отключения – интервал времени от подачи команды на отключение до момента погасания дуги во всех полюсах.

Время включения – интервал времени от момента подачи команды на включение до возникновения тока в цепи.

7. Параметры восстанавливающегося напряжения определяются в соответствии с нормированными характеристиками собственного переходного восстанавливающегося напряжения (ПВН).

8. Выключатели, не предназначенные для АПВ, должны допускать не менее пяти операций ВО при токах КЗ без осмотра дугогасительного устройства. Выключатели, предназначенные для АПВ, должны допускать от 6 до 10 операций ВО в зависимости от номинального тока отключения [2].

Тип и конструкция выключателя определяются способом гашения дуги и средой, в которой она гасится. В современных электроустановках нашли

применение масляные баковые (в настоящее время, как правило, к установке не рекомендуются) маломасляные, воздушные, электромагнитные, элегазовые и вакуумные выключатели.

Выключатель нагрузки – это коммутационный аппарат, предназначенный для включения и отключения нагрузочных токов цепей, вплоть до номинальных токов аппаратов. Выключатели нагрузки не способны отключать токи КЗ. Эти функции передаются на последовательно включаемые предохранители или на выключатели головных участков сети.

Конструкция существующих выключателей нагрузки базируется на конструкции разъединителей. Отличие состоит в наличии маломощного газогенерирующего дугогасительного устройства со сменными газогенерирующими вкладышами из органического стекла.

В цепях генераторов большой мощности 800–1200 МВт применяются выключатели нагрузки специальной конструкции (КАГ – комплектный аппарат генераторный).

Наличие выключателей нагрузки позволяет повысить надежность работы и техническую гибкость главных схем электрических соединений станций. В частности, выключатели нагрузки могут быть эффективно использованы в цепях генераторов простых и укрупненных блоков, когда требуется частое отключение генераторов в нормальном режиме [1].

Выключатели выбираются по расчетным условиям нормального режима с последующей проверкой их работоспособности в аварийных режимах. Эти параметры приведены в табл. 3.1 [2].

Таблица 3.1

Параметры для выбора выключателей

Параметры	Расчётные величины	Номинальные величины	Условия для выбора и проверки
Номинальное напряжение	$U_{\text{СЕТ.НОМ}}$	$U_{\text{НОМ}}$	$U_{\text{НОМ}} \geq U_{\text{СЕТ.НОМ}}$
Номинальный ток	$I_{\text{НОМ.РАС}}$	$I_{\text{НОМ}}$	$I_{\text{НОМ}} \geq I_{\text{НОМ.РАС}}$

Номинальный ток включения: 1) периодическая составляющая; 2) апериодическая составляющая.	$I_{п.о}$ $i_{уд}$	$I_{НОМ.ВКЛ}$ $i_{ВКЛ} = K_{уд} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{НОМ.ВКЛ}$	$I_{НОМ.ВКЛ} \geq I_{п.о}$ $i_{ВКЛ} \geq i_{уд}$
Номинальный ток отключения: 1) симметричный ток; 2) полный ток.	$I_{пт}$ $\sqrt{2} \cdot I_{пт} + i_{ат}$	$I_{Н.ОТКЛ}$ $\sqrt{2} \cdot I_{Н.ОТКЛ} \cdot (1 + \beta_H / 100)$	$I_{Н.ОТКЛ} \geq I_{пт}$ $\sqrt{2} \cdot I_{Н.ОТКЛ} \cdot (1 + \beta_H / 100) \geq \sqrt{2} \cdot I_{пт} + i_{ат}$
Номинальный ток электродинамической стойкости: 1) симметричный (эффективное значение) 2) ассиметричный (макс. значение)	$I_{п.о}$ $i_{уд}$	$I_{ПР.СКВ}$ $i_{ПР.СКВ}$	$I_{ПР.СКВ} \geq I_{п.о}$ $i_{ПР.СКВ} \geq i_{уд}$
Тепловой импульс КЗ	B_K	$I_t^2 \cdot t$	$I_t^2 \cdot t \geq B_K$

В данной таблице значение ударного коэффициента принято $K_{уд} = 1,8$ (нормированное значение для выключателей). Коэффициент β_H – нормированное содержание апериодической составляющей в отключающем токе, % (определяется по каталогам выключателей или по рис. 3.1, где $\tau = 0,01 + t_{с.в}$ – момент расхождения контактов выключателя) [1].

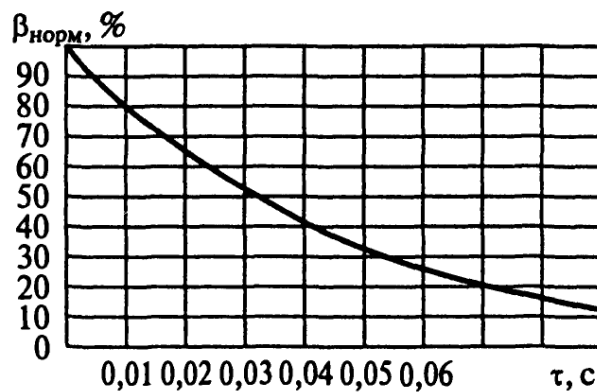


Рис. 3.1. Нормированное содержание апериодической составляющей

Для проверки по отключающей способности необходимо рассчитать апериодическую составляющую тока короткого замыкания для заданного момента времени τ [3; 4]:

$$i_{a.\tau} = \sqrt{2} \cdot I_{п.о}^{(3)} \cdot e^{-\tau/T_a} \quad (3.1)$$

Также необходимо определить периодическую составляющую тока короткого замыкания для заданного момента времени τ . В данном случае энергосистема связана с точкой короткого замыкания непосредственно, т.е. независимо от генераторов. Значит, действующее значение периодической составляющей тока короткого замыкания от системы при трехфазном коротком замыкании для любого момента времени можно считать равным:

$$I_{п.0}^{(3)} = I_{п.\tau}^{(3)} = \text{const} . \quad (3.2)$$

Для проверки на термическую стойкость определяют расчетный тепловой импульс тока КЗ (интеграл Джоуля) [2]:

$$B_K = I_{п.0}^2 \cdot (t_{откл} + T_a); \quad (3.3)$$

$$t_{откл} = t_{р.з} + t_{п.о}, \quad (3.4)$$

где $t_{откл}$ – расчетная продолжительность короткого замыкания, с;

$t_{р.з}$ – время действия релейной защиты с учетом селективности, с;

$t_{п.о}$ – полное время отключения выключателя, с.

В качестве примера представлен выбор силового выключателя на стороне ВН узловой подстанции. Предварительно для установки в цепях РУ ВН подстанции выбираются элегазовые выключатели ВГТ-220-40/3150У1 [5]. Таблица 3.2 заполняется с использованием паспортных данных выключателя и расчетных значений токов КЗ и максимальных рабочих токов для расчетной точки на стороне ВН подстанции. За значение расчетного тока подстанции принят наибольший ток, например для цепей силовых трансформаторов.

Таблица 3.2

Выбор силового выключателя в цепях силовых трансформаторов в РУ ВН

Параметры	Расчётные значения	Номинальные параметры выключателя	Условия для выбора и проверки
Номинальное напряжение	$U_{сет.ном} = 220$ кВ	$U_{ном} = 220$ кВ	$U_{ном} \geq U_{сет.ном}$
Номинальный ток	$I_{ном.рас} = 3150$ А	$I_{ном} = 433$ А	$I_{ном} \geq I_{ном.рас}$
Номинальный ток включения	$I_{п.о} = 1,77$ кА $i_{уд} = 4,6$ кА	$I_{ном.вкл} = 40$ кА $i_{вкл} = 102$ кА	$I_{ном.вкл} \geq I_{п.о}$ $i_{вкл} \geq i_{уд}$

Номинальный ток отключения	$I_{П\tau} = 1,77 \text{ кА}$ $\sqrt{2} \cdot I_{П\tau} + i_{ac}$ $= 3,6 \text{ кА}$	$I_{Н.ОТКЛ} = 40 \text{ кА}$ $\sqrt{2} \cdot I_{Н.ОТКЛ} \cdot$ $(1 + \beta_H / 100) = 76 \text{ кА}$	$I_{Н.ОТКЛ} \geq I_{П\tau}$ $\sqrt{2} \cdot I_{Н.ОТКЛ} \cdot (1 + \beta_H / 100)$ $\geq \sqrt{2} \cdot I_{П\tau} + i_{ac}$
Номинальный ток электродинамической стойкости	$I_{П.О} = 1,77 \text{ кА}$ $i_{уд} = 4,6 \text{ кА}$	$I_{ПР.СКВ} = 40 \text{ кА}$ $i_{ПР.СКВ} = 102 \text{ кА}$	$I_{ПР.СКВ} \geq I_{П.О}$ $i_{ПР.СКВ} \geq i_{уд}$
Тепловой импульс КЗ	$B_K = 1,92 \text{ (кА)}^2 \cdot \text{с}$	$I_t^2 \cdot t = 4800 \text{ (кА)}^2 \cdot \text{с}$	$I_t^2 \cdot t \geq B_K$

Как видно, выключатель успешно прошел проверку по всем условиям и может быть окончательно принят к установке.

Рекомендуется выбирать выключатели современные отечественного производства, [4, 5, 9], а также современные импортные выключатели [6–9].

Порядок выполнения работы

1. Выбрать тип (марку) выключателя и расчетные данные в соответствии с вариантом задания (номером по журналу) (табл. 3.3 и 3.4).
2. Описать способы гашения электрической дуги в аппаратах свыше 1 кВ.
3. Включить в отчет общие сведения о выбранном высоковольтном выключателе. Расшифровать условное обозначение заданного высоковольтного выключателя. Привести основные технические параметры (в форме таблицы) с указанием диапазона значений для заданного типа выключателя.
4. Схематично изобразить общий вид высоковольтного выключателя и дугогасительного устройства с обозначением основных элементов и габаритных размеров.
5. Описать принцип работы высоковольтного выключателя.
6. Изложить достоинства и недостатки выбранного высоковольтного выключателя. Изложить отличительные особенности высоковольтного выключателя по сравнению с другими.
7. Предоставить сведения об области применения выбранного высоковольтного выключателя.

8. Сделать выводы по проделанной работе.
9. Предоставить список литературы, использованной в процессе выполнения лабораторной работы.

Таблица 3.3

Марки высоковольтных выключателей

Номер варианта по журналу										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Тип (марка) выключателя	ВВ/TEL-10	ВЭ-10	С-35	ВВЭ-10	ЗАРІFG-145/245	ВМТ-110	ВНВ-220	VF 6-10	ВБЭ-110	ВМП-10
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Тип (марка) выключателя	ВБН-35, ВБНТ-35, ВБН-27,5	ВГБ-35, ВГБЭ-35	ВГУ-110/220	ВВГ-20	ВБП-10	ВГБУ-110/220, ВГБМ-220	ВБП-110	ВВБ-110, ВВБК-220	ЗАР1DT-145/245	ВБКЭ-10, ВБМЭ-10
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Тип (марка) выключателя	ЛТВ «ABB»	ВЭБ-110	ЭВОЛИС «Schneider Electric»	VD-4 «ABB»	ВБЭМ-10	У-220	ВГМ-20	ВВ/TEL-10 «Таврида Электрик»	ВБП-110 «ННП Контакт»	LF «Merlin Gerin»

Таблица 3.4

Расчетные значения

Параметры	Номер варианта по журналу									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Номинальный ток $I_{НОМ.РАС}$, А	908	674	1925	1207	1317	1666	1846	663	1168	967
Периодическая составляющая тока трехфазного КЗ в начальный момент времени $I_{П.О}$, кА	29	24	6	19	27	2	3	21	15	8
Постоянная времени переходного процесса T_a , с	0,1	0,01	0,09	0,09	0,03	0,02	0,02	0,02	0,05	0,08
Параметры	Номер варианта по журналу									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Номинальный ток $I_{НОМ.РАС}$, А	1330	1089	987	631	497	775	1427	364	1991	1712
Периодическая составляющая тока трехфазного КЗ в начальный момент времени $I_{П.О}$, кА	25	12	10	23	9	6	17	14	7	23
Постоянная времени переходного процесса T_a , с	0,03	0,07	0,09	0,07	0,05	0,1	0,03	0,03	0,1	0,02
Параметры	Номер варианта по журналу									
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Номинальный ток $I_{НОМ.РАС}$, А	1381	1173	1130	1444	425	623	955	624	744	795
Периодическая составляющая тока трехфазного КЗ в начальный момент времени $I_{П.О}$, кА	25	30	10	23	19	16	24	18	22	12
Постоянная времени переходного процесса T_a , с	0,04	0,06	0,02	0,09	0,07	0,07	0,02	0,05	0,05	0,08

Примечание: Номинальное напряжение сети (класс напряжения) принять в соответствие с номинальным напряжением выключателя; время срабатывания релейной защиты принять равным $t_{р.з} = 2$ с; значение ударного коэффициента принять равным $K_{уд} = 1,8$.

Структура отчета

Отчет выполненной лабораторной работы должен содержать следующие обязательные разделы:

Содержание.

Введение (цель работы и постановка задачи).

1. Способы гашения электрической дуги в аппаратах свыше 1 кВ;
2. Общие сведения о выключателе, расшифровка условного обозначения заданного выключателя.

3. Основные технические параметры (в форме таблицы) с указанием диапазона значений для заданного типа выключателя.

4. Конструкция выключателя (схематично):

- общий вид с указанием основных элементов и габаритными размерами;
- дугогасительное устройство (основные элементы, их взаимодействие).

5. Принцип работы выключателя.

6. Достоинства и недостатки, отличительные особенности выключателя по сравнению с другими типами выключателей.

7. Область применения выключателя.

8. Условия выбора и проверки выключателя, расчет основных параметров выключателя, проверка условий выбора и проверки.

Заключение (выводы).

Библиографический список (ГОСТ Р 7.0.5-2008).

Библиографический список выполняется в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008 СИБИД. Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления.

Контрольные вопросы

1. Что такое выключатель? Для чего он предназначен?
2. Какие функции выполняет масло в баковых и в маломасляных выключателях?
3. Перечислите основные достоинства и недостатки баковых и маломасляных выключателей.
4. Назовите основные технические данные масляных выключателей.
5. Назовите характерные конструктивные особенности масляных выключателей различных серий.
6. Поясните принцип гашения дуги в масляных выключателях без дугогасительных камер, а также в камерах продольного и поперечного дутья.
7. С какой целью используют многократный разрыв?
8. Какие основные этапы характерны для рабочего цикла дугогасительного устройства масляного выключателя?
9. За счёт каких мероприятий может быть повышена охлаждающая способность масляных выключателей?
10. Какие факторы влияют на коммутационный ресурс масляных выключателей?
11. Чем вызвана необходимость в разделении функций контактов между рабочими и дугогасительными, в каких выключателях это мероприятие используется?
12. Какое назначение имеет буферный объем в масляных выключателях серии ВМП?
13. Каковы особенности гашения дуги в дугогасительных камерах МВ серии ВМП при отключении больших и малых токов?
14. Каким образом осуществляется замена масла в МВ серии ВМП?
15. Каким образом осуществляется контроль над уровнем масла в МВ различных серий?
16. Каким образом обеспечивается отвод газов из цилиндра МВ серии

ВМП?

17. Какой порядок работы рабочих и дугогасительных контактов в МВ различных серий при операциях включения и отключения, чем это можно объяснить?

18. Какова особенность электромагнитных и вакуумных выключателей? Чем они отличаются друг от друга, от других типов выключателей?

19. Как выполнена изоляция токоведущих частей относительно друг друга, относительно земли и между размыкаемыми контактами в отключенном положении электромагнитных выключателей и как выполнена эта изоляция у вакуумных выключателей?

20. Как устроена контактная система в электромагнитных и вакуумных выключателях? Почему принята такая их конструкция?

21. Какова величина зазора между контактами вакуумного выключателя в отключенном положении?

22. Как устроены дугогасительные устройства в электромагнитных и в вакуумных выключателях?

23. Как организовано магнитное дутье в электромагнитных выключателях при гашении дуги? Какие физические явления для этого используются?

24. Как и с какой целью в конструкции электромагнитного выключателя предусмотрено воздушное дутье?

25. Почему между размыкаемыми контактами при отключении вакуумных выключателей возникает дуга?

26. Какие физические явления используются для гашения дуги в вакуумных выключателях?

27. Для чего нужны металлические экраны в вакуумных выключателях?

28. В какой момент времени и за счет чего гаснет дуга в электромагнитных и в вакуумных выключателях?

29. Почему при отключении малых индуктивных токов вакуумными выключателями возможны коммутационные перенапряжения?

30. Каковы основные достоинства и недостатки электромагнитных выключателей?
31. Каковы основные достоинства и недостатки вакуумных выключателей?
32. Какова область применения электромагнитных и вакуумных выключателей?
33. Какие типы электромагнитных и вакуумных выключателей в настоящее время выпускается отечественной промышленностью?
34. Какова особенность элегазовых и воздушных выключателей? Чем они отличаются друг от друга, от других типов выключателей?
35. Сформулируйте требования электродинамической и термической стойкости аппарата.
36. Как выполнена изоляция токоведущих частей относительно друг друга, относительно земли и между размыкаемыми контактами в отключенном положении воздушных выключателей и как выполнена эта изоляция в элегазовых выключателях?
37. В чем состоят преимущества и недостатки автокомпрессионных элегазовых выключателей?
38. В чем заключаются основные недостатки элегазовых выключателей с двумя ступенями давления?
39. Какие мероприятия способствуют повышению отключающей способности газовых выключателей, и чем объясняется эффективность их применения?
40. Какие основные параметры определяют условия работы воздушных выключателей?
41. Каковы основные принципы построения воздушных выключателей?
42. Каким образом можно добиться выравнивания распределения напряжения по разрывам выключателя?
43. Какова область применения воздушных и элегазовых выключателей?
44. Какие типы воздушных и элегазовых выключателей в настоящее время выпускается отечественной промышленностью?

Библиографический список

1. Электрическая часть электростанций и подстанций: учебное пособие / Н.В. Коломиец, Н.Р. Пономарчук, В.В. Шестакова – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2007. – 143 с.
2. Электрооборудование электрических станций и подстанций: Учебник для сред. проф. образования / Л. Д. Рожкова, Л. К. Карнеева, Т. В. Чиркова. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 448 с.
3. Неклепаев Б. Н., Крючков И. П. Электрическая часть электростанций и подстанций: Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: [учебное пособие] / Б. Н. Неклепаев, И. П. Крючков. – 5-е изд., стер. – СПб.: БХВ-Петербург, 2013. – 608 с.
4. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д. Л. Файбисовича. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: ЭНАС, 2009. – 392 с. : ил.
5. Каталог «Выключатели элегазовые серии ВГТ-УЭТМ на 35, 110 и 220 кВ» [Электронный ресурс] – URL: http://uetm.ru/files/katalog_VGT-35,110,22_2.pdf. (15.03.2020).
6. Каталог «Вакуумные выключатели VF12» [Электронный ресурс]. URL: http://www.elteh.ru/upload/iblock/254/Catalogue_VF12.pdf. (15.03.2020).
7. Каталог продукции 2005. Силовое электрооборудование 6-35 кВ. Элегазовые выключатели среднего напряжения HD/GT [Электронный ресурс]: каталог. – «ABB», 2005. – 35 с. URL: http://www.ielectro.ru/pp_pageDoc=6/Document30690.html (15.03.2020).
8. Каталог высоковольтного оборудования [Электронный ресурс]: каталог. – «CHINT Electric», 2015. – 203 с. URL: <https://chint-electric.ru/vysokovoltnye-izdeliya/vyklyuchateli> (15.03.2020).
9. Новое электрооборудование в системах электроснабжения: справочник. Сост.: Ополева Г.Н. Иркутск: Изд-во Иркутского государственного университета, 2003. – 194 с.