



« Да ты в своем уме?
 Не знаю, – отвечала Алиса. –
 Должно быть в чужом.

Льюис Карролл. Алиса в стране чудес

НУЖНО ЛИ ЗАЗЕМЛЯТЬ МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ УСТРОЙСТВА РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ?

В.И. ГУРЕВИЧ (Электрическая компания Израиля)

В последнее время стала актуальной проблема защиты электроэнергетических систем от так называемых преднамеренных дистанционных деструктивных воздействий, наиболее мощным из которых является электромагнитный импульс высотного ядерного взрыва (ЭМИ ЯВ). Составляющая E_1 ЭМИ ЯВ создает у поверхности земли импульс электрического поля с напряженностью, достигающей до 50 кВ/м. Разветвленная система заземления играет роль огромной антенны для такого импульса, поглощающей энергию с большой площади и доставляющей ее через цепи заземления прямо к чувствительной электронной аппаратуре.

В статье рассмотрены три типа помех: индуктивные; емкостные; электростатические. Даны различные варианты решения проблемы. Представлены: устройство перспективной конструкции, предназначенной для использования в новых проектах; устройство "парадоксального заземления" МУРЗ в существующих конструкциях; устройство подключаемого заземления.

Ключевые слова: микропроцессорное устройство релейной защиты (МУРЗ), стандарты IEC 60255-5, 60255-22-5, IEC 60255-22-1, 60255-22-4, путевые (концевые) выключатели, правила устройства электроустановок (ПУЭ), ЭМИ ЯВ, устройство перспективной конструкции, устройство "парадоксального заземления" МУРЗ, устройство подключаемого заземления.

ПРОБЛЕМА

Сегодня большинство типов микропроцессорных устройств релейной защиты (МУРЗ), выполняются в металлических корпусах и монтируются внутри металлических

шкафов. Современная система заземления МУРЗ, которая считается правильно спроектированной, выполняется многоточечной с использованием эквипотенциальной поверхности, рис. 1. В качестве эквипотенциальной поверхности могут использоваться

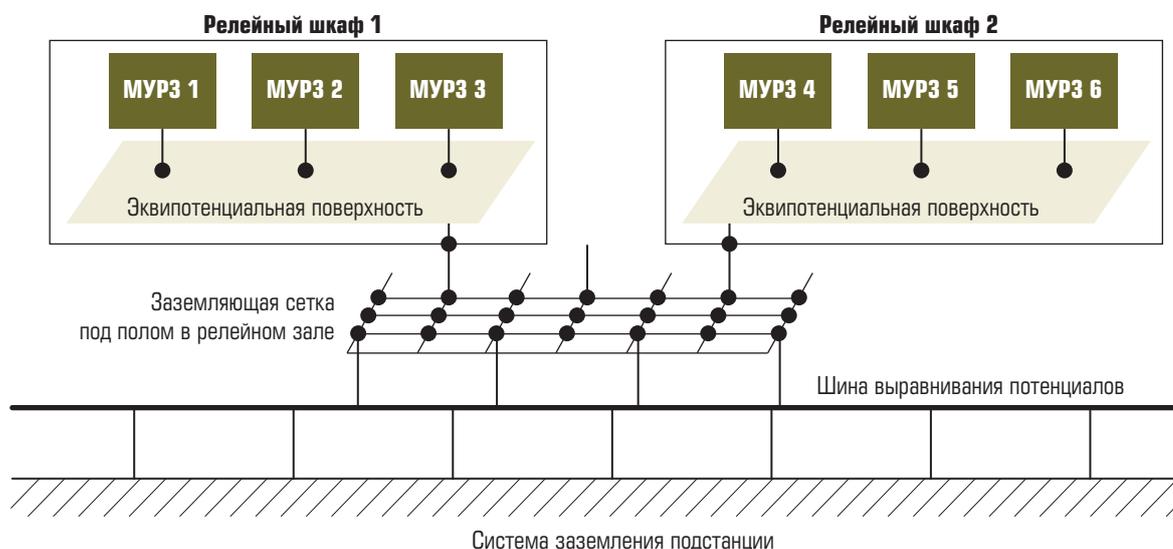
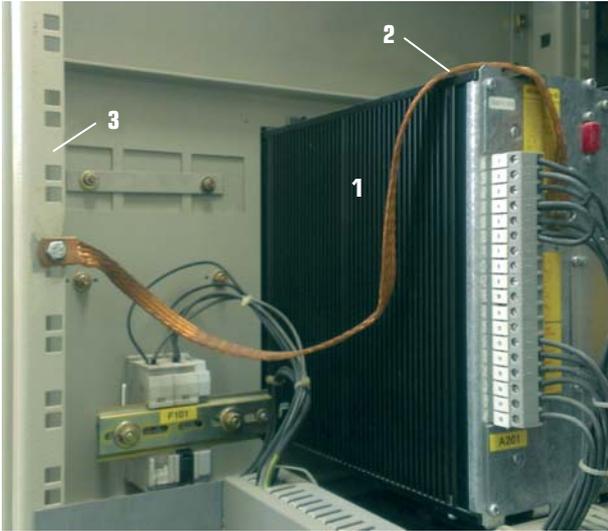


Рис. 1. Схема так называемого многоточечного заземления МУРЗ с использованием эквипотенциальной поверхности

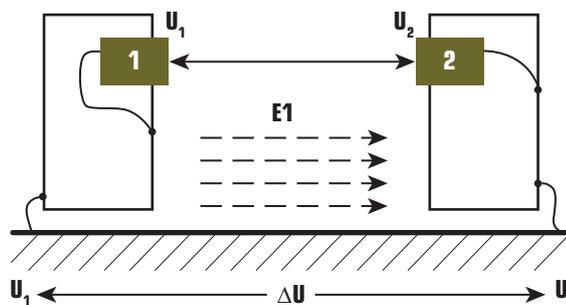


▲ Рис. 2. Устройство заземления МУРЗ с использованием эквипотенциальной поверхности.
1 – МУРЗ в металлических корпусах; **2** – заземляющие медные шинки; **3** – элемент конструкции металлического шкафа, выполняющего роль эквипотенциальной поверхности

металлические элементы конструкций релейных шкафов, рис. 2.

По данным, представленным в [1], в ситуации, когда множество электрических аппаратов и отдельных устройств релейной защиты энергообъекта расположены на значительном удалении друг от друга и заземлены в местах их расположения, неизбежно появление высокой разности потенциалов между точками заземления, которая при разрядах молнии может достигать до 10 кВ и более. Высокое напряжение между удаленными точками заземления возникает в результате падения напряжения на элементах системы заземления при протекании тока молнии через них, а также при протекании токов короткого замыкания. Если два МУРЗ расположены на значительном расстоянии друг от друга, а их порты связи соединены между собой через Ethernet (рис. 3), то это напряжение будет прикладываться к этим наименее защищенным от импульсов высокого напряжения узлам МУРЗ. По свидетельству [2]: “чем больше площадь территории защищаемого объекта, тем больший потенциал для проблем”. Здесь следует отметить, что использование системы Ethernet с витыми парами многожильного медного кабеля сегодня все чаще приходит на смену дорогой оптоволоконной линии связи в релейной защите. Это общемировая тенденция, направленная на сокращение затрат в электроэнергетике.

По причине низкой защищенности портов связи, они не испытываются (в отличие от остальных входов и выходов МУРЗ) повышенным импульсным напряжением вообще (стандарты IEC 60255-5, 60255-22-5) или испытываются пониженным напряжением (стандарты IEC 60255-22-1, 60255-22-4). По свидетельству [1] уровень импульсных перенапряжений, возникающий при разрядах молнии, приложенный к изоляции цепей электронной аппаратуры превосходит в несколько раз принятые уровни устойчивости электронной аппаратуры промышленного назначения. И это при протекании тока молнии через систему заземления под действием обычных разрядов молнии. Но разряды молнии не единственный источник мощных электромагнитных воздействий на МУРЗ.



▲ Рис. 3. Схема подключения двух МУРЗ (1 и 2), расположенных на значительном расстоянии друг от друга, с неизолированным каналом связи (витая пара и сеть Ethernet)

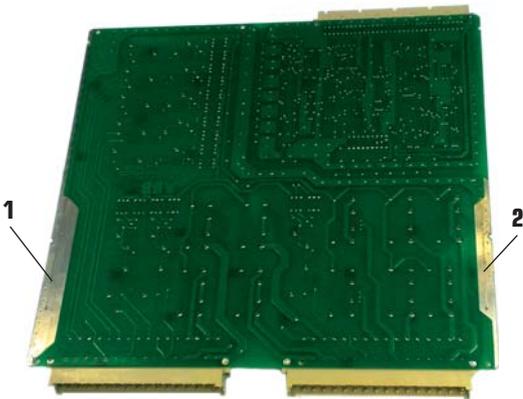


Рис. 4. Печатная плата МУРЗ с зачищенными участками печатного монтажа (1 и 2), контактирующими с заземленным корпусом посредством специальной пружины

В последнее время стала актуальной проблема защиты электроэнергетических систем от так называемых преднамеренных дистанционных деструктивных воздействий [3], наиболее мощным из которых является электромагнитный импульс высотного ядерного взрыва (ЭМИ ЯВ). Составляющая Е1 ЭМИ ЯВ создает у поверхности земли импульс электрического поля с напряженностью, достигающей до 50 кВ/м [3]. Разветвленная система заземления играет роль огромной антенны для такого импульса, поглощающей энергию с большой площади и доставляющей ее через цепи заземления прямо к чувствительной электронной аппаратуре, включая МУРЗ.

С другой стороны, возникает вопрос о том, насколько вообще необходимо заземление МУРЗ? Ведь совершенно очевидно, что реально существующие системы заземления вовсе не являются эквипотенциальной поверхностью с нулевым потенциалом, который требуется для надежной работы электронных цепей и не играют роль обратного провода, необходимого для возврата каких-то сигналов к МУРЗ. Скорее, наоборот, в самых критических ситуациях, на которые она собственно и рассчитана, система заземления становится источником высоковольтных импульсов, прикладываемых к чувствительной электронной аппаратуре.

В ранних конструкциях МУРЗ, произведенных 20 и более лет тому назад, функциональные модули, расположенные на отдельных печатных платах, имели специальные зачищенные и покрытые слоем серебра участки печатных проводников, увеличенной ширины. Эти участки, при установке платы в корпусе, приходили в соприкосновение со

специальными пружинами, обеспечивающими контакт этих печатных проводников с заземленным корпусом МУРЗ, рис. 4.

В современных конструкциях МУРЗ редко можно найти такие специальные ухищрения для выполнения заземления внутренних электронных цепей. И это вполне оправдано, поскольку все входные и выходные цепи МУРЗ (за исключением портов связи) хорошо изолированы от земли и от других электроустановок: цепи питания – посредством трансформатора внутреннего источника питания, аналоговые входы – изоляцией внутренних трансформаторов тока и напряжения, логические входы – посредством оптронов, выходная цепь – изоляцией выходных электромеханических реле. К тому же, работоспособность внутренних электронных цепей МУРЗ никак не связана с наличием или отсутствием внешнего заземления. Что же касается эффективности защиты чувствительных электронных цепей МУРЗ от воздействия внешних электромагнитных помех с помощью металлического корпуса, призванного играть роль так называемой “клетки Фарадея”, то тут следует рассмотреть отдельно три типа помех:

- индуктивные;
- емкостные;
- электростатические.

Совершенно очевидно, что заземление корпуса МУРЗ никак не может повлиять на эффективность ослабления им индуктивных помех.

С емкостными помехами дело обстоит несколько сложнее, поскольку помехи этого типа распространяются через емкостные связи между проходящими рядом проводами, между близко расположенными металлическими корпусами, а также между перечисленными элементами и землей. Заземление экранов проводов и металлических корпусов позволяет устранить эти помехи.

Статические помехи могут возникать в результате накопления статического заряда на изолированном от земли корпусе и возникающих в результате этого периодических пробоев на землю. Заземление корпуса позволяет предотвратить накопление статического заряда.

С другой стороны, если сигналы помех поступают на электронные цепи МУРЗ, расположенные внутри корпуса, по кабелям, то каким образом заземление его корпуса предотвратит воздействие этих помех (особенно помех дифференциального типа)? Ответ очевиден: никак! Более того, если пренебречь

возможностью возникновения емкостных и статических помех, то на основании вышеизложенного можно утверждать, что заземление корпусов МУРЗ лишь усугубляет ситуацию и снижает помехоустойчивость релейной защиты, поскольку реальные уровни перенапряжений, которые могут прикладываться через цепи заземления к различным, даже хорошо изолированным внутренним цепям удаленных друг от друга МУРЗ, могут существенно превышать допустимые уровни, даже без учета портов связи с их ослабленным уровнем изоляции.

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ



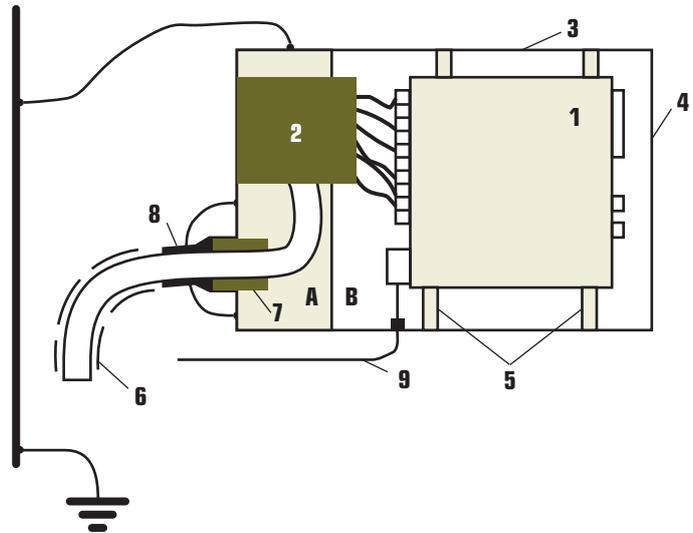
– Не грусти, – сказала Алиса.
 – Рано или поздно все станет понятно, все встанет на свои места и выстроится в единую красивую схему, как кружева. Станет понятно, зачем все было нужно, потому что все будет правильно.

Льюис Кэрролл. Алиса в стране чудес

Рассмотрим различные варианты решения проблемы:

Устройство перспективной конструкции, предназначенной для использования в новых проектах

Этот вариант предусматривает использование стального контейнера 3, (рис. 5) с минимальным количеством отверстий, разделенный внутренней переборкой на две зоны: А – “грязную” и В – “чистую”. Терминал МУРЗ в пластмассовом корпусе должен быть размещен в чистой зоне, свободной от электромагнитных излучений. Контейнер 3 снабжен дверцей 4, обеспечивающей доступ персонала к лицевой панели МУРЗ во время профилактических работ. Контейнер 3 заземлен с соблюдением всех традиционных норм и правил выполнения заземления, что обеспечивает соблюдение требований техники безопасности. При наличии достаточно большого расстояния между МУРЗ и внутренними стенками заземленного металлического контейнера, например, 5-7 см, паразитная емкость электронных цепей МУРЗ на землю, определяющая возможность емкостных по-



▲ Рис. 5. Перспективный вариант компоновки МУРЗ в изолированном корпусе, предназначенный для использования в новых проектах, обеспечивающий повышенную устойчивость ко всем видам электромагнитных воздействий, включая ЭМИ ЯВ.

А – “грязный” отсек; В – “чистый” отсек; 1 – терминал МУРЗ в тщательно изолированном пластмассовом корпусе; 2 – фильтр ЭМИ ЯВ; 3 – стальной корпус; 4 – дверца стального корпуса; 5 – изоляторы; 6 – контрольный кабель с двойным экраном; 7 – проходной изолятор; 8 – металлическая муфта для сочленения оплетки кабеля со стальным корпусом; 9 – оптоволоконная линия связи

мех, будет очень незначительной и поэтому их влиянием можно пренебречь. Что касается самого корпуса МУРЗ, то он должен быть тщательно изолированным (выполненным из пластмассы), с принятием дополнительных мер по предотвращению выноса опасного потенциала на поверхность этого корпуса. Такими мерами могут быть: закрытие экрана дополнительной прозрачной пластмассовой панелью; вывод управляющих кнопок на поверхность корпуса через изоляционные проставки; подвод света со светодиодов на световое табло, расположенное на поверхности корпуса, через жесткие пластмассовые световоды; использование изолированного оптического порта для подключения внешнего компьютера к МУРЗ. В общем, это такие же простые приемы обеспечения безопасности, которые приняты при отсутствии заземления в ручных электроинструментах с так называемой двойной изоляцией и не представляют никакой особой сложности в их практической реализации.

Что касается снятия электростатического заряда, который может накопиться на изолированном корпусе МУРЗ, то эта проблема может быть решена нанесением тонкого высокоомного полупроводяще-

го покрытия на внутреннюю поверхность пластмассового корпуса и соединением ее с заземленным стальным корпусом через специальный высоковольтный (50-100 кВ) высокоомный (около 50 МОм) резистор. Электростатический заряд будет стекать на землю через такой резистор. Технология нанесения таких покрытий хорошо отработана и широко применяется в современной электронной аппаратуре. Компактные высокоомные резисторы на напряжение 50-100 кВ также не являются дефицитом и выпускаются многими компаниями, например, Caddock Electronics, Arcol, Ohmite, Welwyn Components и др.

Устройство “парадоксального заземления” МУРЗ в существующих конструкциях

Сегодня все цепи заземления проектируются таким образом, чтобы **обеспечить минимальный импеданс для импульсного тока**. Для этого создаются специальные эквипотенциальные поверхности в металлических шкафах с электронной аппаратурой, присоединение корпусов этой аппаратуры к эквипотенциальной поверхности осуществляется специальными короткими и широкими медными шинками, рис.5. То есть принимаются все меры для того, чтобы импульсная помеха с системы заземления беспрепятственно прони-

кала на чувствительные электронные схемы. Однако, развивая изложенную выше идею об отсутствии необходимости заземлять чувствительные электронные схемы, можно прийти к парадоксальному выводу о том, что заземление электронной аппаратуры в металлических шкафах должно осуществляться по обратному принципу. Такое “парадоксальное заземление” должно обеспечивать безопасность персонала при возникновении на корпусе аппаратуры опасного потенциала постоянного или переменного 50 Гц тока, но должно препятствовать проникновению в аппаратуру мощных импульсных помех со стороны системы заземления. Реализовать такое “парадоксальное заземление” можно достаточно просто: **существенно повысив импеданс для импульсных токов** проводников, соединяющих электронную аппаратуру с шиной заземления. Для этого в разрыв этих проводников включается высокочастотный дроссель, обладающий большим затуханием для импульсной помехи и не оказывающий влияния на постоянный ток или ток частотой 50 Гц. Естественно, что при этом корпус МУРЗ должен быть изолирован от земли, а емкость его корпуса на землю должна быть минимальной.

Устройство подключаемого заземления

Период времени, в течение которого персонал непосредственно работает с включенным МУРЗ, несоизмеримо мал по сравнению с общим периодом работы МУРЗ. А периодичность такого рода работ бывает редкой (раз в несколько месяцев) или очень редкой (раз в несколько лет). Отсюда следует вполне естественная идея обеспечить заземление МУРЗ только в короткие промежутки времени, связанные с работой персонала в непосредственном контакте с ними.

Технически эта идея может быть реализована достаточно просто путем использования так называемых “путевых” (другое название: “конечных” или “концевых”) выключателей, установленных на двери релейного шкафа и обеспечивающих заземление корпусов МУРЗ и контроллеров при открывании этой двери. Современные путевые (концевые) выключатели — высоконадежные, хорошо защищенные от механических повреждений и неблагоприятных воздействий окружающей среды изделия, представленные на рынке сотнями различных типов, рис.6.



Рис. 6. Концевые выключатели различных типов

Они широко применяются в ответственных промышленных системах, на транспорте, в авиации, в военной технике, а также в системах, обеспечивающих безопасность персонала. Различные типы этих выключателей обеспечивают коммутацию тока 10-16 А при напряжении 400-690 В и содержат от одного замыкающего (размыкающего) контакта до нескольких групп переключающих контактов. Для повышения надежности заземления корпусов МУРЗ при открывании двери релейного шкафа могут быть использованы два концевых выключателя, контакты которых соединены параллельно. Для обеспечения большей электрической прочности контактного промежутка при воздействии электромагнитного импульса следует выбирать выключатели на максимально высокое рабочее напряжение (660-690 В). Можно также соединить два внутренних контакта выключателя последовательно (если есть два однотипных контакта).

При использовании подключаемого заземления вместо постоянного, соединение всех металлических корпусов МУРЗ с элементом конструкции металлического шкафа, выполняющего роль эквипотенциальной поверхности 3 посредством заземляющих медных шин 2 сохраняется, как показано на рис. 2, но, при этом, сам элемент 3 изолируется от шкафа с помощью небольших цилиндрических изоляторов из пластмассы. Этот элемент 3 соединяется с шиной заземления шкафа через контакты концевого выключателя, замыкающиеся при открывании двери. При этом следует иметь в виду, что речь идет о заземлении не токоведущих частей, которые могут находиться под напряжением в рабочем режиме, а лишь о дополнительной мере защиты **изолированного от источников опасного напряжения корпуса МУРЗ**. В этой связи запрет ПУЭ на включение коммутационных аппаратов в цепь заземления вряд ли можно считать распространяющимся на рассматриваемый случай. Тем не менее, в некоторых отдельных случаях, если это будет признано оправданным, может быть предусмотрено использование дополнительного заземления перед началом работы в релейном шкафу: так

называемого временного переносного заземления, предусмотренного ПУЭ. Это заземление обеспечивается соединением ручную посредством изолированного провода с разъемным соединением (например, мощным “крокодилом” с изолированными ручками) упомянутого элемента 3 с шиной заземления шкафа на время выполнения работ в открытом шкафу.

Кроме того, также, как и в первом случае, между корпусом и землей должен быть включен высокоомный резистор для предотвращения накопления статического заряда на изолированном от земли корпусе МУРЗ, емкость которого на землю должна быть минимальной.

По нашему мнению, предлагаемые технические решения позволяют обеспечить высокий уровень помехоустойчивости МУРЗ и в реально существующих сегодня естественных условиях эксплуатации, и в экстремальных условиях при воздействии ЭМИ ЯВ или других технических средств деструктивного дистанционного электромагнитного воздействия [3]. При этом затраты на реализацию предложенного технического решения не будут какими-то неподъемными для электроэнергетики. Они могут быть даже существенно меньше, чем затраты на реконструкцию старой системы заземления на многих объектах электроэнергетики, не обеспечивающей нормальное функционирование МУРЗ в существующих условиях эксплуатации.

Список литературы

1. *Кузнецов М.Б., Матвеев М.В.* Защита от вторичных проявлений молнии и обеспечение ЭМС МП аппаратуры на объектах нефтегазовой отрасли. – Энергоэксперт, 2007, № 2, с. 61-65.
2. *Whitaker J.C.* Electronic Systems Maintenance Handbook, Second Edition – CRC Press (Taylor & Francis Group), Boca Raton – New York – London, 2001, 624 p.
3. *Гуревич В.И.* Уязвимости микропроцессорных реле защиты. Проблемы и решения. – М.: Инфра-Инженерия, 2014, 256 с.

Гуревич Владимир Игоревич – канд. техн. наук, Почетный профессор, ведущий инженер-специалист, руководитель сектора вторичного электрооборудования, Электрическая компания Израиля, Центральная лаборатория (Хайфа).