

УДК 621.315

АНАЛИЗ ТЕКУЩЕГО СОСТОЯНИЯ РАЗВИТИЯ ВЫСОКОВОЛТНЫХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ

М.Д. Ковальчук студент гр. ЭРб-201, 3 курс

Научный руководитель А.С. Корнеев, ассистент

Кузбасский государственный технический университет имени

Т.Ф. Горбачева

г. Кемерово

Для обеспечения надёжной работы электроэнергетических объектов активно используются высоковольтные выключатели. Это коммутационное устройство, используемое в электрических сетях напряжением выше 1000 В, предназначенное для ручного, дистанционного или автоматического оперативного переключения, включения или отключения участка цепи под нагрузкой, при ремонтных работах или аварийном режиме. Согласно ГОСТ Р 52565-2006, высоковольтные выключатели должны соответствовать требованиям: быть надёжными в работе, должны выдерживать многократное включение и отключение, безопасными для обслуживающего персонала и окружающих, обладать высокой ремонтопригодностью, иметь бесшумную работу, иметь не сравнительно не высокую стоимость, быть рассчитаны на климатические условия размещения. Выпускаемые в настоящее время современные выключатели соответствуют этим требованиям [1].

Основной задачей высоковольтных выключателей является погашение электрической дуги, возникающей при размыкании и замыкании цепи под нагрузкой. Исходя из этого требования возникли виды выключателей в зависимости от способа гашения: **элегазовые, масляные, воздушные, вакуумные** [2].

Элегазовый выключатель содержит в себе в качестве среды гашения дуги шестифтористую серу – элегаз, не поддерживающий горение. От воздействия дуги, газ разделяется на разные составляющие, но и сама дуга гасится за счёт резкого повышения давления газа. *Достоинством* элегазового выключателя является высокая отключающая способность; пожаробезопасность; малый износ дугогасительных контактов. *Недостатками* элегазового выключателя является необходимость в запасах элегаза, который хранится в специальных болонах; необходимо следить за уровнем давления в выключателях, так как при снижении давления до определенных пределов выключатель просто заблокируется и им невозможно будет оперировать; а также высокая стоимость самих выключателей.

Вакуумные выключатели работают за счёт изолирующих свойств вакуума. *Достоинством* вакуумных выключателей является высокая надежность; высокая коммутационная износстойкость; и экологичность, а также пожаробезопасность. *Недостатки:* небольшие номинальные токи и небольшие токи отключения короткого замыкания; перенапряжения, возникающие при коммутации.

Масляные выключатели используют в качестве среды гашения дуги масло. Дутье газов происходит в дугогасительных камерах, в момент, когда выключатель начинает отключаться, дуга, которая возникает между контактами, начинает разлагать масло, оно начинает испаряться, появляются газы. Дуга охлаждается потоком газа и пара от испаряемого масла, а также под действием высокого давления и не испарённого масла, гаснет. *Достоинства:* небольшая цена по сравнению с элегазовыми или вакуумными выключателями; а также возможность создания серии выключателей на разное напряжение с применением унифицированных узлов. *Недостатки:* пожароопасность; относительно малая отключающая способность; постоянно необходимо следить за уровнем масла в выключателе, так как при недостаточном количестве масла в выключателе может произойти взрыв с повреждением выключателя.

Воздушные выключатели в качестве диэлектрика используется воздух. Принцип работы основан на разрыве электрической цепи воздушным зазором между двумя контактами. *Достоинства:* пожаробезопасности; высокой отключающей способности; малом износе контактов. *Недостатки:* необходимость компрессорной установки; высокая стоимость; сложная конструкция [3].

В электромагнитных выключателях гашение дуги осуществляется с помощью магнитного дутья в камерах. *Достоинства:* высокая скорость работы, надёжность эксплуатации, простота обслуживания, удобства монтажа. *Недостатки:* Высокий шум, стоимость и большие размеры относительно других выключателей, повышенное потребление энергии.

Методика выбора высоковольтных выключателей зависит от места установки, способа обслуживания и назначения. Параметры выключателей выбирают по техническим характеристикам, так чтобы параметры выключателя были больше расчётных. Выбор происходит на этапе проектирования исходя из условий:

1. По номинальному напряжению, выбор сводится к сравнению номинального напряжения установки и выключателя;
2. По номинальному току сводится к выбору выключателя, номинальный ток, которого является ближайшим большим к расчётному току установки;
3. По отключающей способности выключатели выбираются по предельно отключающему току, при котором выключатель надёжно разрывает цепь без повреждений, препятствующих дальнейшей работе;
4. Проверка на термическую стойкость при сквозных токах короткого замыкания. Определяются номинальный и расчётный тепловой импульс;
5. Проверка на электродинамическую стойкость при сквозном коротком замыкании.

Для удобного выбора высоковольтных выключателей существуют разные многокритериальные методы:

• Методика анализа иерархий (МАИ) – метод заключается в разделении проблемы на более простые составные части и последующей обработки последовательности суждений эксперта по парным сравнениям. Метод хорошо себя показывает, если имеются конкретные условия, которым должен соответствовать выключатель. Но при большом количестве вариантов является не эффективным, так как используется парное сравнение этих вариантов.

• Методика нечёткого логического выбора (НЛВ) – метод принятия решений на основе нечётких множеств и нечёткой логики. Он используется для решения проблем в условиях неопределённости. Метод предпочтителен, когда условия, которым должен соответствовать выключатель не полны и не точны.

• Метод «идеальной точки» (Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution – TOPSIS) – метод позволяет определить наилучшую альтернативу на основе сравнения каждой альтернативы с идеальным решением и анти-идеальным решением. Данный метод часто используется в дополнении с другими методами, например с методом МАИ.

Данные методики – одни из основных методов выбора высоковольтных выключателей. Существует множество других методов, которые подходят под разные условия или дополняют друг друга. Чаще всего при выборе используется совокупность методов, тем самым позволяя выбрать наилучший вариант из всех возможных [6].

В настоящее время наиболее безопасными и надёжными выключателями являются элегазовые, вакуумные и воздушные, и самыми не надёжными масляные, но из-за своей малой стоимости на подстанциях, как правило, установлены масляные выключатели. Так, проанализировав станцию на 110 и 35 кВ, можно сделать выводы:

- На подстанции 110 кВ большинство выключателей – это устаревшие масляные и маломасляные выключатели, только малая часть высоковольтных выключателей в составе энергосистемы является элегазовыми.
- На подстанции напряжением 35 кВ большинство выключателей являются устаревшие масляные и выключатели.
- Среди нового оборудования можно отметить вакуумные выключатели отечественного производства [7].

На сегодняшний день элегазовые и вакуумные выключатели нашли широкое применение в различных электротехнических устройствах, в силу ряда своих преимуществ, по сравнению с масляными. Это такие характеристики, как пожаробезопасность и взрывобезопасность, высокая диэлектрическая прочность, высокая теплопроводность, способность захватывать свободные электроны и малое время необходимое для восстановления прочности после пробоя и др. Благодаря этим достоинствам, они обладают меньшей, массой, габаритами, более высокой безопасностью и сроком службы, а затраты на обслуживание меньше по сравнению с масляными. Эти выключатели перспективнее, хотя динамика новых изобретений значительно снизилась, из-за перенасыщения рынка разнообразными моделями,

высоковольтных выключателей [8]. изучаются эксплуатационные и конструкционные проблемы высоковольтных выключателей следующего характера:

- Проблемы эксплуатации вакуумных высоковольтных выключателей. А именно возникновение перенапряжения, из-за большой скорость отключения [9].
- Создание системы для распознавания технического состояния высоковольтных выключателей на основе алгоритмов машинного обучения [10].
- Проблемы испытаний высоковольтных выключателей, для гарантии надёжного функционирования систем электроснабжения [11].
- Проблема использования элегазовых высоковольтных выключателей при низкой температуре. Способы поддержания стабильной положительной температуры в расширительных баках [12].

Подводя итоги, хочется отметить, что в настоящее время превалируют масляные выключатели, которые на данный момент являются морально и технически устаревшими. Для обеспечения большей надежности функционирования энергосистемы требуется модернизация выключателей на современные типы: элегазовые и вакуумные. Стоит учитывать, вакуумные выключатели рационально применять на подстанциях среднего напряжения 35 кВ, элегазовые и воздушные выключатели будут целесообразны на подстанциях 110 кВ и выше.

На данный момент, технологии значительно опережают массовое распространение более современных выключателей. Хотя наука не стоит на месте и в будущем будет стремиться на улучшение характеристик и надёжности высоковольтных выключателей, и снижения их стоимости.

Список литературы:

1. ГОСТ Р 52565-2006 ВЫКЛЮЧАТЕЛИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА НА НАПРЯЖЕНИЯ от 3 до 750 кВ // [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200046288> (дата обращения 27.03.2022)
2. Элегазовые выключатели 110 кВ и выше // [Электронный ресурс]: Режим доступа: <http://electricalschool.info/main/vysokovoltnyj/1261-jelegazovye-vykljuchateli-110-kv-i-vyshe.html> (дата обращения 27.03.2022)
3. Высоковольтный выключатель: назначение, типы и конструкции // [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://ofaze.ru/elektrooborudovanie/vysokovoltnyj-vykljuchatel> (дата обращения 27.03.2022)
4. Крючков, И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций / И.П. Крючков, Н.Н. Кувшинский, Б.Н. Неклепаев. – М.: Энергия, 1989. – 454 с.
5. Выбор высоковольтного выключателя // [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://studfile.net/preview/5947128/> (дата обращения 27.03.2022)
6. Мухаметзянов, И.З. Нечеткий логический вывод и нечеткий метод анализа иерархий в системах поддержки принятия решений: приложение к оценке

надежности технических систем / И. З. Мухаметзянов – Кибернетика и программирование, 2017. -19 с.

7. Виноградов, А. В. Анализ типов высоковольтных коммутационных аппаратов и оценка остаточного ресурса выключателей, установленных на подстанциях с высшим напряжением 35-110 кВ филиала ПАО «МРСК центра» - «ОРЕЛЭНЕРГО» / А.В. Виноградов, М.В. Бородин, А.А. Лансберг, А.И. Псарев, Н.С. Сорокин - Ж.: Вестник Казанского Государственного Энергетического Университета, 2021 г. – 118-127 с.

8. Ахметшин Р. А. Патентный анализ развития высоковольтных выключателей / Р. А. Ахметшин, Г. С. Сагдеева – Ж.: Евразийское научное объединение 2021г. – 65-67 с.

9. Ку克莱в С. П. Проблема эксплуатации высоковольтных вакуумных выключателей / С. П. Ку克莱в – Ж.: Известия ТулГУ, 2014 г.

10. Хальясмаа А. И. Машинное обучение как инструмент повышения эффективности управления жизненным циклом высоковольтного электрооборудования / А. И. Хальясмаа – Ж.: Вестник Иркутского государственного технического университета, 2020 г. Т.24. №5.

11. Егоров М. Ю. Проблема совершенствования процесса испытания коммутационной способности высоковольтных выключателей / М. Ю. Егоров, И. А. Королёв. Ж.: Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве, 2019 г. – 198-204 с.

12. Приходько В. В. Эксплуатация выключателей в условиях заполярья / В. В. Приходько, Н. И. Цыгулев. / Ж.: Сборник материалов XLI международной научно-технической конференции, 2020 г. – 108-110 с.

Информация об авторах:

Ковальчук Михаил Дмитриевич, студент гр. ЭРб-201, КузГТУ, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, д. 28, Mishamkd42@gmail.com

Корнеев Антон Сергеевич, ассистент, КузГТУ, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, д. 28, korneevas@kuzstu.ru