

Авторы:

к.т.н. Гуревич В.И.

Электрическая компания

Израиля,

г. Хайфа, Израиль.

СНИЖЕНИЕ УЯЗВИМОСТИ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ УСТРОЙСТВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ К ПРЕДНАМЕРЕННЫМ ДИСТАНЦИОННЫМ ДЕСТРУКТИВНЫМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ

Аннотация: В статье приведено описание нового метода защиты микропроцессорных устройств релейной защиты (МУРЗ) от кибератак и преднамеренных электромагнитных деструктивных воздействий, основанного на аппаратных, а не программных средствах. Описанное схемотехническое решение может послужить основой для конкретных разработок устройства, пригодного для промышленного производства.

Ключевые слова: микропроцессорные устройства релейной защиты; кибербезопасность; электромагнитный импульс; уязвимость релейной защиты; надежность.



Гуревич

Владимир Игоревич

Год рождения: 1956.

В 1978 г. окончил факультет электрификации Харьковского национального техн. университета

им. П. Василенко.

В 1986 г. защитил кандидатскую диссертацию по специальности «Электрические аппараты». Работал преподавателем Харьковского национального техн. университета им. П. Василенко; глав. инженером и директором Научно-технического предприятия «Инвертор» (г. Харьков). С 2007 г. – эксперт комитета ТС-94 МЭК.

В настоящее время – начальник сектора Центральной лаборатории Электрической компании Израиля.

Современные тенденции замены электро-механических реле защиты (ЭМРЗ) микропроцессорными устройствами релейной защиты (МУРЗ) обусловили появление совершенно новой проблемы, не известной ранее в релейной защите. Такой проблемой является возможность преднамеренного дистанционного деструктивного воздействия (ПДДВ) на релейную защиту с целью выведения ее из строя или принудительного выполнения операций, не связанных с текущим режимом работы защищаемого электрооборудования. В структуре современной энергосистемы МУРЗ являются самым критичным звеном [1], которое с одной стороны наиболее уязвимо к ПДДВ, а с другой – непосредственно связано с силовыми коммутационными аппаратами, влияющими на состояние энергосистемы. Поэтому именно на МУРЗ и направлены в первую очередь ПДДВ в виде кибератак [2] и преднамеренных электромагнитных деструктивных воздействий (ПЭДВ) [3]. Специальные исследования, проведенные комитетом В5 СИГРЭ и представленные в его отчете, подтвердили актуальность проблемы и вывод о том, что расширение применения самого современного стандарта IEC 61850 с его GOOSE-сообщениями и современных сетевых технологий Ethernet в релейной защите приводит к росту ее уязвимости к ПДДВ [4]. Не менее опасными с этой точки зрения являются и технологии Smart Grid [5].

Осознание проблемы кибербезопасности МУРЗ в последние годы привело к интенсификации многочисленных исследовательских работ, связанных, в основном, с совершенствованием компьютерных протоколов связи, предназначенных для

релейной защиты и повышением их криптостойкости. До недавнего времени именно в этом направлении и были сосредоточены все усилия специалистов. Что касается проблемы ПЭДВ, то ею, похоже, пока вообще никто серьезно не занимается. Между тем, еще 17 лет тому назад, когда проблемы МУРЗ лишь начали вырисовываться, автором была предложена в общем виде идея высокоэффективной комбинированной защиты МУРЗ и от кибератак и от ПЭДВ с помощью аппаратных, а не программных средств. Это устройство защиты, работающее на принципе шунтирования чувствительных входов МУРЗ посредством быстродействующих электро-механических реле на герконах [6]. В последующем, идея применения быстродействующих электро-механических реле на герконах совместно с МУРЗ для снижения их уязвимости к ПДДВ была проработана автором более тщательно [7, 8].

Как нами уже было неоднократно показано ранее, задачу повышения надежности релейной защиты невозможно решить при совмещении функций МУРЗ с функциями, не имеющими отношения к РЗ, например таких популярных, как мониторинг исправности электрооборудования, дистанционное управление выключателями и т.п. МУРЗ должны использоваться исключительно для решения задач релейной защиты. Тем более, что для решения других задач, например, для мониторинга электрооборудования, сегодня на рынке имеется огромное количество специализированных устройств, от простейших реле, контролирующих целостность цепи отключающей катушки выключателя, до сложнейших комплексов, контролирующих в режиме реального времени состав газов,



растворенных в масле трансформаторов или уровень частичных разрядов в изоляции. Что касается дистанционного управления выключателями посредством МУРЗ, то при таком его использовании очень трудно отличить санкционированный дистанционный доступ от несанкционированного, поэтому такое использование МУРЗ должно быть исключено. Тем более, что при разделении функций удается достаточно простыми аппаратными средствами обеспечить защиту от ПДДВ и системы дистанционного управления выключателями [9].

Общая идея, лежащая в основе предлагаемого аппаратного метода защиты МУРЗ от ПДДВ, заключается в использовании совместно с МУРЗ электромеханического пускового органа на герконах (ПО), функционально включенного последовательно с МУРЗ, и быстродействующих электромеханических исполнительных элементов (RR1–RR7), обеспечивающих блокировку чувствительных входов МУРЗ и отключение его выходной цепи, рис. 1. Возврат сработавшего ПО в исходное состояние осуществляется по факту срабатывания выключателя и дублируется командой СБРОС по истечении заранее заданного небольшого промежутка времени.

Без активации током и/или напряжением такого пускового органа, МУРЗ не сможет воздействовать на режим работы энергосистемы, даже будучи подвергну-

тым воздействию ПДДВ или просто мощной электромагнитной помехи. Если же пусковой орган был активирован и МУРЗ деблокирован, то ничего не мешает использованию особых характеристик и широких функциональных возможностей МУРЗ. При этом излишние срабатывания самого пускового органа никак не влияют на работу релейной защиты и поэтому никаких особых требований к точности срабатывания пускового органа не предъявляется. Важно лишь, чтобы он срабатывал всегда до МУРЗ, то есть имел несколько меньшие уставки срабатывания по контролируемому параметру. Если срабатывание пускового органа оказалось излишним и срабатывания МУРЗ не произошло, то устройство автоматически возвращается в исходное состояние. Основными техническими требованиями к такому устройству являются его высокая надежность, нечувствительность к коротким импульсным (микро- и наносекундного диапазона) и высокочастотным помехам, стойкость к значительным перенапряжениям, высокий уровень гальванической развязки от внешних цепей, высокое быстродействие на срабатывание (несколько миллисекунд).

В данной статье приведено описание усовершенствованного устройства, предназначенного для защиты МУРЗ от ПДДВ, удовлетворяющего сформулированным выше требованиям, рис. 2.

Работает устройство следующим образом. В исходном состоянии, при нормальном режиме работы защищаемого объекта, все входные герконовые реле (датчики тока, напряжения и т.д.) RR1–RR3 находятся в отпущенном состоянии. Тиристор VT1 заперт, катушки исполнительных герконовых реле RR4–RR7 обесточены. Нормально замкнутые контакты RR5 и RR6 закорачивают логические входы МУРЗ, контакты RR4 – канал связи, а контакты RR7 разрывают выходную цепь МУРЗ. Таким образом, в этом состоянии МУРЗ оказывается полностью заблокирован и по входу и по выходу и никакие ПДДВ не могут привести к ложному его срабатыванию и несанкционированному замыканию цепи отключающей катушки выключателя СВ. Шунтирование логических входов МУРЗ и канала связи повышает также его живучесть при воздействии мощного электромагнитного импульса.

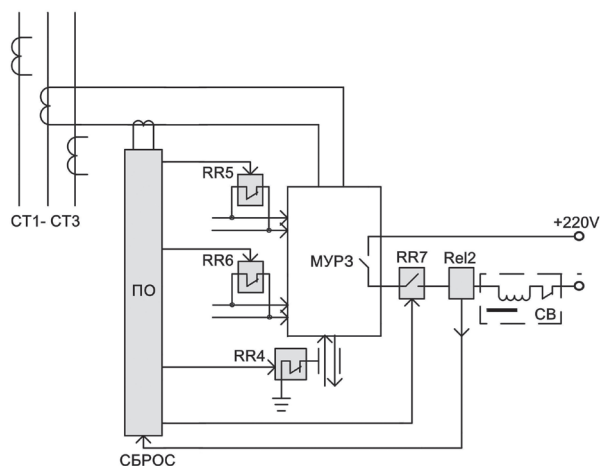


Рис. 1. Структурная схема устройства защиты МУРЗ от ПДДВ

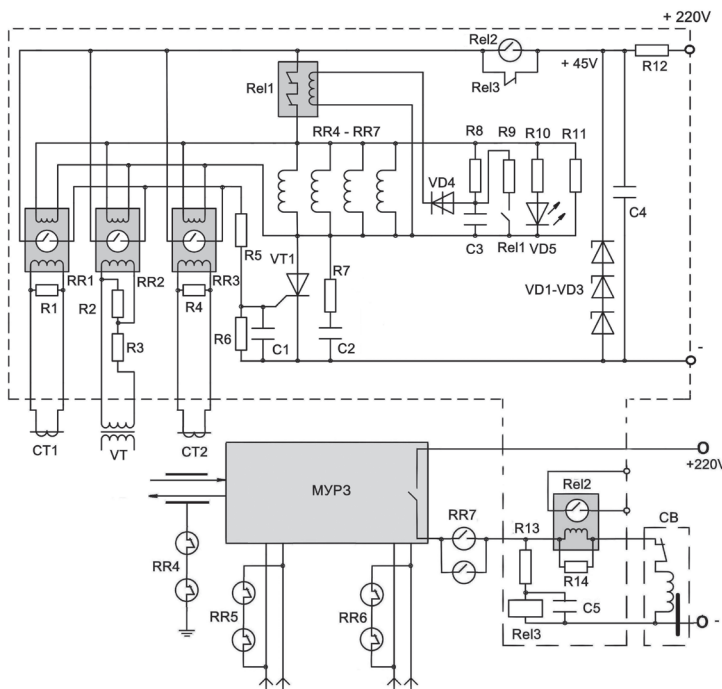


Рис. 2. Усовершенствованная схема устройства защиты МУРЗ от ПДДВ



При возникновении аварийного режима защищаемого объекта, хотя бы один из контролируемых параметров (ток, напряжение, мощность) резко изменяется. Это изменение приводит к срабатыванию хотя бы одного из герконовых реле RR1- RR3 за время не более 1 мс. При срабатывании начинает вибрировать с удвоенной частотой сети геркон соответствующего реле. При первом же замыкании контактов этого геркона отпирается за время в несколько микросекунд тиристор VT1 и катушки исполнительных герконовых реле RR4-RR7 получают питание. Срабатывание реле RR4-RR6 (размыкание герконов) происходит за время не более 2-4 мс, а замыкание мощных контактов герконового реле RR7 на герконе типа Bestact R15U – за время не более 5 мс. Таким образом, суммарное время реакции всего устройства на аварийный режим не превышает 6 мс, что при собственном минимальном времени срабатывания МУРЗ 30-40 мс вполне приемлемо. В таком режиме работы устройства защиты МУРЗ будет полностью разблокировано и возвращено в нормальный режим функционирования с сохранением всех его уставок и характеристик.

Как видно на схеме рис. 1, каждое из входных реле (датчиков) снабжено второй обмоткой на герконе, которая получает питание от источника постоянного напряжения при отпирании тиристора VT1. Благодаря дополнительному магнитному полю, создаваемому этой обмоткой, геркон сработавшего реле перестает вибрировать и переходит в стабильное замкнутое состояние.

После того, как МУРЗ отработает заданную его характеристикой выдержку времени, его внутренний выходной контакт замкнется и подаст напряжение на отключающую катушку выключателя СВ. Ток, протекающий в цепи отключающей катушки выключателя, приводит к срабатыванию герконового реле Rel2 с мощным герконом типа Bestact R15U и замыканию его контактов, включенных параллельно нормально замкнутым контактам Rel3. С некоторой очень небольшой задержкой по времени (порядка 20-50 мс), срабатывает реле Rel3. Эта выдержка времени необходима для того, чтобы контакт

реле Rel2 всегда замыкался до размыкания контакта Rel3.

В конце цикла срабатывания выключателя СВ размыкается его блок-контакт и разрывается цепь питания отключающей катушки. При этом отпускает реле Rel2 и его контакт разрывает анодную цепь тиристора VT1, который при этом мгновенно запирается, обесточивая обмотки реле RR4-RR7 и обмотки постоянного тока реле RR1-RR3. Все устройство быстро возвращается в исходное состояние и готово к новому циклу работы.

Если срабатывание устройства оказалось излишним и МУРЗ не выдало команду на отключение выключателя, цепь питания тиристора VT1 будет кратковременно разорвана нормально замкнутым контактом реле Rel1, после заряда конденсатора С3 через резистор R8 и отпирания динистора VD4. Емкость этого конденсатора и сопротивление резистора обеспечивают выдержку времени в несколько секунд, превышающую максимально возможное время, необходимое для завершения полного цикла работы МУРЗ, чтобы не мешать его работе, если она необходима. Срабатывание реле Rel1 кратковременное, поскольку сразу после его срабатывания и размыкания нормально замкнутого контакта в цепи тиристора, замыкается его нормально разомкнутый контакт и разряжает конденсатор С3 через низкоомный резистор R9, обеспечивая его полный разряд и возврат в исходное состояние. При этом динистор VD4 запирается и катушка реле Rel1 обесточивается. Таким образом осуществляется принудительный возврат устройства в исходное состояние, если его срабатывание оказалось излишним.

Резистор R11 необходим для увеличения тока, протекающего через мощный тиристор VT1 и его надежного удержания в проводящем состоянии. Светодиод VD4 является индикатором состояния устройства.

С целью повышения надежности устройства и его стойкости к ПЭДВ в нем применено всего лишь несколько полупроводниковых приборов и они выбраны с очень большими запасами по напряжению и току, которые в обычной аппарату-

ре промышленного назначения не применяются. Так, например, при рабочем напряжении 45 В, тиристор VT1 выбран на максимальное напряжение 1200 В, при рабочем токе в доли ампера он способен работать при токах в десятки ампер и пропускать кратковременные импульсы тока в сотни ампер. С многократными запасами по мощности выбраны также стабилизированные реле Rel1 и Rel3 выбраны герметичными с контактами повышенной мощности. Общие рекомендации по выбору элементной базы для устройства защиты и даже конкретные типы рекомендуемых компонентов приведены в [8].

Описанное схемотехническое решение призвано подтвердить техническую возможность реализации идеи защиты МУРЗ от ПДДВ помощью аппаратных, а не программных средств и может служить некоей отправной точкой для конкретных разработок устройства, пригодного для промышленного производства. Дальнейшие усилия должны быть направлены на разработку конструкций входных реле на герконах (датчиков тока и напряжения) с регулируемым порогом срабатывания. Опыт создания устройств такого типа уже имеется [10].

Литература

1. Гуревич В. И. Вопросы философии в релейной защите. – Мир техники и технологий, 2013, № 1, с. 56-58.
2. Гуревич В. И. Кибероружие против энергетики. – ПРО Электричество, 2011, №1, с. 26-29.
3. Гуревич В. И. Проблема электромагнитных воздействий на микропроцессорные устройства релейной защиты. Ч. 1. – Компоненты и технологии, 2010, № 2, с. 60-64.
4. The Impact of Implementing Cyber Security Requirements using IEC 61850. – CIGRE Working Group the B5.38, August 2010.
5. Гуревич В. И. Интеллектуальные сети: новые перспективы или новые проблемы? – «Электротехнический рынок», 2010, № 6 (ч. 1); 2011, № 1 (ч. 2).
6. Гуревич В. И. О некоторых путях решения проблемы электромагнитной совместимости релейной защиты в электроэнергетике. – Промышленная энергетика, 1996, № 3, с. 25-27.
7. Гуревич В. И. Электромеханические и микропроцессорные реле защиты. Возможен ли симбиоз? – Релейная защита и автоматизация, 2013, № 2, с. 75-77.
8. Гуревич В. И. Устройство защиты релейной защиты. – Control Engineering Россия, 2013, № 3, с. 47-51.
9. Гуревич В. И. Повышение защищенности дистанционного управления выключателями. – «Электроэнергия. Передача и распределение», 2013, № 5, с. 114-117.
10. Гуревич В. И. Герконовые реле с регулируемым порогом срабатывания. – Компоненты и технологии, 2013, № 11, с. 30-33.