

ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ДЕЙСТВУЮЩИХ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК



**ВЛАДИМИР ИГОРЕВИЧ
ГУРЕВИЧ**

Кандидат технических наук

Родился в г. Харькове (Украина) в 1956 г.

В 1978 г. окончил Харьковский национальный технический университет им. Петра Василенко по специальности «Электроснабжение с.х.».

В 1986 г. защитил кандидатскую диссертацию по специальности «Электрические аппараты».

Работал преподавателем и доцентом Харьковского национального технического университета, главным инженером и директором Научно-технического предприятия «Инвентор» (г. Харьков).

Руководил многими проектами по разработке новых видов аппаратуры, выполняемых по заказам Министерств оборонных отраслей промышленности СССР, занимался разработкой и организацией производства устройств автоматики для энергетики.

В настоящее время занимает должность ведущего специалиста (Senior Specialist), начальника сектора Центральной электрической лаборатории в Электрической компании Израиля.

Почетный профессор Харьковского национального технического университета им. Петра Василенко, эксперт комитета Международной электротехнической комиссии (МЭК), член комитета Израильского института стандартов, член Международной Ассоциации Инженеров (IAENG).

Автор свыше 200 научных статей, 116 изобретений и 13 книг, изданных в России и в США.

Защита современного высокочувствительного электронного оборудования энергосистем (микропроцессорных устройств релейной защиты – МУРЗ, устройств управления и связи на микропроцессорной основе) от электромагнитного импульса высотного ядерного взрыва (ЭМИ ЯВ) и от других видов преднамеренных электромагнитных деструктивных воздействий (ПЭДВ) является актуальной задачей современности [1, 2]. Средства и методы защиты от ПЭДВ известны и описаны в технической литературе [1, 2]. Но они требуют, обычно кардинальных изменений, трудно осуществимых в действующих электроустановках. В статье рассмотрен комплекс мер и простых технических средств, предназначенных для использования в действующих электроустановках.

Введение

Полноценная и надежная защита от всех компонентов ЭМИ ЯВ предусматривает использование целого комплекса технических средств и организационных мероприятий, некоторые из которых сложно реализовать в действующих электроустановках. В частности, сложно заменять сотни, а то и тысячи неэкранированных (или плохо экранированных) контрольных кабелей – на кабели специальных типов с многослойными экранами. Сложно разрезать такие кабели, заходящие в шкафы с электронной аппаратурой, и включать в рассечку специальные дорогостоящие фильтры (для которых еще и место нужно найти в заполненном аппаратурой шкафу). Сложно заменять существующие монтажные шкафы с действующей электронной аппаратурой на шкафы специальной конструкции и переносить туда всю «начинку». Такого рода технические мероприятия обеспечивают, безусловно, очень эффективную защиту от ПЭДВ и широко применяются в армейских центрах управления и энергоснабжения, в военной аппаратуре, и могут быть заложены в новые проекты в гражданской электроэнергетике. Использование же таких средств защиты в действующих электроустановках в гражданской электроэнергетике слишком

сложно и дорого. Эта сложность в практической реализации защитных мероприятий приводит к тому, что персонал энергосистем полностью отказывается от любых мер защиты.

Вместе с тем, вполне возможно использование менее эффективных, но зато намного более простых и доступных средств защиты, обеспечивающих, если не полную защиту, то хотя бы существенное ослабление разрушительного воздействия ПЭДВ на электронную аппаратуру энергосистем и повышение ее живучести. Рассмотрим эти средства защиты.

Ферритовые фильтры

Ферритовые фильтры представляют собой два полукольца (или полуцилиндра) из феррита, закрепленные в двух половинках пластмассового корпуса с защелкой, с помощью которой эти половинки корпуса с ферритовыми полукольцами фиксируются на контрольном кабеле без необходимости его отключения (*рис. 1*).

Принцип действия таких фильтров заключается в существенном увеличении индуктивного сопротивления кабеля токам высокой частоты и коротким импульсам. Правильно подобранный фильтр такого типа способен ослабить электромагнитный импульс ПЭДВ



Рис. 1. Ферритовые фильтры для контрольных кабелей

ЭЛЕКТРОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ К ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМУ ИМПУЛЬСУ

примерно на 15-20 дБ, что соизмеримо с ослабляющим действием железобетонного строения. Несмотря на кажущуюся простоту и дешевизну, эти элементы не так просты, и для правильного их выбора необходимо знание их особенностей и характеристик [3], в частности, в публикации [3] показана целесообразность использования трех последовательно установленных на одном кабеле фильтров с разными характеристиками. Тем не менее, это очень простые, дешевые и доступные средства защиты, пригодные для использования в любых электроустановках.

Ограничители импульсных напряжений

В связи с тем, что разрушительное воздействие ЭМИ ЯВ и других видов ПЭДВ на электронную аппаратуру обусловлено возникновением мощного короткого импульса высокого напряжения, проникающего во внутренние цепи чувствительной электронной аппаратуры, ограничение этого напряжения

Вполне возможно использование менее эффективных, но зато намного более простых и доступных средств защиты, обеспечивающих, если не полную защиту, то хотя бы существенное ослабление разрушительного воздействия ПЭДВ на электронную аппаратуру энергосистем и повышение ее живучести.

является эффективной мерой защиты. Наиболее распространенными элементами, применяемыми для ограничения импульсных напряжений в цепях переменного и постоянного тока, являются нелинейные оксидно-цинковые резисторы – варисторы (рис. 2).

Эти элементы прекрасно зарекомендовали себя для защиты электроустановок от коммутационных и грозовых импульсных перенапряжений. Стандартный импульс, для подавления которого предназначены варисторы, это

импульс с передним фронтом 8 мкс и задним – 20 мкс (рис. 3).

Рабочие напряжения (250-500 В и более) и импульсные токи (10-20 кА и более) варисторов делают их прекрасными элементами для защиты низковольтных электрических сетей постоянного и переменного тока и аппаратуры, подключенной к этим сетям, от коммутационных и грозовых перенапряжений. Довольно часто варисторы используются и в специальных фильтрах для защиты от ЭМИ ЯВ. Однако, как показано в публикациях [4-5], использование варисторов для защиты от ЭМИ ЯВ является неэффективным, поскольку параметры ЭМИ ЯВ (2/25 наносекунд) существенно отличаются от параметров стандартного грозового импульса (8/20 микросекунд) и быстродействие обычных варисторов недостаточно для ограничения очень короткого импульса ЭМИ ЯВ.

Значительно более быстродействующими элементами являются так называемые TVS-диоды (Transient Voltage Suppressor diode) или просто



Рис. 4. Самые мощные на сегодняшний день TVS-диоды на токи 10 кА, выпускаемые компаниями Bourns (слева) и Littlefuse (справа).

удалось существенно повысить. Такие компании, как Bourns и Littlefuse, выпускают TVS-диоды на рабочие напряжения до 400 В и импульсные токи до 10 кА (рис. 4).

Возможность соединять несколько этих элементов параллельно позволяет значительно повысить мощность TVS-диодов и приблизить их по этому показателю к варисторам. Компания Littlefuse планирует в ближайшее время начать выпуск ограничителей перенапряжения AK20, составленных из двух параллельно включенных структур TVS-диодов по 10 кА каждый.

Для столь коротких импульсов, как ЭМИ ЯВ, существенное значение начинают приобретать факторы, которые можно было не учитывать при осуществлении защиты от грозовых импульсов, в частности, форма и длина выводов элементов, обуславливающих индуктивное сопротивление защитного элемента, пренебрежимо малое для грозовых импульсов. Для импульса 2/25 нс даже малая индуктивность выводов элементов обуславливает значительное индуктивное сопротивление, повышающее остаточное напряжение на защитном элементе после его срабатывания (так называемое «clamping



Рис. 2. Мощные оксидно-цинковые варисторы различных типов

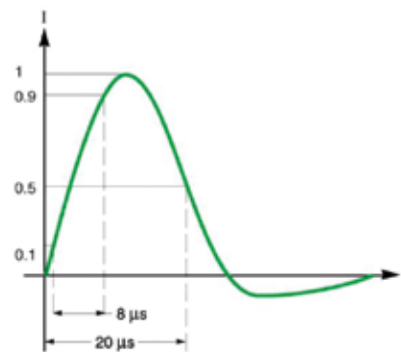


Рис. 3. Стандартный грозовой импульс 8/20 мкс

voltage»), то есть снижающее эффективность защиты от перенапряжений. Поэтому элементы защиты от ЭМИ ЯВ должны иметь специально предназначенные для этого выводы. Как правило, выводы элементов, предназначенных для поверхностного монтажа (SMD) имеют значительно меньшую индуктивность, чем обычные проволочные выводы, поэтому именно такими выводами должны снабжаться TVS-диоды, предназначенные для защиты от ЭМИ ЯВ.

Еще одна чисто техническая проблема заключается в том, что защитные TVS-диоды для электроэнергетики должны быть выполнены в корпусах, предусматривающих их монтаж в шкафах управления и релейной защиты на стандартных DIN-рейках. Как показала наша практика общения с компаниями-производителями самых мощных TVS-диодов (Bourns и Littelfuse), их инженерные службы достаточно гибки и прислушиваются к требованиям потребителей, поэтому можно ожидать, что эти компании в скором времени начнут выпускать параллельно соединенные TVS-диоды с выводами SMD в корпусах, предназначенных для монтажа на DIN-рейках.

Задачей энергокомпаний будет обеспечение правильного монтажа таких защитных элементов в шкафах: самое близкое расположение защитных элементов к защищаемым объектам, использование очень коротких выводов для присоединения защитных элементов и использование в качестве таких выводов коротких прямых отрезков многожильного гибкого изолированного провода достаточно большого сечения с лужеными (а лучше серебрянными) токопроводящими жилами.

Использование подключаемого заземления электронной аппаратуры вместо постоянного заземления

Как известно, сегодня все типы МУРЗ и контроллеров, применяемых в электроэнергетике, выпускаются в алюминиевых корпусах, соединенных, обычно, с помощью гибкой медной шинки с элементами металлоконструкций заземленного релейного шкафа (рис. 5).

Внутренняя «земля» электронной схемы этих устройств обычно соединена с корпусом, то есть с внешней системой заземления подстанции (электростанции). Под действием ЭМИ ЯВ, электромагнитное поле которого содержит вертикальную и горизонтальную составляющие, эта внешняя разветвленная система заземления становится огромной антенной, собирающей электромагнитную энергию с большой площади и доставляющей импульс высокого напряжения прямо на чувствительные компоненты электронной схемы МУРЗ и контроллеров. В публикации [6] показано, что для правильного функционирования



Рис. 5. Устройство заземления МУРЗ в релейных шкафах. 1 – МУРЗ в металлических корпусах; 2 – заземляющие медные шинки; 3 – элемент конструкции металлического шкафа, выполняющего роль эквипотенциальной поверхности

современных электронных систем, например, таких как МУРЗ, заземление не требуется. Оно нужно только для защиты обслуживающего персонала от выноса опасного потенциала на корпус при повреждении внутренней изоляции электронного устройства.

Однако период времени, когда персонал непосредственно работает с включенным МУРЗ, несоизмеримо мал по сравнению с общим периодом работы МУРЗ. 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).

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, все металлические корпуса электронных приборов должны быть соединены с помощью отрезка гибкой медной шинки с общей металлической шиной, расположенной в шкафу и изолированной от шкафа с помощью небольших пластмассовых изоляторов. Эта общая шина соединена с шиной заземления шкафа через контакты концевых выключателей, замыкающиеся при открывании двери. В некоторых отдельных случаях, если это покажется кому-то оправданным, может быть предусмотрено соединение вручную посредством провода упомянутой общей металлической шины с шиной заземления шкафа на время выполнения работ в открытом шкафу. Этот провод должен быть изолированным, постоянно соединенным с «землей» шкафа и иметь простое разъемное соединение с общей металлической шиной.

Парадоксальное заземление

Сегодня все цепи заземления проектируются таким образом, чтобы обеспечить минимальный импеданс для импульсного тока. Для этого создают специальные эквипотенциальные поверхности в металлических шкафах с электронной аппаратурой, присоединение корпусов этой аппаратуры к эквипотенциальной поверхности осуществляется специальными короткими и широкими медными шинками (рис. 6). То есть принимаются все меры для того, чтобы импульсная помеха с системы заземления беспрепятственно проникала 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.

Улучшение электромагнитного экранирования шкафов с электронной аппаратурой

Современные металлические шкафы релейной защиты часто снабжены стеклянными дверями (рис. 7), обеспечивающими хороший обзор экранов МУРЗ и других приборов, установленных в шкафу и придающими лучший эстетический вид релейному залу.

Кроме того, такие шкафы, как правило, не имеют пола, поскольку через нижнюю часть шкафа в него заводятся десятки кабелей. Все это фактически снижает до минимума экранирующие свойства таких шкафов. Но такое положение дел может быть исправлено вполне доступными средствами. Так, свободное пространство между входящими кабелями в нижней части шкафа может быть заполнено мягкими проволочными губками, несколькими слоями обычной бытовой алюминиевой фольги или металлизированной ткани, уложенных на металлическую сетку. Такую ткань выпускают десятки компаний, например: Marktec Inc., Swift Textile Metalizing, Kavon Filter Products и многие другие.

Обычное стекло в шкафах должно быть заменено специальным электропроводным стеклом, выпускаемым такими компаниями, как Second City Glass, Engineering Glass Products, Swift Glass Company и многими другими. Другое решение – наклейка на обычное стекло нескольких слоев прозрачной электропроводной пленки выпускаемой Acrle Tech., DeWal Industries, Emco Industrial Plastics и многими другими компаниями.

Заключение

Описанные в данной статье методы и средства, хотя и не защищают на все сто процентов электронную аппаратуру энергосистем от ПЭДВ, но позволяют повысить ее устойчивость и живучесть с



Рис. 7. Релейные шкафы со стеклянными дверями

минимальными затратами средств и рабочей силы, без внесения кардинальных изменений, что является особо важным для действующих электроустановок. Простота и доступность описанных средств должна побудить инженерные службы энергосистем приступить к практической реализации мер защиты чувствительной электронной аппаратуры от ПЭДВ. Описанные технические средства, а также организационные мероприятия по созданию запасов сменных модулей критических видов аппаратуры [7] являются, фактически, единственными доступными на практике методами защиты от ПЭДВ действующих энергообъектов, в отличие от вновь проектируемых со значительно более широкими возможностями.

Литература

Гуревич В.И. Уязвимости микропроцессорных реле защиты: проблемы и решения. – М.: Инфра-Инженерия, 2014. – 256 с.

Гуревич В.И. Защита оборудования подстанций от электромагнитного импульса. – М.: Инфра-Инженерия, 2016. – 302 с.

Гуревич В.И. Ферритовые фильтры. – Компоненты и технологии. №10, 2015. – 16-18 с.

M.-J. Jeng, A. Das, L.-B. Chang and others. A High Attenuation Electromagnetic Pulse Protector with GDT, MOV and Parallel Coupled BPF on High Thermal Conductivity Substrates. - Progress in Electromagnetics Research Letters, Vol. 33, 73-81, 2012. – 73-81 pp.

Гуревич В.И. Отсутствие стандарта на фильтры для защиты от электромагнитного импульса затрудняет создание эффективной защиты. – Электроника Инфо. №6, 2015. – 42-45 с.

Гуревич В.И. К вопросу о функциональном заземлении микропроцессорных устройств релейной защиты. – Релейная защита и автоматизация. №3, 2015. – 31-34 с.

Гуревич В.И. Создание запасов сменных модулей электронной аппаратуры – как средство повышения живучести энергосистемы. – Электроника Инфо. №8, 2015. – 20-23 с.

Простота и доступность описанных средств должна побудить инженерные службы энергосистем приступить к практической реализации мер защиты чувствительной электронной аппаратуры от ПЭДВ.



Рис. 6. Концевые выключатели различных типов