

Проблемы повышения надёжности систем оперативного питания РЗА на постоянном токе

Владимир ГУРЕВИЧ, к.т.н.,
начальник сектора Центральной электрической лаборатории
Электрической компании Израиля, г. Хайфа

Цепи оперативного питания постоянного тока являются важнейшими системами подстанций и электростанций, от надёжности которых зависит способность подстанций и электростанций выполнять свои функции в энергосистеме. Поэтому к надёжности этих систем предъявляются особые требования, а проблемы и решения в этой области обсуждаются на международных научно-практических конференциях [1].

Одним из путей повышения надёжности систем оперативного постоянного тока (СОПТ) является её резервирование. Известны решения этой проблемы за счёт использования двух групп аккумуляторных батарей (АБ) и зарядных устройств (ЗУ). Каждая из этих групп может состоять из одной АБ и одного или двух зарядных устройств (ЗУ) и быть включённой на свою секцию шин щита постоянного тока (ЩПТ). Секции объединены между собой через рубильник (переключатель), находящийся в разомкнутом состоянии в нормальном режиме работы. От этих секций шин получают питание сборки шкафов распределения оперативного тока (ШРОТ), от которых питаются устройства релейной защиты и автоматики (РЗА). Согласно [2] в СОПТ должен быть предусмотрен ручной ввод резерва с помощью рубильников (или переключателей с ручным приводом). Однако в [3] предусмотрено также и автоматическое резервирование цепей постоянного тока. Согласно п. 8.6 [3] для автоматического включения резервного питания устройств РЗА сборки ШРОТ могут подключаться к секциям ЩПТ через разделительные диоды. Такие диоды довольно редко применяются в России и странах СНГ, но широко используются в цепях питания РЗА на Западе. Один из вариантов так называемого «горячего» резервирования цепей питания РЗА с помощью диодов, широко применяющийся в некоторых странах, показан в упрощённом виде на рис. 1.

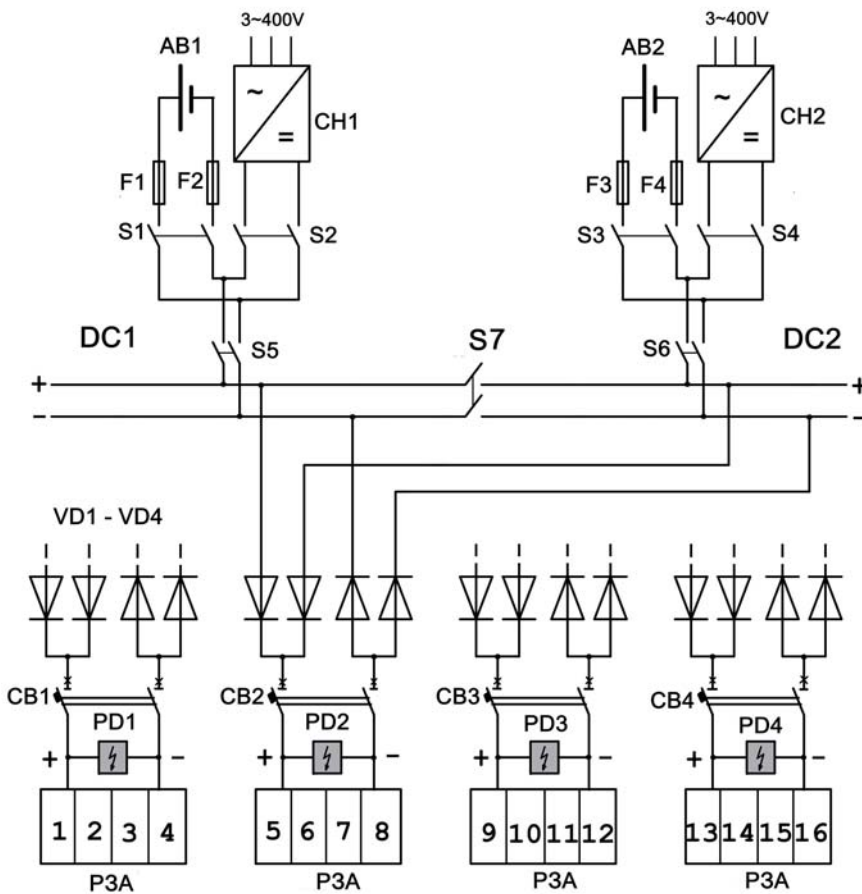
В этой схеме все устройства РЗА (основная и резервная защита) разделены на несколько групп (не более 3–4 на одной подстанции). Каждая такая группа получает питание сразу от двух секций шин постоянного тока DC1 и DC2 через 4 диода, обе-

спечивающие разделение между положительными и отрицательными полюсами этих двух секций шин СОПТ. Такое техническое решение просто, эффективно, не содержит коммутационных аппаратов и обеспечивает надёжное резервирование цепей питания РЗА.

Однако, несмотря на все её положительные качества, эта схема оказалась далеко не идеальной. Из практики её эксплуатации известны неоднократные случаи массовых повреждений устройств РЗА из-за сложения напряжений DC1 и DC2 через диоды. Это происходит, как правило, при проведении наладочных или ремонтных работ в СОПТ или при не выявленном вовремя замыкании на землю цепи, соединённой с одним полюсом DC1, и последующим внезапным замыканием на землю цепи, соединённой с противоположным полюсом DC2. При этом к устройствам РЗА оказывается приложенным напряжение около 450 В, приводящее к выходу из строя всех устройств, оказавшихся под этим напряжением. Учитывая высокую стоимость современных микропроцессорных устройств релейной защиты (МУРЗ), а также опасность непредсказуемых последствий внезапных массовых отказов многофункциональных устройств РЗА, становится понятной степень опасности, которой подвергается энергосистема при использовании такой схемы.

Анализ массовых повреждений МУРЗ после очередного события, описанного выше, показал, что повреждаются в основном модули источников питания и модули логических входов. В большинстве случаев эти повреждения ограничиваются перегоранием варисторов во входных цепях, подключённых к внешнему источнику оперативного напряжения, но бывают и случаи повреждения электронных компонентов, расположенных за варисторами. Варисторы — нелинейные резисторы, сопротивление которых зависит от приложенного напряжения, предназначены для защиты от коротких импульсов перенапряжения, возникающих в СОПТ и поступающих в цепи питания и на входы МУРЗ. В связи с тем, что крутизна вольт-амперной характеристики (ВАХ)

Рис. 1. Упрощённая схема резервирования питания групп РЗА с помощью диодов



варисторов далеко не идеальна, они выбираются таким образом, чтобы рабочая точка при номинальном рабочем напряжении была бы далека от области высокой нелинейности, а ток через варистор не превышал бы 1 мА. При таких условиях мощность, постоянно рассеиваемая на варисторе, не будет превышать максимально допустимую, варистор не будет разогреваться и сохранит высокий срок службы. По этой причине для напряжения оперативного питания 240 В выбирают, как правило, варисторы класса 431 (например, типа 10D431K) с напряжением срабатывания (clamping voltage) 710 В. При поступлении на вход электронной схемы, защищённой варистором, короткого импульса с амплитудой напряжения, превышающей 710 В, он переходит в нелинейную область ВАХ, его сопротивление резко уменьшается и он закорачивает вход, рассеивая энергию импульса. После окончания импульса, если его энергия не превышала допустимую для варистора энергию рассеивания, он полностью восстанавливает свои первоначальные свойства. При приложении к варистору напряжения, превышающего его номиналь-

ное значение, но не достигшего величины напряжения срабатывания, варистор «застрянет» на нелинейном участке характеристики и начнёт сильно разогреваться. При этом электронные компоненты, расположенные за варистором, будут подвергаться воздействию повышенного напряжения. В зависимости от мощности конкретного варистора и его реальной ВАХ в таком режиме варистор полностью разрушается и переходит в режим постоянного короткого замыкания за время от

долей секунды до нескольких секунд. При этом через него проходит ток, достаточный для срабатывания автомата, отключающего питание данной группы уже повреждённых МУРЗ.

В принципе возникновение такого режима может быть исключено при работе СОПТ в режиме с постоянно замкнутым рубильником S7, но такой режим работы вряд ли приемлем, поскольку при этом короткое замыкание в цепях одной из секции шин DC1 или DC2 приведёт к полному пропаданию оперативного питания. По этой причине в [2] параллельная работа двух аккумуляторных батарей запрещена.

Реально защитить устройства РЗА от повреждений в такой схеме питания можно с помощью специальных защитных устройств PD, включённых между плюсом и минусом входных цепей сборок ШРОТ, от которых питаются группы устройств РЗА (рис. 1). Каждое защитное устройство имеет очень простую конструкцию и смонтировано на алюминиевой панельке с размерами 80x65 мм (рис. 2).

Это устройство содержит тиристор VS типа MCO 100-12i01; супрессор VD типа 1.5KE300A; ограничитель тока на резисторе R2 сопротивлением 10 Ом и мощностью 50 Вт, а также маломощный резистор R1 сопротивлением 200 Ом в цепи управляющего электрода тиристора. Схему желательно дополнить ещё одним небольшим резистором сопротивлением 300 Ом, включённым между катодом и управляющим электродом тиристора, что повысит его помехоустойчивость.

При нормальном рабочем напряжении тиристор VS заперт и ток через него и через токоограничивающий резистор R2 не протекает. При

Рис. 2. Схема и конструкция макетного образца защитного устройства PD

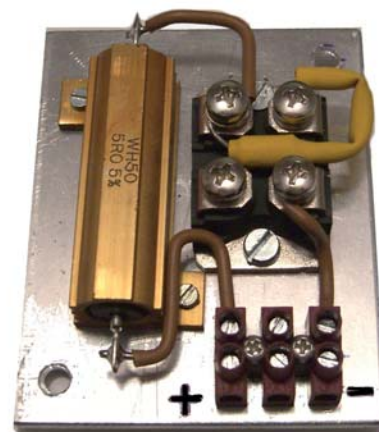
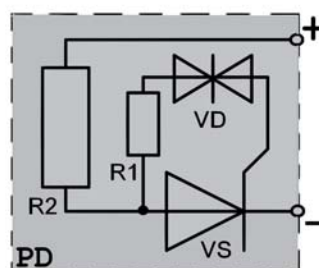
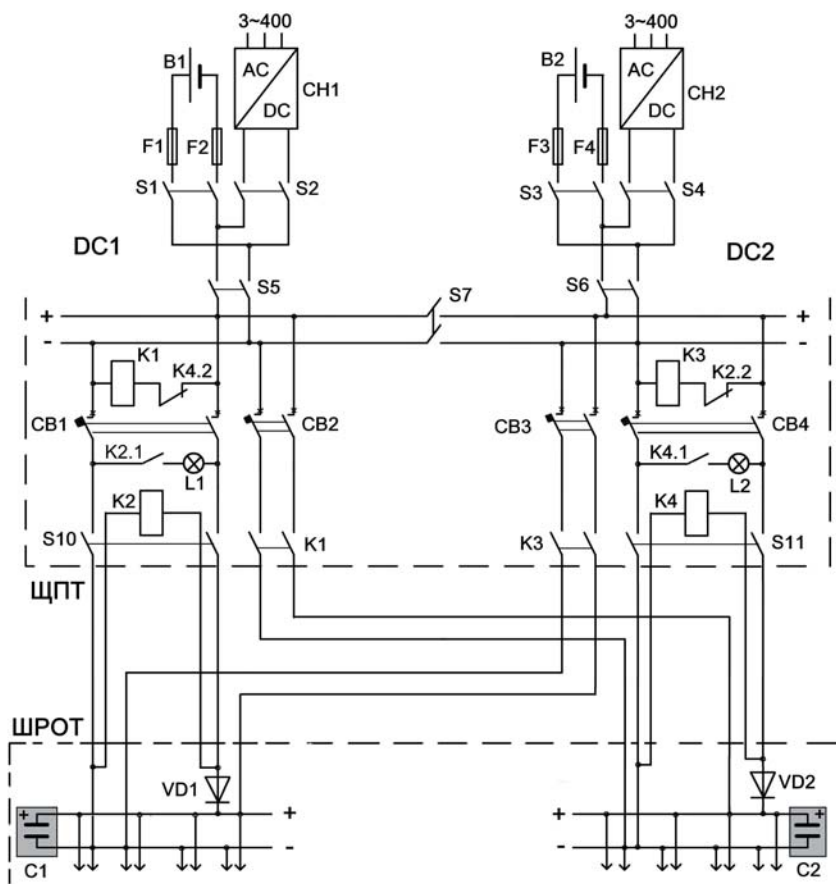


Рис. 3. Предлагаемая схема автоматического включения резерва (АВР) в СОПТ



возникновении двойного напряжения питания сопротивление супрессора VD резко уменьшается (при напряжении, превышающем 300 В), в цепи управляющего электрода тиристора VS возникает ток, приводящий к его отпиранию. Тиристор отпирается и включает низкоомный резистор R1 между плюсом и минусом входных цепей сборок ШРОТ, вызывая тем самым протекание через этот резистор (и через соответствующий защитный автомат СВ1 — СВ4) тока порядка 45 А. Под действием этого тока соответствующий автомат мгновенно срабатывает, обесточивая соответствующую группу устройств РЗА, предохраняя её от повреждений. Основной коммутационный элемент — тиристор типа МСО 100-12iо1 рассчитан на максимальный ток 156 А и импульсный ток 1400 А (в течение 10 мс), а его максимальное выдерживаемое напряжение достигает 1200 В. Выбор типа тиристора с такими большими запасами обусловлен необходимостью обеспечения высокой надёжности устройства. Время отпирания тиристора не превышает нескольких микросекунд, что обеспечивает очень высокое (в интервале единиц

микросекунд) быстродействие описанного защитного устройства, то есть его высокую эффективность. Стоимость комплекта элементов для этого устройства составляет около 40 долларов США. Описанное выше техническое решение можно применять в уже существующих СОПТ. Во вновь проектируемых системах СОПТ рекомендуется вообще отказаться от использования разделительных диодов, являющихся потенциальным источником опасности, и выполнять её в виде двух разделённых секций шин, снабжённых устройством АВР, например так, как это показано на рис. 3. Предлагаемая система АВР образована двумя маломощными промежуточными реле К2 и К4, а также двумя реле К1 и К3 с мощными контактами, рассчитанными на коммутацию постоянного тока при напряжении 240 В. Схема выключена и потребители обесточены при разомкнутых рубильниках S10, S11 и выключенных автоматах СВ1 — СВ4. Порядок включения питания потребителей следующий: СВ1 — S10 — СВ4 — S11 — СВ2 — СВ3. При этом все потребители ШРОТ будут запитаны, контакторы К1

и К2 разомкнуты, схема находится в нормальном рабочем режиме. Сигнальные лампы L1 и L2 (или любой другой вид сигнализации) включены, что свидетельствует об исправности цепей контроля напряжения, выполненных на реле К2 и К4. При пропадании питания на одной из секций (DC1 или DC2), отключении одного из автоматов (СВ1 или СВ4) или обрыве проводов цепи питания, соединяющих ЩПТ и ШРОТ, отпускает соответствующее реле К2 или К4, включая своими нормально замкнутыми контактами соответствующее силовое реле К1 или К3, обеспечивающее резервное питание всех потребителей от одной исправной секции шин. В момент переключения реле АВР возможны кратковременные (в течение 40 — 60 мс) перерывы электропитания устройств РЗА. Такой перерыв электропитания МУРЗ, как правило, не приводит к выводу их из работы. Согласно международному стандарту [4] МУРЗ должны выдерживать без сбоев в работе перерывы электропитания длительностью от 10 мс до 1 сек (по усмотрению производителя). Измеренные нами фактические значения выдерживаемых перерывов питания для многих типов МУРЗ ведущих западных производителей составили 1,2—3,8 сек. Да и МУРЗ российского производства, согласно действующим техническим требованиям, должны выдерживать без перезагрузки перерывы питания длительностью до 500 мс, что более чем достаточно для действия АВР. Однако от цепей постоянного тока питается также множество промежуточных электромагнитных реле, нарушения в работе которых на время действия АВР недопустимо. Для предотвращения перерывов электропитания в схеме АВР предусмотрен специальный блок С, поддерживающий питание устройств РЗА в течение этого времени (рис. 4). Этот блок выполнен на основе конденсатора большой ёмкости (3700 мкФ, 400 В), снабжённого предохранителем с высокой разрывной способностью, резистором и диодом. В этой схеме заряд конденсатора при включении его под напряжение происходит через резистор, ограничивающий зарядный ток на уровне 1—2 ампер, а разряд — напрямую, через диод VD. Благодаря такой схеме включения конденсатор не создаёт бросков тока, способных вызвать срабатывание автоматических выключателей,

но в то же время обеспечивает достаточно большой ток разряда, необходимый для питания потребителей в течение нескольких десятков миллисекунд, затрачиваемых на переключение реле устройства АВР.

В качестве силовых в устройстве могут быть использованы широко распространённые реле типа RXMH-2 (производство компании АВВ), которые имеют 8 массивных контактных групп мостикового типа (то есть с двойным разрывом) с большой отключающей способностью на постоянном токе. Длительно пропускаемый ток через один замкнутый контакт — 10 А, кратковременно — 135 А, ток включения индуктивной нагрузки на постоянном токе напряжением 250 В для двух параллельно включённых контактов — 30 А. Наличие большого количества контактных групп в этом реле позволяет использовать их параллельное и последовательное включение для ещё большего увеличения коммутационной способности (при необходимости).

Диоды VD1 и VD2 предотвращают подпитку места короткого замыкания (КЗ) от резервной секции шин при срабатывании АВР, а также разряд конденсатора через КЗ. В устройстве можно применить любые диоды на токи 100–250 А с выдерживаемым обратным напряжением 1200 В, выполненные в корпусах, удобных для крепления в шкафах и навесного монтажа под отвертку (рис. 5). Это диоды типов: VSKE196/12, VSKE250/12, VS-UFL230FA60, HFA200FA120P (Vishay); MEO450-12DA (IXYS), T110HF120 (International Rectifier) и др. Диоды должны быть установлены

Рис. 5. Современные диоды на токи 100 — 250 А и напряжение 1200 В, выполненные в корпусах, удобных для крепления и монтажа в шкафах СОПТ



на внутренней стенке металлического шкафа или, если такой возможности нет, на алюминиевой пластине толщиной 5–6 мм с размерами не менее 200x200 мм.

В последнее время некоторыми ведущими мировыми производителями начато производство МУРЗ с двумя независимыми внутренними источниками питания, работающими параллельно в режиме горячего резерва. Такие МУРЗ могут быть запитаны от двух разных секций шин СОПТ без всяких дополнительных технических ухищрений. Однако количество таких типов МУРЗ ещё очень невелико и они заметно дороже обычных. Кроме того, при наличии в одном шкафу релейной защиты 3–4 МУРЗ со сдвоенным источником питания каждый получается 6–8 источников питания в одном шкафу. Возникает вполне законный вопрос о логичности и технико-экономической целесообразности такого решения. Уж лучше выпускать МУРЗ вообще без

встроенного источника питания и все устройства, расположенные в данном шкафу, питать от двух источников питания повышенной надёжности, общих на весь шкаф [5, 6]. Но это дело будущего, а пока в энергосистемах приходится иметь дело с весьма разнородным парком МУРЗ, для которого нужны технические решения сегодняшнего дня. Кроме того, использование специальных МУРЗ с двумя встроенными источниками питания не решает проблему пита-

ния промежуточных электромагнитных реле.

Предложенные в данной статье технические решения могут послужить основой для проектирования недорогих систем оперативного питания постоянного тока повышенной надёжности, пригодных для питания устройств РЗА любых типов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Новые решения по построению высоконадёжных систем постоянного тока для объектов энергетики. Мировые тенденции. — Первая международная научно-практическая конференция, 17–18 февраля 2005, Москва.
2. СТО 56947007-29.120.40.093-2011. Руководство по проектированию систем оперативного постоянного тока (СОПТ) ПС ЕНЭС. Типовые проектные решения. — Стандарт организации. ОАО «ФСК ЕЭС». Введён 01.06.2011.
3. СТО 56947007-29.120.40.041-2010. Системы оперативного постоянного тока подстанций. Технические требования. — Стандарт организации. ОАО «ФСК ЕЭС». Введён 29.03.2010.
4. IEC 60255-1. Measuring relays and protection equipment — Part 11: Voltage dips, short interruptions, variations and ripple on auxiliary power supply port.
5. Гуревич В.И. Микропроцессорные устройства релейной защиты: настоящее и будущее — «Вести в электроэнергетике», 2007, № 5, с. 39–45.
6. Гуревич В.И. Новая концепция построения микропроцессорных устройств релейной защиты. — «Компоненты и технологии», 2010, № 6, с. 12–15.

Рис. 4. Блок, поддерживающий питание устройств РЗА при переключениях АВР

