

УДК 621.316.37

А.Б. Егоров, О.Ю. Егорова

Украинская инженерно-педагогическая академия, Харьков

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОИЗВОДСТВА И ПРИМЕНЕНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ТОКОГРАНИЧИВАЮЩИХ ПРЕДОХРАНИТЕЛЕЙ

В статье рассмотрены современные конструкции защитных аппаратов. Анализируются особенности работы высоковольтных токоограничивающих предохранителей, влияющие на их конструкцию, сравниваются электрические аппараты разных производителей. Определены условия для надежной защиты дорогостоящего оборудования. Даны рекомендации по обеспечению надежной защиты оборудования от токов коротких замыканий и токов перегрузки.

Ключевые слова: высоковольтный предохранитель, плавкая вставка, металлургический эффект, аппараты защиты, плавкий элемент.

Введение

Постановка проблемы. Высоковольтные токоограничивающие предохранители – аппараты массового применения, предназначенные для защиты воздушных и кабельных линий, силовых трансформаторов от 10 до 1000 кВА при 6-10 кВ, 1600 кВА при 35 кВ, электродвигателей до 2000 кВт, конденсаторов до 150 квар и другого оборудования. Достоинства предохранителей – малогабаритность, быстроедействие, способность отключать большие токи короткого замыкания с существенным ограничением их максимального значения. В электрических сетях предохранители применяются в КТП, на открытых подстанциях, в КРУ, КРУН и КСО, в комбинации с выключателями нагрузки, способными заменять дорогостоящие силовые выключатели. В работе распределительных сетей указанных объектов предохранители играют ключевую роль, поэтому от них требуется высокая надежность. Отказ предохранителя в отключении токов короткого замыкания приводит к повреждению дорогостоящего оборудования, перерыву в электроснабжении с соответствующими последствиями.

Цель статьи состоит в анализе современных конструкций высоковольтных предохранителей и анализе их работы.

Анализ публикаций. Конструирование токоограничивающих высоковольтных предохранителей имеет серьезные трудности. Проблемы вызваны тем, что от предохранителя требуется отключать токи от нескольких единиц ампер до нескольких десятков килоампер [1 – 2].

Основной материал

Проще было бы разработать и изготовить предохранитель, отключающий только большие или только малые токи. Трудность отключения малых токов состоит в том, что отключение этих токов

требует длительного времени. Выделяющееся при этом тепло в патроне предохранителя может привести к его разрушению до момента отключения.

Малые токи могут иметь место, например, при достаточно удаленном коротком замыкании (КЗ) на тупиковой линии. Замыкание на землю воздушной линии КЗ со стороны низкого напряжения силового трансформатора может также привести к протеканию через предохранитель сравнительно небольшого тока перегрузки, если номинальный ток предохранителя выбран в несколько раз больше, чем номинальный ток трансформатора для отстройки от броска тока намагничивания холостого трансформатора.

Если предохранитель выбран с двукратным запасом, то для него это 10-кратный ток по отношению к его номинальному току. Фактически же, необходимо считаться с тем, что вследствие дополнительного сопротивления цепи КЗ ток будет меньше, т.е. необходимо, чтобы предохранитель смог отключить, по крайней мере, семикратный ток. Если предохранитель выбран с трёхкратным запасом, он должен отключать 5-кратный ток по отношению к его номинальному току и т.д. Таким образом, для повышения надежности является совершенно несомненным требование, чтобы предохранители отключали надежно и без внешних повреждений также и небольшие токи перегрузки.

Трудности отключения больших токов состоят в том, что в процессе отключения этих токов в патроне предохранителя выделяется энергия в несколько сотен килоджоулей, что приводит к тепловому удару и значительному повышению давления внутри патрона. Кроме того, значительных величин могут достигать перенапряжения, что вызвано спецификой отключения тока предохранителем, а именно резким обрывом тока, наличием индуктивностей в сети и другими факторами. Чтобы обеспечить надежное отключение предохранителем токов

перегрузки, плавкая вставка выполняется из нескольких параллельно включенных проводников переменного сечения. Для уменьшения времени плавления плавкой вставки используется так называемый «металлургический эффект».

Качество предохранителей определяется в решающей степени качеством его конструктивных элементов. Основными конструктивными элементами предохранителя являются: заменяемый элемент (один или два патрона), контакты и опорные изоляторы. Заменяемый элемент состоит из изоляционного корпуса, армированного с обеих сторон контактными колпаками, заполненного дугогасящим наполнителем, внутри которого находится плавкий элемент. Корпуса патронов предохранителей испытывают воздействие высокого напряжения, высоких температур и значительных давлений.

Наихудшими характеристиками, с точки зрения перечисленных выше воздействий, обладают корпуса, изготовленные из стеклянных трубок. Так, для стеклянных трубок, по сравнению с фарфоровыми, выдерживаемое испытательное давление почти в два раза меньше, стойкость к температурам в два раза ниже. Следствием этого является крайняя нежелательность применения стекла для предохранителей, так как его применение приводит к существенному ухудшению значений удельных характеристик (номинальных и отключаемых токов на единицу объема и т.д.). Стекло обладает и многими другими недостатками, например, нетехнологичностью, с точки зрения заделки концевых колпаков. Поэтому в зарубежной практике в качестве основного материала для корпусов патронов предохранителей применяется фарфор, а некоторые фирмы используют даже стеатит (например, фирма Driescher для предохранителей с номинальным током выше 25 А) и стеклопластиковые трубы. Вынужденное применение стекла привело почти к двойному снижению номинальных токов и токов отключения для более чем двадцати типоразмеров предохранителей. Установлено существенное влияние водонепроницаемости патронов предохранителей на их отключающую способность и другие характеристики, поэтому водонепроницаемость является важнейшим параметром, характеризующим качество изготовления патронов предохранителей.

Наиболее надежным для обеспечения водонепроницаемости решением является изготовление патрона предохранителя с применением фарфоровой трубы, имеющей с двух сторон канавки, на которые завальцовываются колпаки с применением соответствующих герметиков. В настоящее время фарфоровые трубы выпускают ОАО «Камышловский фарфоровый завод» (Свердловская обл.), ОАО «Элиз» (г.Пермь). Однако указанные заводы изготавливают трубы по ГОСТ 5862, требования кото-

рого гораздо ниже требований, указанных в чертеже на трубу, предназначенную для изготовления предохранителей, в частности, по допускам на прогиб, овальность и т.п. По имеющимся сведениям, возобновить выпуск фарфоровой трубки намеревается Великолукский завод высоковольтной аппаратуры. Многие изготовители в целях выхода из создавшегося положения в качестве альтернативы стали применять любые предлагаемые трубки из различных материалов, например, боросиликатного стекла, кварцевого стекла, стеклопластика и т.д., что, несомненно, без соблюдения определенных рекомендаций по их применению приводит к ухудшению качества патронов в целом. В последнее время неплохо зарекомендовали себя трубки для предохранителей из кварцевого стекла, выпуск которых наладило ЗАО «ИКОСИЛ» в г. С.-Петербург. Трубки из прозрачного кварцевого стекла, изготовленные этим предприятием для применения в предохранителях ПКТ101, по большинству физико-химических показателей не уступают трубкам из фарфора, а по стойкости к термоударам превосходят их более чем в три раза. Однако кварцевое стекло несколько уступает фарфору по ударной прочности. ЗАО «ИКОСИЛ» продолжает совершенствовать свою продукцию и в ближайшее время намерено наладить выпуск трубок для предохранителей ПКТ102.

Что касается стеклопластиковых корпусов, то можно рассматривать их применение в перспективе, поскольку такая конструкция корпуса качественно изменяет предохранители в целом, а значит и технологию их сборки. Кроме того, стоимость таких предохранителей примерно в 1,5 раза превышает стоимость предохранителей с трубками из фарфора.

Годовая потребность в предохранителях может быть оценена, исходя из общего числа предохранителей, находящихся в эксплуатации и необходимого числа предохранителей, подлежащих замене из-за срабатывания при отключении аварийных токов и истечения срока службы. Для нормальной эксплуатации энергосистем в странах СНГ необходимо обеспечить производство патронов не менее 1 млн. патронов шт. в год только для плановой замены.

Составной частью целого ряда предохранителей является сердечник. Достоинством такого предохранителя является то, что плавкие элементы, навитые на сердечник, не смещаются с места при трясках и вибрациях. До недавнего времени предохранители, выпускаемые в России, комплектовались сердечниками, изготовленными на керамическом заводе в г. Бендеры. Но после того, как этот завод выпуск сердечников практически прекратил, их производство, после некоторого перерыва, было возобновлено тамбовским заводом «Революционный труд».

Наиболее подходящим материалом для плавко-

го элемента является серебро. Это обусловлено тем, что серебро имеет высокую и стабильную электрическую проводимость. Серебряные плавкие элементы хорошо работают в непрерывном режиме, при циклических нагрузках и перегрузках, на воздухе и в песчаном наполнителе. После окончания этих воздействий электрическое сопротивление серебряного плавкого элемента возвращается к исходному значению. Плавкие элементы из серебра имеют максимальный, по сравнению со всеми другими используемыми материалами, срок службы. Другим, наиболее близким к серебру по физическим свойствам материалом, является медь. Однако медь интенсивно окисляется, а ее окись стабильна вплоть до температуры плавления меди. Благодаря стабильности пленка могла бы быть защитной, если бы не механические повреждения, возникающие при изменении температуры и препятствующие адгезии пленки к чистому металлу. Вследствие воздействия этих сил окисная пленка растрескивается и отслаивается, облегчая тем самым развитие коррозии. Для предотвращения этого разрушительного явления традиционно используется гальваническое серебрение. Однако и оно не позволяет надежно защитить плавкий элемент из меди от окисления. Применение других материалов, например, цинка или алюминия, не нашло достаточного воплощения в высоковольтных предохранителях из-за несоответствия ряду параметров. Поэтому использование в отечественной практике плавких элементов из серебра позволило бы не только улучшить характеристики предохранителей, но и повысить их качество. Однако высокие цены на серебро, необходимость ведения строгой отчетности по использованию драгметалла, наличие специальных разрешений и т.п. сдерживают его широкое применение.

Для изготовления колпаков к предохранителям применяется латунь с покрытием «олово-висмут», химическим пассивированием или никелированием.

В зарубежной практике в качестве материала колпаков используется только медь с покрытием серебром (фирма Wickmann, Германия), сплав «Е-СИ» (фирма SIBA, Германия), а иногда алюминий (фирма EJF, Чехия). Применение меди для колпаков обусловлено лучшей ее теплопроводностью по сравнению с латунью, что ведет за собой уменьшение температуры как на колпаках, так и на корпусе предохранителя.

Выводы

1. Проектирование новых серий предохранителей, отвечающих современным требованиям, возможно без соответствующей организации производства комплектующих изделий.

2. Необходим отказ от перезарядки патронов в кустарных условиях, когда нет соответствующей возможности проверки использованных трубок высоким давлением, а повторная перезасыпка патронов осуществляется уже использованным песком.

3. Только приобретение предохранителей, имеющих соответствующие сертификаты, выданные на основании сертификационных испытаний аккредитованными для этих целей испытательными центрами высоковольтного оборудования, обеспечит надежную защиту дорогостоящего оборудования.

Список литературы

1. Чунихин А.А., Жаворонков М.А. *Аппараты высокого напряжения*. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 220 с.
2. Сайт закрытого акционерного общества «АВК-Энерго» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://avkenergo.ru/avkcatalog/pred>.

Поступила в редколлегию 9.06.2008

Рецензент: канд. техн. наук, доцент В.Ф. Красноперов, Украинская инженерно-педагогическая академия, Харьков.

СУЧАСНИЙ СТАН ВИРОБНИЦТВА Й ЗАСТОСУВАННЯ ВИСОКОВОЛЬТНИХ ЗАПОБІЖНИКІВ, ЩО ОБМЕЖУЮТЬ СТРУМ

О.Б. Єгоров, О.Ю. Єгорова

У статті розглянуто сучасні конструкції захисних апаратів. Аналізуються особливості роботи високовольтних запобіжників, що впливають на їхню конструкцію. Порівнюються електричні апарати різних виробників. Визначені умови для надійного захисту дорогого устаткування. Надано рекомендації із забезпечення надійного захисту обладнання від струмів коротких замикань і струмів перевантаження.

Ключові слова: високовольтний запобіжник, плавка вставка, металургійний ефект, апарати захисту, плавкий елемент.

MODERN STATE OF PRODUCTION AND APPLICATION OF HIGH-VOLTAGE CURRENT-LIMITING SAFETY DEVICES

A.B. Yegorov, O.Yu. Yegorova

In the article modern constructions of protective vehicles are examined. Features of works of high-voltage current-limiting safety devices are analysed, influencing on their construction, electrical vehicles of different producers are compared. Terms are certain for reliable defence of expensive equipment. Recommendations on providing of reliable defence of equipment from the currents of short circuits and overcurrents are given.

Keywords: high-voltage safety device, fusible insertion, metallurgical effect, vehicles of defence, fusible element.