



Автор:

к.т.н. Гуревич В.И.,

Электрическая компания

Израиля,

г. Хайфа, Израиль.

СНИЖЕНИЕ УЯЗВИМОСТИ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ УСТРОЙСТВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ: ОТВЕТЫ НА ВОПРОСЫ СПЕЦИАЛИСТОВ

Аннотация: в 4-м номере журнала за 2013 год была опубликована моя статья «Снижение уязвимости микропроцессорных устройств релейной защиты к преднамеренным дистанционным деструктивным воздействиям», вызвавшая большой интерес среди специалистов, и диалог с которыми показал, что не все технически важные вопросы были раскрыты в ней в достаточной степени. В данной статье даются ответы на задаваемые вопросы в процессе диалога с читателями журнала.

Ключевые слова: микропроцессорные устройства релейной защиты, геркон, 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.

В ряде предыдущих публикаций автора [1-3] была показана уязвимость микропроцессорных устройств релейной защиты (МУРЗ) к преднамеренным дистанционным деструктивным воздействиям – ПДДВ (электромагнитным и кибернетическим). В публикациях [4-6] обоснована необходимость защиты МУРЗ, а в публикации [6] описан конкретный метод защиты, основанный на совместном использовании МУРЗ и пускового органа на герконах, функционально включенного последовательно с МУРЗ и деблокирующего его только в том случае, когда хотя бы один из контролируемых параметров (ток, напряжение, угол между ними и т.д.) приближается к порогу срабатывания МУРЗ (рис. 1).

Сама постановка проблемы, а также предлагаемый метод защиты МУРЗ от ПДДВ настолько необычны и настолько отличаются от всего того, что было известно ранее, что неизбежно вызывают у специалистов море вопросов и шквал эмоций (увы, не всегда положительных). Отсутствие ответов в статьях, опубликованных ранее, на многие из воз-

никающих вопросов часто приводит к непониманию, а отсюда и к полному неприятию предлагаемого метода. Поэтому попробуем сформулировать наиболее часто задаваемые в дискуссиях на эту тему вопросы и дать на них ответы.

Вопрос 1. Судя по схеме, герконы навешиваются на МУРЗ со всех сторон, как гирлянды на елку?

Совершенно очевидно, что герконы не «навешиваются как гирлянды» на входы и выходы МУРЗ, а вместе со всеми остальными элементами предлагаемого устройства защиты располагаются внутри отдельного корпуса, аналогичного по конструкции корпусам МУРЗ, с той лишь разницей, что в нем нет необходимости в экране. При этом обеспечивается доступ к узлам регулирования порога срабатывания герконовых реле. Этот отдельный модуль снабжен такими же клеммными колодками для присоединения к внешним цепям, как и МУРЗ.

Вопрос 2. В отношении герконов имеется распространенное мнение об их ненадежности (залипании). Насколько оправдано их применение в устройстве, которое должно обладать повышенной надежностью?

Герконы, вернее, реле на основе герконов, используемые в пусковом органе устройства защиты (ПОУЗ), отличаются от обычных электромеханических реле целым рядом положительных качеств. Во-первых, контакт-детали сухих герконов находятся в герметичном баллоне, заполненном смесью инертных газов под давлением или вакуумированном, и поэтому они не подвержены влиянию отрицательных факторов внешней среды (влаги, пыли, газов). Эти контакты не требуют регулировки и зачистки в течение всего срока службы. Во-вторых, реле на герконах имеют быстроедействие, в 3-5 и более раз превышающее быстроедействие обычных электро-

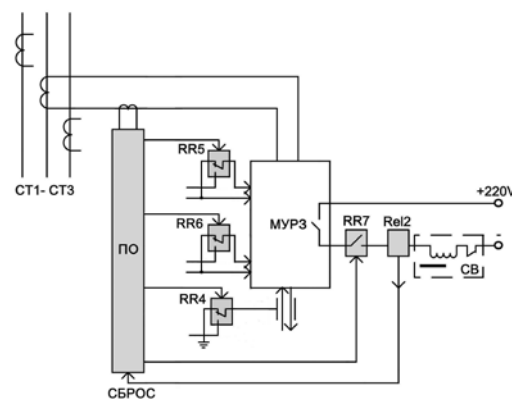


Рис. 1. Структурная схема, иллюстрирующая предложенный метод защиты МУРЗ от ПДДВ



механических реле. В-третьих, на переменном токе герконовые реле имеют коэффициент возврата 0,9-0,95, что намного превышает аналогичный параметр обычных реле. В-четвертых, в герконовых реле можно простыми средствами достичь уровня гальванической развязки входа от выхода (катушки от контактов) в десятки киловольт, что недостижимо для обычных электромеханических реле. В-пятых, в отличие от обычных реле, герконовые реле имеют четкий и стабильный порог срабатывания при плавном увеличении тока в катушке управления, что позволяет создавать на основе герконов чувствительные измерительные органы защит. В дополнение в вышесказанному можно отметить, что сухие герконы нечувствительны к положению в пространстве и хорошо сочетаются с электронными, электромагнитными и магнитными элементами, что позволяет создавать на их основе множество различных функциональных модулей и устройств [7].

Высококачественные вакуумные и газонаполненные герконы, производимые ведущими компаниями, специализирующимися в этой области (а именно такие предполагается использовать в устройстве [8]), являются не дешевыми (15-30 долларов за штуку), но высоконадежными компонентами, нашедшими широкое применение не только в промышленности и технике связи, но и в военной и аэрокосмической технике. Герконы по многим своим параметрам занимают промежуточное положение между полупроводниковыми и электромеханическими коммутационными элементами. Поэтому автоматические телефонные станции – АТС на основе герконов (типа «Квант» и др.) называются «квазиэлектронными». По техническим условиям срок службы таких АТС установлен в 40 лет, причем количество отказавших за это время герконов не должно превышать 0,3%. Уже одни только эти цифры говорят сами за себя.

Однако у герконовых реле имеется одно принципиальное отличие от обычных электромеханических реле: их магнитная система не изолирована от контактов, а образована самими контактами. Это отличие обуславливает низкую перегрузочную способность герконов по току.

В отличие от обычных реле, герконовые реле не допускают даже кратковременной токовой перегрузки контактов. Причиной этого является тот факт, что магнитное поле тока, проходящего через замкнутые контакты геркона, направлено встречно магнитному полю обмотки, удерживающему контакты в замкнутом состоянии, и ослабляет его, ослабляя контактное нажатие, вплоть до образования зазора. Это приводит к усиленной эрозии, а иногда и к свариванию контактов геркона даже при кратковременном протекании тока, превышающего максимально допустимое для данного типа значение. Незнание этой особенности герконов и их использование без учета отличий от обычных реле в части перегрузочной способности часто приводит к отказам оборудования и, как следствие, к недоверию к герконам. При правильно выбранном режиме работы герконов они обеспечивают надежную коммутацию цепей при миллионах циклов срабатывания. При использовании герконов для коммутации внешних цепей, ток в которых может изменяться в широких пределах, никто не хочет следить за токовым режимом работы герконов. Гораздо проще отказаться от их использования, что часто и происходит на практике. В предложенной конструкции часть герконов включена лишь во внутренние цепи устройства, токовая нагрузка в которых в десятки раз меньше максимально допустимой для герконов. Другая часть отключает цепи дискретных входов, токи в которых не превышают нескольких миллиампер, что на два порядка меньше предельно допустимого значения. И только через герконы, включенные последовательно с выходными контактами МУРЗ, предназначенными для включения отключающей катушки выключателя, могут проходить токи в несколько ампер. Однако, во-первых, эти герконы непосредственно не осуществляют коммутацию этих токов, а лишь собирают цепь без тока, а во-вторых, они выбраны такого типа (Bestact R15U производства японской компании Yaskawa), который обеспечивает большие запасы по току.

Вопрос 3. Современные МУРЗ вмещают 10-20 и более различных функций в одном терминале. Значит ли это,

что предлагаемое устройство защиты должно содержать такое же количество входных реле?

Нет, не значит. Дело в том, что все многообразие реализуемых сегодня в одном терминале МУРЗ функций основано на измерениях тока, напряжения и угла между ними. Соответственно, и входные реле предлагаемого устройства защиты должны содержать пороговые элементы тока, напряжения и угла между ними. Пороги срабатывания всех этих элементов должны быть меньше минимальных значений, выбранных в качестве уставки МУРЗ.

Вопрос 4. Зачем нужно применять дорогие МУРЗ совместно с какими-то новыми и тоже дорогими устройствами защиты, если можно просто вернуться к использованию дешевых и устойчивых к ПДДВ электромеханических реле защиты?

Действительно, электромеханические реле защиты (ЭМРЗ) эксплуатируются уже более ста лет и до сих пор обеспечивают надежную защиту от аварийных режимов всех видов электрооборудования. Достаточно сказать, что такая большая и разветвленная национальная энергосистема, как российская, даже сегодня почти на 90% укомплектована ЭМРЗ. Однако, несмотря на то, что ЭМРЗ доказали свою высокую надежность, примерно 30-40 лет тому назад все ведущие мировые производители реле защиты перестали заниматься разработкой и совершенствованием ЭМРЗ и начали интенсивно разрабатывать сначала полупроводниковые реле, полностью копирующие функции и характеристики ЭМЗ, а затем и микропроцессорные реле защиты с расширенным набором функций и улучшенными характеристиками. Примерно 20-25 лет тому назад большинство ведущих мировых производителей РЗ просто перестали выпускать ЭМРЗ, сосредоточив все свои усилия на МУРЗ. Основная причина этого явления заключается в том, что производить на автоматическом оборудовании печатные платы с электронными элементами и затем тестировать их также на автоматическом оборудовании значительно выгоднее, чем изготавливать на высокоточных токарных и фрезерных станках миниатюрные элементы, вручную собирать из них достаточ-

но сложную механическую конструкцию, вручную тестировать и настраивать. Ввиду большой разницы в себестоимости производства между ЭМРЗ и МУРЗ потребитель тоже оказывается в выигрыше, поскольку стоимость МУРЗ, производимых мировыми лидерами релестроения, сегодня уже намного меньше стоимости аналогичного по характеристикам ЭМРЗ. Утверждение, что ЭМРЗ сегодня значительно дешевле МУРЗ – не корректно и не подтверждается анализом цен на мировом рынке. Так, например, если электромеханическое реле трехступенчатой дистанционной защиты линий типа LZ31 (производства ABB) по нынешним ценам стоило бы порядка 30-35 тысяч долларов США, то его микропроцессорный аналог с улучшенными характеристиками – реле типа D30 (General Electric) стоит сегодня всего лишь 7500 долларов США, а китайский аналог типа GTL-823 (Guatong Electric) и того меньше – 5 тыс. долларов.

Что касается цен на рынке стран постсоветского пространства, то они сильно искажены и не соответствуют соотношению цен, существующему на мировом рынке. Например, если сравнить цены на близкие по конструкции и характеристикам электромеханические реле тока с зависимой характеристикой: российские РТ-80 и американские IAC (рис. 2), то окажется, что реле российского производства (около 60 долларов США) стоят почти в 15 раз дешевле американского IAC.

Такую разницу в ценах можно было бы объяснить использованием в России более дешевого оборудования, более дешевых материалов, а главное – более дешевой рабочей силы. Но тогда следовало бы ожидать, что и соотношение стоимостей МУРЗ российского и западного производства будет пусть не точно такой же, но хотя бы близкой. Что же мы видим на практике? Возьмем в качестве примера реле дистанционной защиты линий: уже упомянутое реле D30 (General Electric) и аналогичное по параметрам реле Сириус-3-ЛВ-03 (НПП «РАДИУС-Автоматика») (рис. 3). Оказывается, что их стоимости примерно равны (7000 – 7500 долларов США). Чем это можно объяснить, с учетом вышесказанного? Даже если принять во внимание, что в российских МУРЗ применяется много

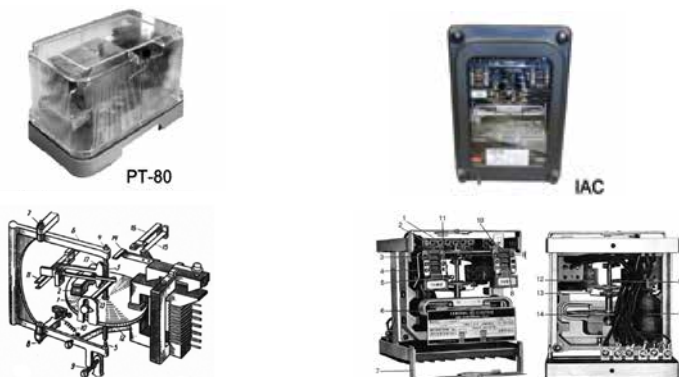


Рис. 2. Внешний вид и устройство аналоговых по параметрам и конструкции электромеханических реле тока с зависимой выдержкой времени: слева – РТ-80 производства Чебоксарского завода ЧЭАЗ, справа – IAC производства General Electric

электронных компонентов западного производства, все равно будет трудно объяснить объективными причинами такое странное соотношение цен. Скорее всего, здесь имеет место явное завышение цен российскими производителями МУРЗ с целью получения сверхприбыли. Если ориентироваться на существующее в России искаженное ценообразование то, скорее всего, с практическим применением предложенного устройства защиты могут возникнуть существенные трудности.

С другой стороны, мощнейшая рекламная кампания, организованная производителями, разработчиками МУРЗ, университетами и исследовательскими организациями, заинтересованными в финансировании новых проектов, сделали свое дело. Сегодня поднять вопрос о возврате к ЭМРЗ означает стать изгоем в сообществе специалистов и прослыть ретроградом, пытающимся остановить технический прогресс. Никто из специалистов или чиновников, от которых зависит принятие решения, не возьмет на себя такую ответственность. А если и возьмет, то с уверенностью можно утверждать, что в этом случае на него обрушится бурный поток обвинений в ретроградстве и некомпетентности. Кроме того, объективности ради нужно отметить, что МУРЗ действительно обладают некоторыми характеристиками и функциональными возможностями, недоступными для ЭМРЗ.

С учетом всех этих факторов можно констатировать, что вопрос о возврате к ЭМРЗ на повестке дня не стоит, даже если



Рис. 3. Микропроцессорное реле дистанционной защиты линий D30 (производства GE, США) и Сириус-3-ЛВ-03 (производства НПП «РАДИУС-Автоматика, Россия), имеющие схожие характеристики и стоимость

при существующем в России соотношении цен он оправдан с экономической точки зрения.

Вопрос 5. Допустим, что возврат к ЭМРЗ сегодня уже действительно невозможен. Но тогда почему бы не использовать МУРЗ в комплекте с этими ЭМРЗ вместо того, чтобы изобретать какие-то новые устройства на герконах?

На самом деле совместное применение МУРЗ и ЭМРЗ уже давно используется на практике (рис. 4). Правда, не в последовательном соединении, как предложено нами, а в параллельном, то есть для дублирования друг друга с целью повышения надежности. Как показано нами ранее [5], такой метод использования МУРЗ и ЭМРЗ (то есть их параллельное соединение) неверен по своей сути. При использовании такого параллельного включения ЭМРЗ действительно должны полностью повторять функции МУРЗ и иметь такие же уставки. В любом случае совместного использования многофункционального МУРЗ и ЭМРЗ по-

требуется целый набор совсем не дешевых ЭМРЗ, что делает такой проект весьма сомнительным из-за его высокой стоимости и необходимости в больших площадях для монтажа большого количества различных ЭМРЗ. Предложенное устройство защиты на базе герконовых реле должно быть намного проще, меньше и дешевле комплекта ЭМРЗ, необходимого для защиты одного МУРЗ. Только в этом случае оно может иметь перспективы применения.

Вопрос 6. Предложенное устройство защиты, чтобы быть универсальным и полноценно работать, по своим функциональным возможностям должно быть таким же, как набор ЭМРЗ. Значит, стоимость его должна быть примерно такая же. Почему оно будет дешевле?

Давайте рассмотрим, как работает ЭМРЗ. Возьмем, например, электромеханическое токовое реле с зависимой выдержкой времени, в котором при достижении некоторого порогового уровня тока алюминиевый диск начинает медленно поворачиваться, а подвижный контакт, связанный с этим диском, приближаться к неподвижному. Через некоторое время, обусловленное скоростью вращения диска (которая определяется величиной тока, протекающего через катушку реле), контакт замкнет (через промежуточное реле) цепь отключающей катушки выключателя. Для пускового органа предлагаемого

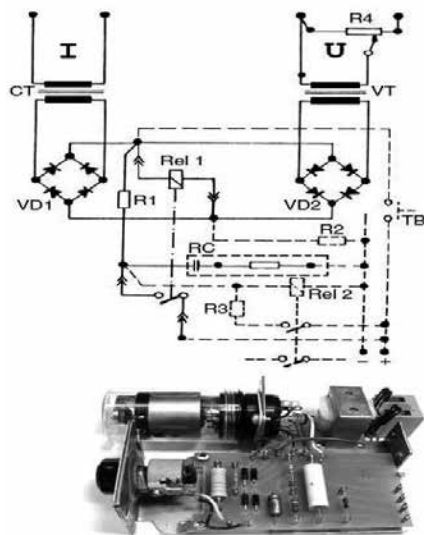


Рис. 6. Принцип действия и конструкция пускового органа реле дистанционной защиты



Рис. 4. Фрагмент панели дистанционной защиты ответственных линий 160 кВ, содержащей электромеханические реле типа LZ31 (вверху), включенные на параллельную работу с микропроцессорными защитами типа MiCOM P437 (внизу)

устройства защиты МУРЗ никакой выдержки времени, зависящей от тока, не требуется. Этот пусковой орган должен лишь сработать при определенной величине тока, несколько меньшей тока трогания упомянутого диска. И все. Больше никаких других функций от него не требуется, поскольку все остальные функции будут осуществлять активированный МУРЗ. То есть в данном случае вместо сложного и дорогого реле с зависимой выдержкой времени используется простейшее реле, содержащее катушку и геркон.

В качестве другого примера рассмотрим несколько типов реле дистанционной защиты линий. Электромеханический вариант этого реле, например, типа LZ 31 (рис. 5), содержит много сложных взаимо-

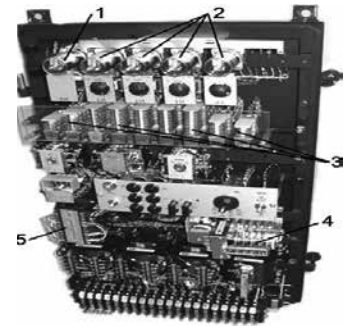


Рис. 5. Реле дистанционной защиты линий LZ31

связанных между собой электромеханических узлов, обеспечивающих три-четыре ступени измерения сопротивления линии до места короткого замыкания, соответствующие этим ступеням выдержки времени, особой формы характеристику и т.д. Как уже отмечалось выше, стоимость такого реле составляет 30-35 тыс. долларов. Вместе с тем, пуск всего этого комплекса осуществляется простейшим пусковым органом, осуществляющим контроль баланса между током и напряжением линии (рис. 6). Срабатывание этого органа осуществляется при нарушении баланса между током и напряжением.

В довольно сложных и крупных реле дистанционной защиты типов RYZKB, RYZOE, RYZFB, производимых компанией ASEA в 70-х годах (рис. 6), реализуются несколько защитных функций. Однако все эти реле имеют в своем составе очень простой пусковой орган, схема которого показана на рис. 7.

Эти пусковые органы являлись интегральной частью сложных конструкций и отдельно не выпускались. Исключение со-



Рис. 7. Электромеханические реле дистанционной защиты различного типа фирмы ASEA и схема их пускового органа (производство 70-х годов)



ставляют некоторые типы реле, выпускавшиеся ЧЭАЗ, например, реле типа КРС-112 (рис. 8), содержащее специальные дроссели и четырехполюсный индукционный механизм с вращающимся ротором. Это реле является, по существу, отдельным пусковым органом дистанционных защит. Однако и оно слишком сложно, дорого и имеет большие габариты. Да и вообще, применение давно уже морально устаревшей конструкции в сочетании с самыми современными технологиями МУРЗ вряд ли можно назвать удачной идеей.

Это очень простое устройство, содержащее Т-образный сердечник с качающимся коромыслом (верхняя часть буквы Т) и две катушки: тока и напряжения, воздействующих на концы коромысла. Положение этого коромысла, за прикрепленным к нему контактом, зависит от баланса магнитных полей, создаваемых катушками тока и напряжения. Этот узел является внутренней частью конструкции реле НЗМ и отдельно никогда не выпускался.

В этом отношении гораздо более привлекательным мог бы быть пусковой орган дистанционной защиты типа НЗМ (Westinghouse) (рис. 9).

Герконовое реле, построенное по такому же принципу баланса между ток и напряжением (рис. 10), получается намного проще и надежнее [9]. Это реле реагирует на разность магнитных полей, образованных катушками тока и напряжения, и его порог срабатывания может регулироваться в широких пределах поворотом капсулы с герконом. Такой пусковой орган может быть с успехом использован в ПОУЗ.

Таким образом, предлагаемое устройство с небольшим количеством простейших (на базе герконов) пусковых органов тока, напряжения, разности между ними оказывается несравненно проще и дешевле, чем полнофункциональный комплект ЭМРЗ. Кроме того, пусковые органы на герконах не требуют обслуживания в процессе эксплуатации, привносят значительно меньшую задержку в общее время срабатывания РЗ, имеют высокий уровень изоляции входа от выхода, недоступный для старых ЭМРЗ.

Вопрос 7. В некоторых случаях команды на отключение выключателей поступают напрямую от реле защит (например, таких как газовая защита трансформатора) и одновременно дублируются сигналами на дискретные входы МУРЗ, запуская таким образом регистратор аварийных событий. Как в таком случае будет работать предлагаемое устройство, блокирующее дискретные входы МУРЗ?

В этой ситуации все решается достаточно просто: необходимо лишь завести сигнал с контактов запускающего реле (в данном случае это газовое реле) еще и на один из входов ПОУЗ. При этом МУРЗ будет деблокировано, и регистратор аварийных событий запустится и запишет информацию о срабатывании газового реле.

Вопрос 8. Известно требование о недопустимости введения в цепь отключающей катушки выключателя каких-то

дополнительных блокирующих элементов, а в предложенном устройстве эта цепь разрывается контактом дополнительного реле. Разве такое допустимо?

На самом деле нормально разомкнутый контакт дополнительного реле включен не в цепь отключающей катушки выключателя, а в цепь, соединяющую контакт выходного реле МУРЗ с отключающей катушкой выключателя. То есть этот дополнительный контакт блокирует не цепь отключающей катушки выключателя, а всего лишь выходную цепь МУРЗ. Цепь отключающей катушки выключателя остается свободной для подключения любых внешних контактов или ключей с ручным управлением.

Вопрос 9. Как быть со сложными защитами, например, с защитами, обеспечивающими отстройку от бросков тока намагничивания трансформатора и содержащих фильтры 2 и 5 гармоник? Предлагаемое устройство тоже должно содержать такие фильтры? Или другой пример: дифференциальная защита. Как обеспечить работу устройства при наличии аварийного режима только в защищаемой зоне?

Нет, для работы ПОУЗ не нужны такие фильтры и не нужна отстройка от

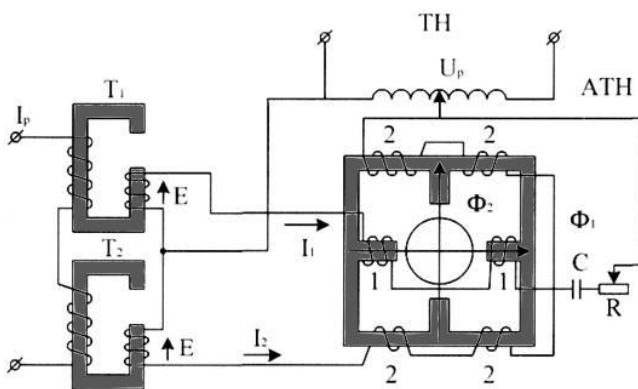


Рис. 8. Реле КРС-112 с индукционным механизмом

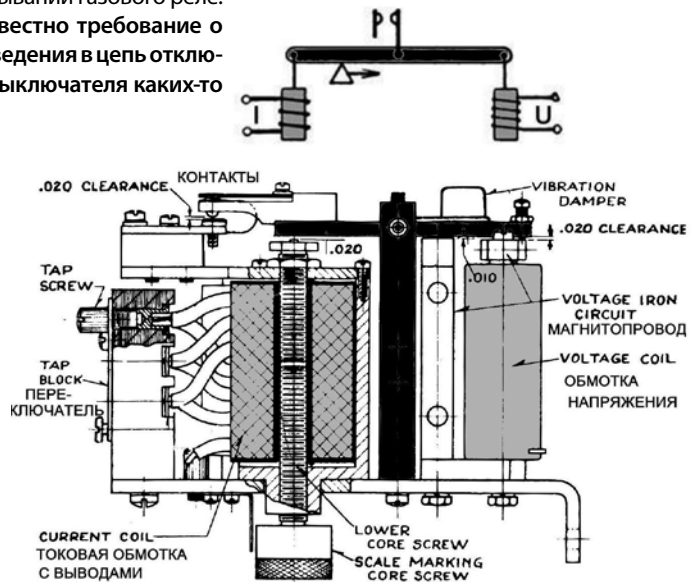


Рис. 9. Электромагнитный пусковой орган балансового типа, используемый в реле дистанционной защиты типа НЗМ (Westinghouse)



броска тока намагничивания. Срабатывание ПОУЗ от броска тока намагничивания трансформатора лишь деблокирует МУРЗ на время около 10 секунд, и не более того. Блокировка МУРЗ от излишних срабатываний обеспечивается его собственным алгоритмом. По истечении этих 10 секунд ПОУЗ возвращается в исходное состояние и опять блокирует МУРЗ. То же самое относится и к дифференциальной защите. Устройству ПОУЗ не важно, где находится повреждение: в защищаемой зоне или вне ее. Для него важно лишь наличие тока КЗ, а зону повреждения будет определять МУРЗ после того, как ПОУЗ деблокирует его. Время срабатывания ПОУЗ составляет около 6 мс, что при собственном времени срабатывания МУРЗ 30–40 мс практически не влияет на общее время действия релейной защиты.

Вопрос 10. При последовательном включении ЭМРЗ и МУРЗ возможности релейной защиты фактически будут ограничены возможностями ЭМРЗ как элемента, обладающего более скромными возможностями и худшими характеристиками. Хорошо ли это?

Нет, это не так. Предложенное устройство никоим образом не определяет ни свойства, ни характеристики релейной защиты. Оно лишь включает МУРЗ в работу в момент, когда хотя бы один параметр из всей совокупности контролируемых параметров приблизится к уставке МУРЗ. Дальнейшее поведение реле защиты и его реакция на аварийный ре-

жим будут определяться полностью свойствами и характеристиками этого реле.

На практике, очевидно, найдутся более сложные режимы работы МУРЗ, не рассмотренные в статье, для которых нужно будет разработать особый пусковой орган. Такая ситуация не исключена. Однако, даже если и потребуются создание такого специального пускового органа, то на основе комбинации герконов и магнитных цепей возможно создание таких органов значительно более простых, дешевых и быстродействующих, чем традиционные электромеханические реле защиты. Например, устройство, изображенное на рис. 10, может быть вполне использовано для контроля угла между током и напряжением или в качестве измерительного органа мощности.

Дополнительные возможности открываются при использовании комбинации магнитных и высоковольтных полупроводниковых элементов с герконами. Например, на рис. 11,а показано простейшее устройство, реагирующее на разность токов, а на рис. 11,в – с заглублением чувствительности к разностному току по величине прямого тока.

Таким образом, из проведенного анализа хорошо видно, что практическая реализация предложенного метода защиты МУРЗ с технической и экономической точки зрения вполне осуществима. Такая реализация, безусловно, должна осуществляться предприятиями-производителями МУРЗ, которые могут предлагать

потребителям квазиэлектронный ПОУЗ как дополнительную опцию для повышения безопасности и надежности работы релейной защиты ответственных объектов.

Автор выражает искреннюю благодарность гл. спец. ОЭС ЗАО «Самарский Электропроект» Тюрину Дмитрию Юрьевичу за участие в дискуссии по данной теме и ценные замечания, учтенные при написании статьи, а также другим специалистам, принявшим участие в обсуждении предложенного метода.

Литература

1. Гуревич В.И. Кибероружие против энергетики. – PRO Электричество, 2011, №1, с. 26-29.
2. Гуревич В.И. Проблема электромагнитных воздействий на микропроцессорные устройства релейной защиты. Ч. 1. – Компоненты и технологии, 2010, № 2, с. 60-64.
3. Гуревич В.И. Интеллектуальные сети: новые перспективы или новые проблемы? – «Электротехнический рынок», 2010, № 6 (ч. 1); 2011, № 1 (ч. 2).
4. Гуревич В.И. О некоторых путях решения проблемы электромагнитной совместимости релейной защиты в электроэнергетике. – Промышленная энергетика, 1996, № 3, с. 25-27.
5. Гуревич В.И. Электромеханические и микропроцессорные реле защиты. Возможен ли симбиоз? – Релейная защита и автоматизация, 2013, № 2, с. 75-77.
6. Гуревич В.И. Снижение уязвимости микропроцессорных устройств релейной защиты к преднамеренным дистанционным деструктивным воздействиям. – Релейная защита и автоматизация, 2013, № 4, с. 48-50.
7. Gurevich V. Electronic Devices on Discrete Components for Industrial and Power Engineering. – CRC Press, Boca Raton – New York – London, 2008, 420 p.
8. Гуревич В.И. Устройство защиты релейной защиты. – Control Engineering Россия, 2013, № 3, с. 25-29.
9. Гуревич В.И. Герконовые реле с регулируемым порогом срабатывания. – Компоненты и технологии, 2013, № 11, с. 30-33.

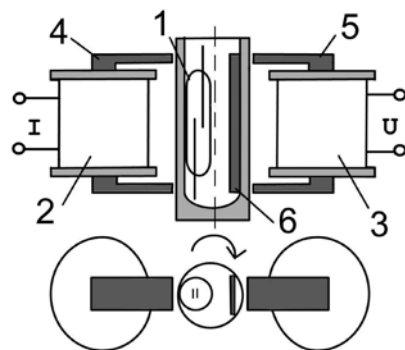


Рис. 10. Простейший пусковой орган дистанционной защиты с регулируемым порогом срабатывания.
1 – геркон; 2 и 3 – катушки с обмотками управления;
4 и 5 – плоские ферромагнитные сердечники П-образной формы; 6 – магнитный шунт

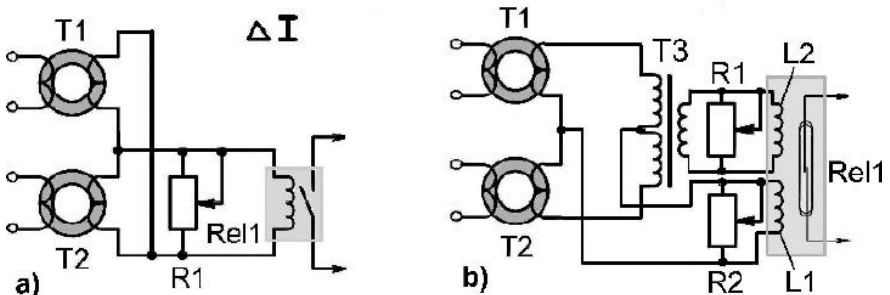


Рис. 11. Варианты квазиэлектронных пусковых органов дифференциальной защиты