

ГОРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА

2
2009

Учредитель издательство "НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ"

Главный редактор
КАНТОВИЧ Л.И.

Зам. гл. редактора
ИВАНОВ С.Л.
ЛАГУНОВА Ю.А.

Редакционный совет:

КОЗОВОЙ Г.И.
(председатель)
АНТОНОВ Б.И.
ГАЛКИН В.А.
КОЗЯРУК А.Е.
КОСАРЕВ Н.П.
МЕРЗЛЯКОВ В.Г.
НЕСТЕРОВ В.И.
ЧЕРВЯКОВ С.А.

Редакционная коллегия:

АНДРЕЕВА Л.И.
ГАЛКИН В.И.
ГЛЕБОВ А.В.
ЕГОРОВ А.Н.
ЕДЫГЕНОВ Е.К.
ЖАБИН А.Б.
ЗЫРЯНОВ И.В.
КАРТАВЫЙ Н.Г.
КРАСНИКОВ Ю.Д.
КУЛАГИН В.П.
МАХОВИКОВ Б.С.
МИКИТЧЕНКО А.Я.
МЫШЛЯЕВ Б.К.
ПЕВЗНЕР Л.Д.
ПЛЮТОВ Ю.А.
ПОДЭРНИ Р.Ю.
САВЧЕНКО А.Я.
САМОЛАЗОВ А.В.
СЕМЕНОВ В.В.
СТАДНИК Н.И.
СТРАБЫКИН Н.Н.
ХАЗАНОВИЧ Г.Ш.
ХОРЕШОК А.А.
ЮНГМЕЙСТЕР Д.А.

Редакция:

ДАНИЛИНА И.С.
КАРТАВАЯ Н.В.

Телефоны редакции:

(499) 269-53-97, 269-55-10

Факс (499) 269-55-10

E-mail: gma@novtex.ru

<http://novtex.ru/gormash>

СОДЕРЖАНИЕ

ПОДЗЕМНЫЕ РАБОТЫ

Жабин А.Б., Поляков Ан.В., Поляков Ал.В., Антипов В.В. Управление направленным движением проходческого щита и устройства контроля его положением 2

ГОРНЫЙ ТРАНСПОРТ

Зырянов И.В. "БелАЗ" и алмазодобытчики – вместе полвека 8

СТАЦИОНАРНЫЕ УСТАНОВКИ

Копачёв В.Ф. Оценка влияния коррозионности вентиляционных потоков на наступление этапов структурных кризисов всасывающих главных вентиляторных установок 14

НАДЕЖНОСТЬ. ДИАГНОСТИКА

Насонов М.Ю. Влияние внешней среды на долговечность металлоконструкций экскаваторов 17

Насонов М.Ю. Оценка механической нагруженности и долговечности одноковшовых экскаваторов по энерготехнологическим характеристикам 20

БУРОВЫЕ РАБОТЫ

Жуков И.А., Дворников Л.Т. Разрушение хрупких сред безлезвийным инструментом с образованием отверстий некруглого сечения 23

Подэрни Р.Ю. Анализ конструкций современных станков вращательного бурения взрывных скважин на открытых работах 27

ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА. АВТОМАТИЗАЦИЯ

Зедгенизов Д.В. Исследование двухканальной системы автоматического управления расходом воздуха в тоннеле метрополитена 35

Зедгенизов Д.В. Система автоматического управления воздушно-тепловым режимом проветривания станции метрополитена мелкого заложения 38

Кузьмин С.В., Гаврилова Е.В., Барышников Д.В. Влияние процесса дугогашения в высоковольтных выключателях на величину коммутационных перенапряжений, возникающих в сетях 6...10 кВ горно-добывающих предприятий 41

Кузьмин Р.С., Меньшиков В.А., Скакунов Д.А., Дементьев В.В., Карташев Ю.А., Ящук К.П. Естественные средства компенсации реактивной мощности в системах электроснабжения 6...10 кВ горно-металлургических предприятий 44

Кантович Л.И., Пастоев И.П. Обоснование структуры универсальной базы для автоматизированных очистных комплексов 47

НАУЧНЫЕ РАЗРАБОТКИ

Бродный Я. Величина динамического воздействия горного массива на крепь капитальных выработок 50

Зедгенизов В.Г., Мельников А.В. Определение основных параметров ударника для разрушения горных пород и прочных строительных материалов 54

Журнал включен в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук.

С.В. Кузьмин, канд. техн. наук, **Е.В. Гаврилова**, **Д.В. Барышников**, Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

Влияние процесса дугогашения в высоковольтных выключателях на величину коммутационных перенапряжений, возникающих в сетях 6...10 кВ горно-добывающих предприятий

Установлена зависимость частоты коммутационного импульса от типа высоковольтного выключателя. Выполнены исследования влияния частоты коммутационного импульса на кратность коммутационных перенапряжений. Показан эффект "зоны замирания" в работе нелинейных ограничителей перенапряжений (ОПН). Сделан вывод о целесообразности использования ОПН для защиты высоковольтных электродвигателей от коммутационных перенапряжений.

Ключевые слова: горно-добывающие предприятия, выключатель, коммутационные перенапряжения, нелинейный ограничитель перенапряжений, зона замирания, эффективность, защита, электродвигатель.

S.V. Kuzmin, E.V. Gavrilova, D.V. Baryshnikov, Siberian Federal University

The Influence of the Arc Extinction Process in High-Voltage Switches on the Commutation Overvoltage Value Appearing in the 6...10 kV Circuits of Mining Enterprises

There is established the dependence of the commutation impulse frequency on the type of a high-voltage switch. There was studied the influence of the commutation impulse frequency on the commutation overvoltage multiplicity. There is shown the effect of "the fading zone" in the operation of non-linear overvoltage limiters (NOL). There was drawn a conclusion about the advisability of using NOL to protect high-voltage motors against the commutation overvoltage.

Keywords: mining enterprises, switch, commutation overvoltage, of non-linear overvoltage limiter, fading zone, efficiency, protection, electric motor.

С внедрением вакуумных и элегазовых выключателей обострилась проблема, связанная с коммутационными перенапряжениями (КП) в распределительных сетях 6...10 кВ горно-добывающих предприятий, так как данные выключатели инициируют возникновение более высоких уровней КП по сравнению с масляными выключателями. Величина КП может превышать номинальное напряжение сети в 5–7 раз. Подобные перенапряжения представляют серьезную опасность для изоляции кабельных линий, электродвигателей и трансформаторов и являются одной из

основных причин возникновения однофазных замыканий на землю (ОЗЗ).

Например, анализ аварийности электрических сетей 6...10 кВ угольных разрезов Красноярского края за период с 2004 по 2007 г. показывает, что с увеличением количества вакуумных выключателей свыше 60 % от общего числа выключателей, эксплуатируемых в системах электроснабжения 6...10 кВ угольных разрезов, число ОЗЗ возросло в 4,3 раза по сравнению с 2003 г. [1].

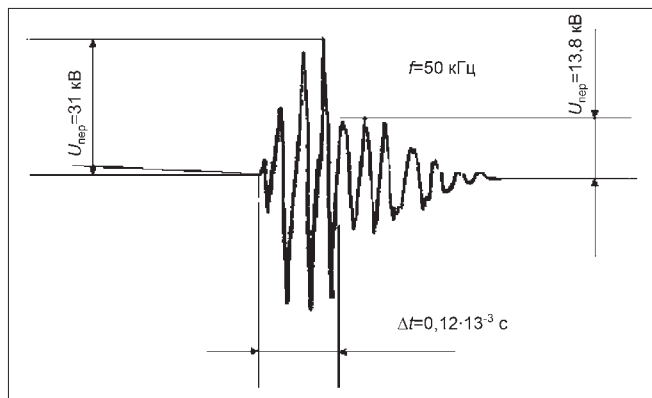


Рис. 1. Осциллограмма коммутационного импульса, возникающего при отключении синхронного двигателя СДЭУ-14-29-6 вакуумным выключателем ВВ/TEL-10-12,5/630-У2-41

В настоящее время для ограничения КП существуют следующие основные средства: разрядники, нелинейные ограничители перенапряжений и RC-ограничители. Считается, что частичное ограничение перенапряжений может быть достигнуто нормированием минимальной длины кабеля между высоковольтным выключателем и коммутируемой нагрузкой. Защитное действие кабельной вставки основано на уменьшении волнового сопротивления коммутируемого контура за счет собственной емкости кабеля. Параметры кабеля, трансформатора, двигателя и тип выключателя являются определяющими в формировании КП. Увеличение емкости системы "кабель—электродвигатель" за счет емкости кабеля приводит к уменьшению амплитуды, крутизны и числа коммутационных импульсов при повторных зажиганиях дуги в выключателе. Принято считать, что при значительной длине кабельной линии перенапряжения из-за среза тока в вакуумном выключателе практически не возникают, так как кабель выступает в роли "сглаживающего фильтра". Наличие даже небольшой активной нагрузки на вторичной стороне отключаемого силового трансформатора также исключает возникновение КП по причине среза тока [2]. Однако авторы в своих работах [3, 4] доказывают, что при частоте коммутационного импульса свыше 45 кГц кабельная линия из "сглаживающего фильтра" превращается в "запирающий фильтр".

При частоте коммутационного импульса свыше 45 кГц сильно возрастает продольное сопротивление силового кабеля за счет увеличения продольного индуктивного сопротивления и продольного активного сопротивления, связанного с поверхностным эффектом.

Следовательно, средства защиты от КП необходимо располагать в непосредственной близости от защищаемого объекта.

В частности, исследования КП, возникающих при коммутации электродвигателей вакуумными выключателями, показали, что максимальное удаление средств защиты от электродвигателя не должно превышать 10 м, в этом случае продольное сопротивление кабельной вставки между средством защиты от

КП и электродвигателем практически не зависит от частоты коммутационного импульса. Дальнейшее увеличение расстояния между средством защиты от КП и электродвигателем приводит к частотной зависимости продольного сопротивления, и эффективность средств защиты снижается.

Таким образом, при выборе средств защиты необходимо учитывать электромагнитную совместимость средств защиты от КП с объектом защиты, особенно влияние частоты коммутационного импульса на функционирование защиты от КП.

Исследования, выполненные на кафедре электрооборудования горно-металлургических предприятий (ЭГМП) СФУ [4], показали, что при частоте коммутационного импульса свыше 45 кГц в работе ограничителей перенапряжения (ОПН) наблюдается "зона замирания". То есть в интервале времени порядка 0,12 мс ОПН практически не реагирует на возникшие перенапряжения $U_{пер}$. Данный эффект иллюстрируется рис. 1.

На экскаваторе ЭКГ-8И синхронный электродвигатель типа СДЭУ-14-29-6 мощностью 520 кВт отключался вакуумным выключателем типа ВВ/TEL-10-12,5/630-У2-41. Для защиты электродвигателя от КП использовались ОПН типа КР/TEL-6/6, установленные в ячейке вакуумного выключателя. Длина кабеля, связывающего электродвигатель с выключателем, составила 10 м, а сечение — 35 мм².

За время "замирания" амплитуда коммутационного импульса достигла своего максимального значения и составила 31 кВ. Ограничение амплитуды КП произошло за время, равное 0,12 мс, т.е. до срабатывания ОПН может наступить электрический пробой изоляции обмоток высоковольтного электродвигателя, так как кратность КП составила 5,2, что выше допустимой кратности перенапряжений, которая для электродвигателей составляет 1,8. Кратность перенапряжения оценивалась с помощью выражения:

$$k_{доп} = \frac{U_{ки}}{U_{ном}}, \quad (1)$$

где $U_{ки}$ — максимальная амплитуда коммутационного импульса; $U_{ном}$ — номинальное напряжение сети.

Исследования, которые выполнили авторы данной статьи, показали, что при постоянных параметрах системы "кабельная линия—электродвигатель", но при использовании разных типов выключателей изменяется частота коммутационного импульса, что может отражаться на эффективности использования средств защиты от КП. Изменение частоты коммутационного импульса в зависимости от типа выключателя можно объяснить только процессом дугогашения в выключателе.

Известно, что источник напряжения $E_{сист}$ и электродвигатель М обладают определенным значением емкости $C_{сист}$ и $C_{дв}$ (рис. 2). Размыкающийся силовой контакт выключателя обладает емкостью $C_{выкл}$, величина которой уменьшается при увеличении расстояния между расходящимися контактами:

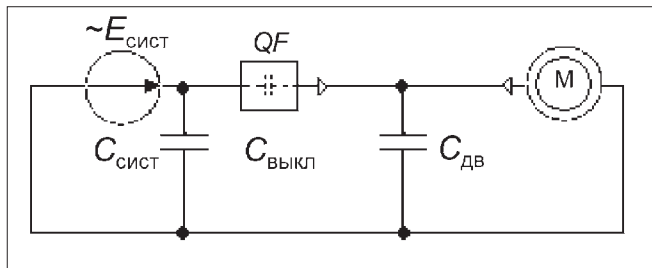


Рис. 2. Упрощенная эквивалентная схема системы "источник питания — выключатель — электродвигатель"

$$C = \varepsilon \cdot \frac{A}{d}, \quad (2)$$

где ε — диэлектрическая проницаемость среды между контактами выключателя; A — площадь контактов; d — расстояние между контактами.

Расстояние между контактами — величина переменная и определяется выражением:

$$d = Vt, \quad (3)$$

где V — скорость расхождения контактов; t — время гашения дуги в выключателе, которое зависит от процесса дугогашения.

При отключении электродвигателя емкости $C_{\text{выкл}}$ и $C_{\text{сист}}$ включены последовательно между собой и параллельно по отношению к емкости электродвигателя. Эквивалентная емкость на зажимах электродвигателя будет определяться по выражению

$$C_{\text{эkv}} = \frac{C_{\text{выкл}} C_{\text{сист}}}{C_{\text{выкл}} + C_{\text{сист}}} + C_{\text{дв}}. \quad (4)$$

Учитывая, что $C_{\text{выкл}} \ll C_{\text{сист}}$, эквивалентная емкость будет равна:

$$C_{\text{эkv}} = C_{\text{выкл}} + C_{\text{дв}}. \quad (5)$$

Примем, что индуктивность и емкость электродвигателя — величины постоянные, значит, частота коммутационного импульса будет зависеть от емко-

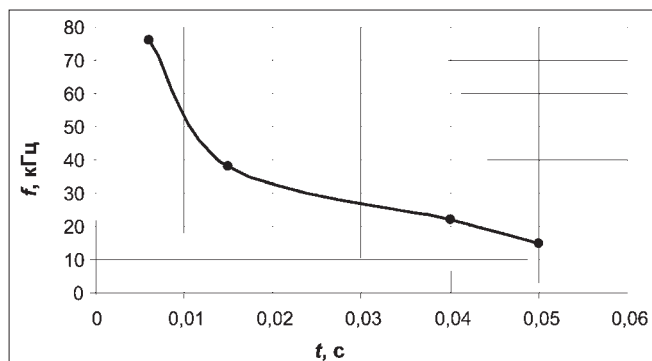


Рис. 3. Зависимость частоты коммутационного импульса от времени гашения дуги

сти контактов выключателя и определяется по формуле

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_{\text{эkv}}}}, \quad (6)$$

где L — индуктивность статорной обмотки электродвигателя; $C_{\text{эkv}}$ — присоединенная емкость на зажимах электродвигателя, которая включает емкость обмотки электродвигателя по отношению к земле, емкость кабельной вставки и емкость контактов выключателя.

Согласно выражению (2), емкость $C_{\text{выкл}}$ зависит от диэлектрической проницаемости среды между контактами выключателя, т.е. от среды, в которой происходит гашение дуги.

Таким образом, частота коммутационного импульса будет изменяться в зависимости от протекания процесса дугогашения в выключателе, т.е. от типа выключателя. Продолжительность горения дуги в межконтактном промежутке выключателя зависит от типа выключателя. Самое короткое время горения дуги в межконтактном промежутке принадлежит вакуумным выключателям и не превышает 0,006 с. Для элегазовых, масляных и электромагнитных время гашения дуги равняется соответственно 0,015; 0,04 и 0,05 с, прослеживается закономерность, что с увеличением времени гашения дуги частота коммутационного импульса уменьшается. Данная закономерность получена экспериментальным путем, при коммутации синхронного электродвигателя типа СДЭУ-14-29-6 мощностью 520 кВт разными типами выключателей и представлена на рис. 3.

Установлено, что частота коммутационного импульса влияет на кратность коммутационного перенапряжения. Данная зависимость получена экспериментальным путем и представлена на рис. 4.

Из вышеприведенного материала можно сделать вывод, что вакуумные выключатели будут создавать коммутационные импульсы с более высокой частотой по сравнению с другими типами выключателей. Частота коммутационного импульса будет меньше, чем у вакуумных выключателей, при коммутации электродвигателей элегазовыми выключателями, и будет уменьшаться при использовании масляных и

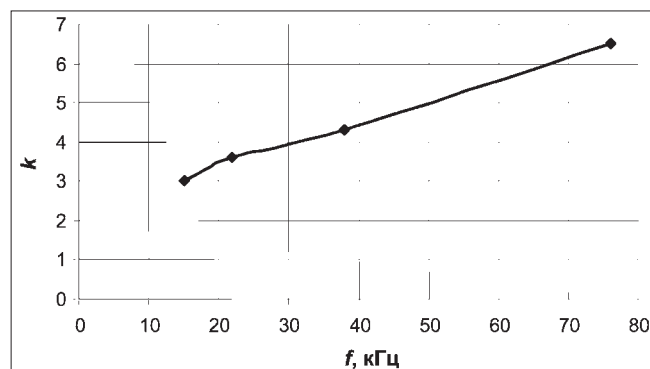


Рис. 4. Зависимость кратности коммутационного перенапряжения от частоты коммутационного импульса

электромагнитных выключателей. Следовательно, более высокие уровни кратности КП характерны для вакуумных выключателей и самые малые для электромагнитных выключателей. Элегазовые и масляные выключатели соответственно занимают промежуточное значение.

Для защиты электродвигателей использование ОПН от КП не эффективно, так как в работе ОПН присутствует "зона замиранья".

Список литературы

1. Гончаров А.Ф., Кузьмин С.В. RC-ограничители и RC-гасители — устройства глубокого ограничения коммутационных перенапряжений в сетях 6–10 кВ / А.Ф. Гончаров, С.В. Кузьмин,

В.В. Павлов, Р.С. Кузьмин, В.А. Меньшиков, А.Ю. Ожиганов // Горное оборудование и электромеханика. 2005. № 3. С. 38–40.

2. Евдокунин Г.А., Тилер Г. Современная вакуумная коммутационная техника для сетей среднего напряжения / Г.А. Евдокунин. С.-Петербург: Изд-во Сизова М.П., 2002. 148 с.

3. Кузьмин С.В. Проблемы перенапряжений при использовании вакуумных коммутационных аппаратов / С.В. Кузьмин, Р.С. Кузьмин, Р.А. Майногашев, Б.С. Заварыкин // Стратегические приоритеты и инновации в производстве цветных металлов и золота. Красноярск. 2006. С. 287–291.

4. Кузьмин С.В. Влияние длины кабельной линии на коммутационные перенапряжения высоковольтных электродвигателей и трансформаторов / С.В. Кузьмин, Р.С. Кузьмин, В.А. Меньшиков, О.А. Ковалева // Стратегические приоритеты и инновации в производстве цветных металлов и золота. Красноярск, 2006. С. 283–287.