

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Министерство энергетики Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Казанский государственный энергетический университет»
АО «Системный оператор Единой энергетической системы»
Публичное акционерное общество «Федеральная сетевая компания
Единой энергетической системы»
Благотворительный фонд «Надежная смена»

**XIV ВСЕРОССИЙСКАЯ ОТКРЫТАЯ МОЛОДЕЖНАЯ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ
В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ»**

Материалы конференции

6–8 ноября 2019 г.

Казань
2019

УДК 621.31
ББК 31.2
Ч54

Рецензенты:

зам. гл. диспетчера по оперативной работе Филиала
АО «СО ЕЭС» РДУ Татарстана Е.В. Александров
дир. Института электроэнергетики и электроники,
зав. каф. «Электроснабжение промышленных предприятий»,
д-р техн. наук И.В. Ившин

Редакционная коллегия:

Э.Ю. Абдуллазянов (отв. редактор), Э.В. Шамсутдинов,
А.Г. Арзамасова

Ч54 XIV Всероссийская открытая молодежная научно-практическая конференция «Диспетчеризация и управление в электроэнергетике»: матер. конф. (Казань 6–8 ноября 2019 г.) / редкол. Э.Ю. Абдуллазянов (отв. редактор) и др. – Казань: Казан гос. энерг. ун-т, 2019. – 471 с.

ISBN 978-5-89873-554-8

Опубликованы материалы XIV Всероссийской открытой молодежной научно-практической конференции по научным направлениям: электрооборудование; релейная защита и автоматизация, линии электропередач и подстанции; управление и экономика энергосистем; информационные системы и новые технологии.

Предназначен для научных работников, аспирантов и специалистов, работающих в области энергетики, а также для обучающихся образовательных учреждений энергетического профиля.

Материалы публикуются в авторской редакции. Ответственность за их содержание возлагается на авторов.

УДК 621.31
ББК 31.2

ISBN 978-5-89873-554-8

© Казанский государственный энергетический университет, 2019

Предложенные два способа модернизации АОПО дают возможность выбирать для каждой линии оптимальный вариант исполнения автоматики, они позволяют добиться более гибкой работы АОПО и увеличить надёжность схемы электрической сети.

Источники

1. СТО 56947007-29.240.55.143-2013 Методика расчета предельных токовых нагрузок по условиям сохранения механической прочности проводов и допустимых габаритов воздушных линий. М., 2013. 67 с.

2. Сервис точного времени по всему миру [Электронный ресурс]. URL: <http://ru.365.wiki> (дата обращения: 11.09.2019).

3. СТО 59012820.29.020.002-2018. Релейная защита и автоматика. Автоматическое противоаварийное управление режимами энергосистем. Устройства автоматики ограничения перегрузки оборудования. Нормы и требования. М., 2018. 27 с.

УДК 621.316

МЕТОДИКА РАСЧЕТА КОММУТАЦИОННЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ В ВАКУУМНЫХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЯХ

Э.С. Гизатуллин¹, О.В. Воркунов²

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

¹dr.polemika@yandex.ru, ²vorcunov_oleg@mail.ru

Данная статья посвящена анализу недостатков вакуумных выключателей. При коммутации ими индуктивных токов возникают перенапряжения, вызванные срезом тока до его перехода через нуль, вследствие чего это может привести к пробое изоляции электрооборудования. Реализовывается методика расчета возможной величины перенапряжения на основе возможностей современных универсальных программных комплексов.

Ключевые слова: вакуумный выключатель, коммутационные перенапряжения, срез тока, электрическая прочность, пробой, программное обеспечение, ОПН (ограничители перенапряжения).

Вакуумные выключатели (ВВ) на сегодняшний день являются достаточно востребованным оборудованием в сетях средних классов напряжения. ВВ как относительно новый вид коммутационного оборудования требуют повышенного внимания со стороны производителей и эксплуатации, поскольку для них свойственны специфические переходные процессы, которые не наблюдаются в других типах выключателей [1]. Дуга в вакууме способна к быстрому распаду благодаря свойствам данной среды, но из этого

вытекает и то, что в некоторых случаях это чревато возникновением опасных коммутационных перенапряжений [2]. С самого начала использования данных типов выключателей наблюдалось повреждение коммутируемого ими оборудования.

Рассмотрим влияние 3-х главных характеристик [3].

1. Ток среза – это величина тока, которую выключатель способен самопроизвольно оборвать, погасив дугу и не дожидаясь момента перехода переменного тока через нулевое значение. Перенапряжения возникают при отключении индуктивных элементов, например, таких как реакторы, трансформаторы. Происходит же это в результате мгновенного обрыва тока, потому как индуктивность препятствует скачкообразному изменению.

2. Скорость восстановления электрической прочности определяет количество пробоев промежутка между контактами, которые могут возникнуть при коммутации. Промежуток должен выдержать возникающее напряжение после гашения дуги в момент отключения присоединения, иначе произойдет пробой вследствие недостаточной скорости восстановления прочности промежутка, что может привести к повторному зажиганию дуги.

3. Критическая скорость подхода тока к нулю является также тем параметром, который определяет число пробоев межконтактного промежутка. Характеризует способность выключателя гасить токи той или иной частоты.

Для наглядности рассмотрим частный случай отключения трехфазного присоединения, тем самым покажем, к чему может привести способность вакуумного выключателя гасить токи практически любой частоты.

Была получена команда на отключение фазы «А», где ток промышленной частоты был близок к нулевому значению синусоиды. В результате переходных процессов, связанных с гашением дуги в фазе «А», в фазах «В» и «С» возникли токи более высокой частоты, наложенные на ток промышленной частоты, и образовался неполнофазный режим питания присоединений. Вакуумный выключатель за счёт реакции на данные токи погасит дугу в этих фазах практически сразу. Связано это с тем, что он может среагировать на высокочастотные составляющие и погасить ток в один из нулей суммарного тока, имеющего и частоту 50 Гц и более [3], и следует отметить, что таких нулей может быть много. При этом гашение дуги произошло при малом ходе расходящихся контактов, то есть предельно быстро. Это чревато тем, что между контактами еще нет достаточной прочности, что может повлечь за собой повторный пробой.

В энергетической отрасли, где промышленная частота тока составляет 50 Гц, способность вакуумного выключателя гасить токи практически любой частоты является излишней, так как порождает, как говорилось ранее, коммутационные перенапряжения.

Рассмотрим методику расчета величины перенапряжения.

Для оценки возможной величины рассмотрим процесс отключения вакуумным выключателем фидера, питающего двигатель через кабель (см. рисунок) [4].

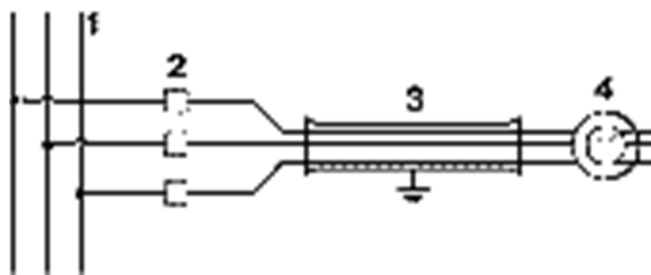


Схема фидера, питающего асинхронный двигатель: 1 – шины; 2 – вакуумный выключатель; 3 – кабель; 4 – двигатель

Расчет требует учета множества параметров, которые затруднительно оценить без применения специализированных программ, в качестве которых наиболее оптимальными являются Matlab, Labview, а также использование возможностей программирования с использованием MS Office.

Сама же методика предполагает расчет величины энергии, запасенной в элементах присоединения (кабеле и двигателе), непосредственно в моменты времени до и после перехода тока через нуль с дальнейшим их отождествлением:

$$W = \frac{cU_{\max}^2}{2} = \frac{cU_m^2}{2} \left[\cos^2 \omega t + \left(\frac{\omega_0}{\omega} \right)^2 \sin^2 \omega t \right], \quad (1)$$

где c – электрическая ёмкость кабеля; $U_{\max}$ – максимум перенапряжения; U_m – амплитуда номинального напряжения; ω – угловая частота сети; ω_0 – собственная частота колебательного контура, образовавшегося в момент отключения выключателя.

Конечная форма для анализа величины перенапряжения выглядит данным образом:

$$\frac{U_{\max}}{U_m} = \sqrt{\left[\cos^2 \omega t + \left(\frac{\omega_0}{\omega} \right)^2 \sin^2 \omega t \right]}. \quad (2)$$

При отключении данным типом выключателей пусковых токов возможны перенапряжения ещё больших значений, так как при этом индуктивность двигателя в 5–7 раз меньше и, следовательно, собственные частоты могут оказаться в 2,2–2,6 раз больше. Таким образом, необходимо обеспечить защиту изоляции от такого рода перенапряжений. Другими словами, они должны быть ограничены. Для ограничения таких перенапряжений преимущественно совершенным способом, который обеспечивает надежную защиту изоляции двигателей и кабелей, является установка нелинейных ограничителей перенапряжений (ОПН) [4]. Их подключение производится между фазой и землей со стороны коммутируемого оборудования или же в начале кабеля в ячейке КРУ. Значение уровня ограничения коммутационных перенапряжений составляет $(1,8–2) U_{\text{ном}}$.

Источники

- 1 Базавлук А.А., Бакиров А.Р., Шкитов Д.А. Исследование перенапряжений при коммутациях вакуумных выключателей // горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2011. № S4. С. 265–279.
2. Защита КЛ от перенапряжений // Кабель NEWS. Журнал для специалистов электротехнической отрасли. 2014. № 4. С. 15–19.
3. Эксплуатация вакуумных выключателей // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. 2016. № 1.
4. Теория применения ОПН для ограничения перенапряжений // Новости электротехники. 2001. № 6 (12).

УДК 621-315.2

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ LABVIEW

А.Ф. Гималетдинов¹, О.В. Воркунов²

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

¹gimaletdinov2010@yandex.ru, ²vorcunov_oleg@mail.ru

Создан алгоритм для расчета параметров кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена, предназначенным для передачи электрической энергии в трехфазных системах при номинальном напряжении переменного тока 64/110 кВ, 127/220 кВ, 190/330 кВ и 290/500 кВ, частотой 50–60 Гц, сечением медных и алюминиевых жил 185–2500 мм². Реализован механизм выбора условий прокладки КЛ и исходных параметров КЛ

Научное издание

XIV ВСЕРОССИЙСКАЯ ОТКРЫТАЯ МОЛОДЕЖНАЯ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ
В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ»

Материалы конференции

6–8 ноября 2019 г.

Корректор О.В. Соловьева
Компьютерная верстка И.В. Красновой
Дизайн обложки Ю.Ф. Мухаметшиной

Подписано в печать 05.11.2019.
Формат 60×84/16. Гарнитура «Times». Вид печати РОМ.
Усл. печ. л. 27,38. Уч.-изд. л. 20,45. Тираж 40 экз. Заказ № 5182

Редакционно-издательский отдел
420066, г. Казань, ул. Красносельская, 51