

Проблема электромагнитных воздействий на микропроцессорные устройства релейной защиты. Часть 3

Владимир ГУРЕВИЧ,
к. т. н.
vladimir.gurevich@gmx.net

Объекты электроэнергетики являются мощными источниками электромагнитных излучений, буквально пронизывающих все прилегающее к ним пространство. Но объекты электроэнергетики и сами подвергаются воздействию мощных внешних электромагнитных излучений. Еще каких-то 15–20 лет назад эти проблемы волновали лишь узкий круг теоретиков. Сегодня, в связи с все расширяющимся применением в электроэнергетике высокочувствительных микроэлектронных и микропроцессорных устройств, требуется знание хотя бы базовых вопросов электромагнитной совместимости (ЭМС) всеми специалистами, работающими в электроэнергетике, а особенно специалистами в области релейной защиты и автоматики.

Отдельные вопросы воздействия электромагнитных излучений на микропроцессорные реле защиты (МУРЗ) и проблемы ЭМС уже неоднократно поднимались на страницах нашего журнала. Автор попытался создать более полную картину проблемы электромагнитных воздействий на МУРЗ, а также приводит в своей статье новые данные, позволяющие специалистам-релейщикам лучше понять механизм таких воздействий и лучше осознать существующие проблемы и опасности. Статья состоит из трех частей. В данной, третьей части рассматривается влияние на МУРЗ гармоник тока и напряжения, качества напряжения в питающей сети, а также преднамеренных электромагнитных воздействий.

Влияние на МУРЗ гармоник в измеряемом токе и напряжении

Поскольку гармоники в напряжении и токе, поступающих на вход МУРЗ, представляют собой составляющие, имеющие более высокую, по сравнению с основной, частоту, механизм их воздействия на МУРЗ аналогичен описанному ранее и также связан с ошибками фильтрации и квантования сигнала в АЦП [20]. Выполненные исследования показали, что наибольшее влияние на МУРЗ оказывает третья гармоника. Из всех гармоник именно эта гармоника имеет, как правило, наибольшее значение в напряжении и токе, что только усугубляет ситуацию. При исследовании микропроцессорного реле напряжения с зависимой выдержкой времени [21] оказалось, что эта

выдержка в сильной степени зависит от третьей гармоники (рис. 29). Органы контроля напряжения применяются во многих типах МУРЗ, в том числе таких ответственных, как дистанционные защиты линий, что делает их зависимость от наличия гармоник весьма опасной.

Что касается гармоник в питающем напряжении сети, то их влияние на МУРЗ значительно слабее, так как практически все типы МУРЗ снабжены импульсными источниками питания, на входе которых стоит выпрямитель с фильтром. Выпрямленное и отфильтрованное напряжение преобразуется в высокочастотное, изменяется по величине, стабилизируется, а затем снова выпрямляется и снова фильтруется [22]. Все эти преобразования, осуществляемые в импульсных источниках питания, практически сводят к нулю влияние на МУРЗ гармоник в питающей сети.

Качество напряжения в питающей сети

Как показано выше, на МУРЗ слабо влияют гармоники напряжения в питающей сети. Они также менее чувствительны и к провалам напряжения, чем электромеханические контакторы и реле. К сожалению, некоторые авторы приводят некорректные данные о чувствительности МУРЗ к провалам напряжения [23] и на основании этих не проверенных ими лично данных делают далеко идущие выводы и прогнозы.

Мы специально провели некоторые исследования с целью проверить реальную устойчивость МУРЗ к провалам напряжения. Для этого нами были отобраны несколько типов микропроцессорных реле защиты ведущих мировых производителей. Результаты проверки приведены в таблице.

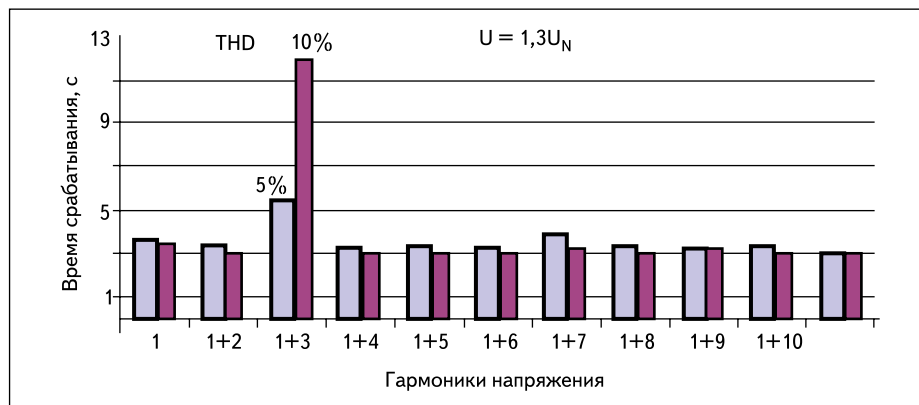


Рис. 29. Влияние гармоник напряжения на аналоговом входе МУРЗ на время срабатывания

Таблица. Результаты проверки

Тип микро-процессорного реле защиты и его производитель	Выдерживаемая без нарушения работы максимальная длительность полного отключения напряжения питания реле, с	Минимальное напряжение питания, при котором сохраняется работоспособность реле, с номинальным напряжением 230 В, В
SIPROTEC 7UT6 135 (Siemens)	1,6	78
SIPROTEC 7UT6 125 (Siemens)	1,6	36
SIPROTEC 7SJ8032 (Siemens)	3,8	44
SEL311L (SEL)	0,6	45
P132 (Areva)	0,8	45

В соответствии с международным стандартом IEC 60255-11 реле защиты обязаны выдерживать провалы напряжения длительно-стью не менее 40 мс.

Судя по данным таблицы, микропроцессорные реле защиты достаточно долго сохраняют работоспособность при полных (то есть до нуля) провалах напряжения питания, а также сохраняют работоспособность при длительных глубоких снижениях уровня напряжения питания вплоть до 40–20% от номинального значения. Такие свойства объясняются применением в микропроцессорных реле защиты внутренних импульсных источников питания, снабженных безынерционным стабилизатором напряжения с глубоким фазоимпульсным регулированием, большой емкостью электролитических конденсаторов на выходе и очень малым собственным потреблением современных микропроцессорных реле защиты.

Что касается воздействия импульсных коммутационных перенапряжений со стороны питающей сети, то они менее страшны для МУРЗ, так как поступают на внутренний импульсный источник питания, содержащий на входе фильтры, высоковольтные электронные компоненты, варисторы. Следует лишь проверить, правильно ли выбраны параметры варисторов и входных компонентов. Обычные гармоники в питающем напряжении (имеются в виду гармоники до 25-й) также слабо влияют на импульсный источник питания, так как непосредственно на его входе установлены двухполупериодный выпрямитель и сглаживающий фильтр, превращающие любые переменные напряжения (не очень высокой частоты) в постоянные.

Преднамеренные деструктивные электромагнитные воздействия

Как следует из самого названия этого раздела, речь в нем пойдет о преднамеренном дистанционном облучении электронной аппаратуры электромагнитным излучением с целью нарушения ее функционирования или выведения из строя. Отличие такого рода воздействий от рассмотренных выше коммутационных помех или наводок, вызванных протеканием тока молнии, заключается в том, что при мощности, соизмеримой

с мощностью разряда молнии, эти воздействия могут находиться так же близко к чувствительной аппаратуре, как и источники относительно слабых коммутационных помех.

Немного истории. Электромагнитный импульс как поражающий фактор ядерного взрыва был предсказан чисто теоретически еще в 1928 году физиком Артуром Комптоном (США). Об эффекте Комптона пришлось вспомнить, когда после испытательного взрыва в 1958 году над Тихим океаном первой водородной бомбы возникли неожиданные осложнения на расстоянии сотен миль от места взрыва: погасли уличные фонари на Гавайях, были полностью нарушены системы радионавигации в Австралии, нарушена радиосвязь во многих других регионах. Оказывается, мощный поток электронов создает в электрических и электронных приборах, даже на большом расстоянии, такой электромагнитный импульс, который выводит из строя эти приборы и может быть использован как самостоятельный вид оружия! Очевидно, с этого момента и начинается история электромагнитного оружия [24].

Первые теоретические идеи о возможности создания неядерных ударно-волновых излучателей сверхмощных электромагнитных импульсов (УВИ) были высказаны в начале 50-х годов прошлого столетия академиком Андреем Сахаровым во время его исследований реакций ядерного синтеза [25]. Уже в 1960-е годы не только ученым в СССР, но и политикам стало понятно, что такого рода источники сверхмощных электромагнитных импульсов могут стать основой для создания нового вида оружия. Свидетельством этому стали выступления Н. С. Хрущева, в которых он упоминал о некоем «фантастическом оружии». Конечно, для создания нового оружия на основе чисто теоретических разработок потребовалось время. Об УВИ как о самостоятельном устройстве для создания сверхмощных электромагнитных импульсов в качестве оружия впервые официально заявил советский ученый А. Б. Прищепенко после успешных испытаний 2 марта 1984 г. на полигоне Красноармейского научно-исследовательского института «Геодезия» в Московской обл. (ныне ФКП НИИ «Геодезия»). Позднее тем же А. Б. Прищепенко были сформулированы общие принципы боевого применения электромагнитных боеприпасов.

Принцип действия УВИ (рис. 30) заключается в формировании мощного импульса электромагнитного излучения в момент резкого сжатия резонатора. Специальный источник, даже маломощный, установленный извне, инициирует в резонаторе стоячую электромагнитную волну. Ее можно либо поддерживать во времени, либо создавать за несколько мгновений до взрыва. Взрыв обычного взрывчатого вещества очень быстро сжимает резонатор (либо равномерно по всей боковой поверхности, либо с торца). Электромагнитное

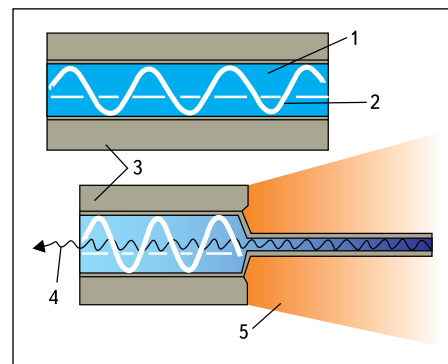


Рис. 30. Принцип действия УВИ:
 1 — электромагнитный резонатор;
 2 — стоячая волна;
 3 — взрывчатое вещество;
 4 — направленное электромагнитное излучение;
 5 — разлетающиеся продукты взрыва

поле не может выйти за пределы резонатора и резко сжимается, как следствие, повышается частота его колебаний. Так часть энергии взрыва переходит в энергию электромагнитных колебаний. По сравнению с первоначальной их мощность возрастает во много тысяч раз. В этот момент с помощью пиропатрона разрушают один из торцов резонатора, и стоячая волна превращается в бегущую, развивая при этом огромную импульсную мощность. По опубликованным данным, продолжительность этого импульса составляет десятки или сотни микросекунд, а амплитудные значения возникающего тока достигают десятков миллионов ампер. Для сравнения: при грозовом разряде сила тока в молнии обычно не превышает 20–30 кА и лишь в очень редких случаях может достигать 100 кА.

На сайте [26] приводятся сведения о том, что в 1980-х годах Советский Союз неоднократно проводил эксперименты с электромагнитным оружием в космосе, в результате которых случались аварии в энергосистемах различных штатов США. Лет двадцать тому назад и автору этих строк довелось лично присутствовать на предзащите докторской диссертации, посвященной теоретическим аспектам проблемы передачи энергии мощного сверхвысокочастотного источника из космоса на Землю.

В те же годы в СССР параллельно проводились эксперименты и с генерацией супермощных электрических разрядов (являющихся мощным источником электромагнитного излучения). В многочисленных американских газетах и журналах того времени сообщалось о необычайно мощных электрических разрядах, никогда не встречавшихся ранее, при полном отсутствии грозовой деятельности, которые были зафиксированы над территорией СССР. Еще лет 25 тому назад автор данной статьи лично видел фотографию сверхдлинного разряда между двумя вышками, проходящего горизонтально земле над домами какого-то поселка. Сегодня информацию о возможностях



Рис. 31. Экспериментальное оборудование Истринского филиала Всероссийского электротехнического института: а) установка КТ3-МВ; б) ГИН-9МВ

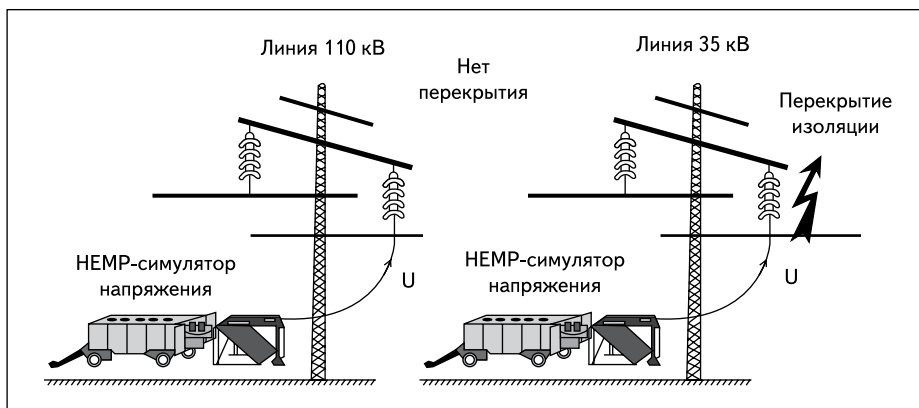


Рис. 32. Испытания ЛЭП 35 кВ и 110 кВ с помощью симулятора НЕМР (иллюстрация из международного стандарта IEC/TR 61000-1-3)

генерации таких импульсов можно прочесть на сайте Истринского филиала ВЭИ.

На рис. 31 приведены фотографии экспериментального оборудования Истринского филиала Всероссийского электротехнического института (ВЭИ):

- Установка КТ3-МВ. (Переменное напряжение в длительном режиме — 3 МВ; амплитуда коммутационного импульса — 4 МВ. При испытаниях на переменном напряжении 3 МВ зафиксированы разряды длиной 50 м с коммутационным импульсом 80 м.)
- ГИН-9МВ. (С помощью этого импульсного генератора с выходным напряжением 9 МВ получен аномальный искровой разряд длиной 150 м.)

В годы перестройки, очевидно, в ознаменование эпохи новых отношений со странами Запада, российские ученые А. Прищепенко, В. Киселев и И. Кудимов в своем докладе «Радиочастотное оружие на будущем поле боя» на международной конференции

во Франции [27] сообщили мировому сообществу о новом виде оружия, разработанном в СССР. Этот доклад произвел в то время настоящий фурор, впоследствии эти вопросы стали обсуждаться в СМИ. В дальнейшем по-



Рис. 33. Оборудование ОИВТРАН:

а) взрывомагнитный генератор с выходным током 1 МА и напряжением 1 МВ (мощность 800 кДж); б) установка 13Я3 «Сфера», рассчитанная на взрыв, эквивалентный 1 т тринитротолуола

явились и другие сообщения о достижениях российских ученых в этой области [28–30]. Сегодня вопросы электромагнитной войны и электромагнитного терроризма уже открыто обсуждаются в прессе, на зарубежных и российских научных конференциях [31, 32]. Не забыты и первые опыты с ядерными взрывами в атмосфере.

Последние исследования показали, что ядерный взрыв, произведенный в ближнем космосе (на высоте 200–300 км), практически не будет замечен населением страны, над которой он был произведен, за исключением, правда, того обстоятельства, что все системы жизнеобеспечения (энергоснабжение, водоснабжение, телекоммуникация, связь и т. д.) одновременно будут выведены из строя. В связи с этим существуют даже стандарты МЭК [33], в которых подробно описана методика проведения испытаний на устойчивость оборудования электрических сетей к воздействию высотного электромагнитного импульса (high-altitude electromagnetic pulse, НЕМР). Специально для проведения таких испытаний разработаны мобильные симуляторы, генерирующие импульсы, аналогичные тем, которые наводятся в проводах ЛЭП во время НЕМР.

По данным, приведенным в международном стандарте IEC/TR 61000-1-3, при воздействии НЕМР на обесточенные ЛЭП перенапряжения достигают такой величины, что происходит пробой даже линейных изоляторов класса 35 кВ и, естественно, всех изоляторов более низкого класса. А при воздействии того же импульса на ЛЭП, находящуюся под напряжением, пробиваются уже и изоляторы класса 110 кВ (рис. 32). При этом уже не приходится говорить обо всем остальном оборудовании, имеющем прямые, индуктивные или емкостные связи с проводами ЛЭП.

Сегодня работы в области электромагнитного оружия сконцентрированы в России в основном в трех крупнейших научно-исследовательских центрах: Объединенном институте высоких температур (ОИВТРАН, г. Москва) под руководством академика В. Фортова, в Институте сильноточной электроники (ИСЭ СО РАН, г. Томск) под руководством академика Г. Месяца и в Троицком

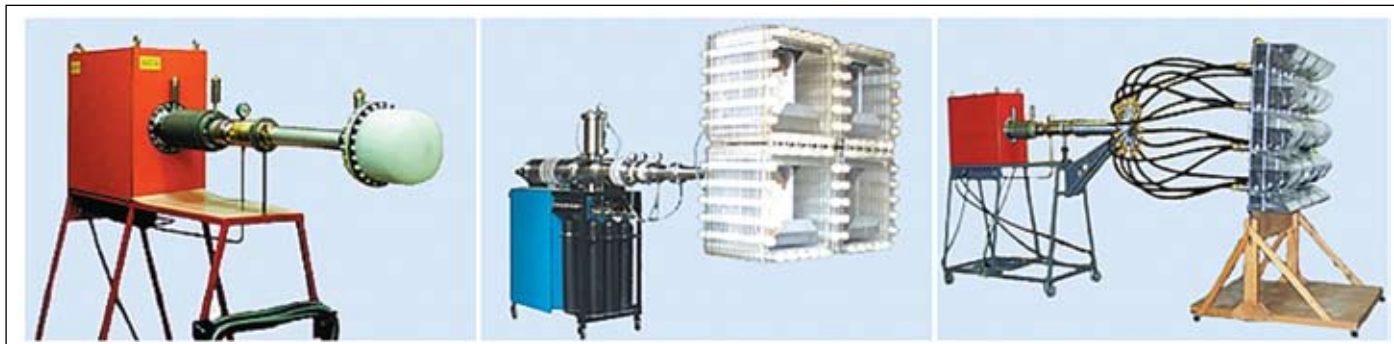


Рис. 34. Сверхмощные ультраширокополосные импульсные генераторы направленного сверхвысокочастотного электромагнитного излучения ИСЭ СО РАН с выходной мощностью до 1 ГВт, что сопоставимо с мощностью энергоблока АЭС

институте инновационных и термоядерных исследований (ТРИНИТИ) под руководством профессора В. Черковца.

В ОИВТРАН ведутся работы по созданию взрывомощных генераторов сверхмощных электромагнитных импульсов (рис. 33) [34].

В Томском ИСЭ СО РАН разрабатываются сверхмощные ультраширокополосные генераторы направленного электромагнитного излучения не взрывного действия (рис. 34) [35].

А в ТРИНИТИ создаются сверхмощные установки и изучаются физические эффекты сверхмощных электромагнитных импульсов (рис. 35). Основной установкой служит 8-модульный генератор электрических импульсов. Комплекс рассчитан на получение электрических импульсов мощностью до 12 ГВт.

Не нужно обладать особой фантазией, чтобы представить, как можно разместить компактные генераторы весом в 300–400 кг (рис. 34) в легком грузовике или в микроавтобусе с пластмассовым кузовом и дистанционно воздействовать на электронное оборудование подстанций и электростанций, вычислительных центров, центров управления полетами и т. п. При такой излучаемой мощ-

ности достаточно нескольких импульсов, чтобы выжечь «начинку» всех электронных приборов, включая МУРЗ, разумеется. Таково же, очевидно, и назначение последней разработки ОИВТРАН, о которой сообщил недавно корреспонденту ИТАР-ТАСС директор этого института, академик В. Фортов. Речь идет о взрывном электромагнитном генераторе с импульсной мощностью в тот же миллиард ватт, упакованном в небольшой чемоданчик. Этот генератор способен при взрыве выжечь всю электронику в радиусе многих сотен мет-

ров. Причем, по некоторым сведениям, выходит из строя даже выключенная в момент воздействия электронная аппаратура.

Естественно, что работы в тех же направлениях ведутся и во многих других странах, включая Китай, Индию и Иран. В США, например, интенсивные исследования в этой области ведутся такими крупными корпорациями, как TWR, Raytheon, Lockheed Martin, Los Alamos National Laboratory, Air Force Research Laboratory (Kirtland Air Force Base, New Mexico), а также многими гражданскими организациями и университетами. В частности, американцами разработаны генераторы мощных электромагнитных импульсов на различных принципах (рис. 36). В Германии работы в этой области уже много лет ведет фирма Rheinmetall Weapons and Munitions.

Старые, списанные радиолокаторы, оказывается, представляют не меньшую опасность и также могут быть использованы для направленного воздействия на электронную аппаратуру. Да что там радиолокаторы, если вывести из строя телевизор соседа по дому может каждый желающий, с помощью переделанной микроволновой печи. Такие, с по-



Рис. 35. Установка «Ангара-5-1» для генерации импульсов сверхвысоких электрических мощностей



Рис. 36. а) Сверхмощный передвижной генератор высоковольтных импульсов FEBETRON-2020 (выходное напряжение 2.3 МВ, выходной ток 6000 Ампер); б) мощный СВЧ-генератор направленного действия, смонтированный на автомобиле; в) мощный СВЧ-генератор направленного действия переносного типа

звонения сказать «рецепты», с чертежами и подробными описаниями также можно найти сегодня в Интернете.

По данным журнала "Popular Mechanics" вполне боеготовое электромагнитное оружие с радиусом действия в несколько метров может быть построено сегодня даже любителем при затратах всего около \$400. «Расползанию» такого рода технологий способствует не в последнюю очередь широкое применение их в армии и полиции. Такие «игрушки», как переносной излучатель (рис. 36в), способны не только остановить автомобиль преступника, сжигая в нем всю бортовую электронику и систему зажигания, но и полностью разрушить электронные системы контроля и управления на энергетических объектах, в системах охраны, связи и т. п., попади они в руки преступнику или террористу.

Основными каналами силового деструктивного воздействия на электронную аппаратуру являются сети электропитания всех классов напряжения, контрольные кабели и проводные линии связи, эфир. Поскольку МУРЗ связаны и с внешней сетью электропитания, и с разветвленной сетью контрольных кабелей, и с проводами-антеннами ЛЭП (через ТН и ТТ), и с компьютерной сетью, то оказываемое на них деструктивное воздействие может быть очень сильным и одновременно скрытым. Существенно повышает скрытность электромагнитного нападения то обстоятельство, что анализ повреждений в уничтоженном оборудовании не позволяет однозначно идентифицировать причину возникновения повреждения, так как причиной одних и тех же повреждений может быть силовое деструктивное воздействие, как преднамеренное (нападение), так и непреднамеренное (например, индукция от молнии). Это обстоятельство позволяет злоумышленнику успешно использовать эту технологию неоднократно.

Микроволновые источники излучения высокой мощности, работающее в сантиметровом и миллиметровом диапазонах, имеют дополнительный механизм проникновения энергии в оборудование, так сказать, «через заднюю дверь», то есть даже через небольшие отверстия, вырезы, окна и щели в металлических корпусах, через плохо экранированные интерфейсы. Любое отверстие, ведущее внутрь оборудования, ведет себя как щель в микроволновой полости, позволяя микроволновой радиации формировать пространственную стоячую волну внутри оборудования. Компоненты, расположенные в противоположных узлах стоячей волны, будут подвергаться воздействию сильного электромагнитного поля и перенапряжений. Особо чувствительны к воздействиям такого рода элементы памяти и современные микропроцессоры с очень высокой степенью интеграции внутренних компонентов.

Отсюда становится понятным, что защититься от всех этих «нападей» не так-то про-

сто. И даже такие известные помехоустойчивые технологии, как оптоволоконные, оказываются подверженными, как это не покажется странным, воздействию мощных электромагнитных импульсов. Во-первых, оптоволоконные линии имеют концевые устройства, выполненные на микроэлектронных компонентах и даже на микропроцессорах, которые предназначены для преобразования электрического сигнала в световой и обратно. Во-вторых, известно, что вектор поляризации света в оптическом волокне может изменяться под действием внешнего магнитного поля (собственно говоря, именно на этом принципе и построены магнито-оптические трансформаторы тока, широко представленные сегодня на рынке). Это приводит к тому, что сигналы систем релейной защиты и связи, передаваемые по оптическому волокну, встроенному в провода высоковольтной линии электропередач (весьма распространенная сегодня технология), будут подвергаться искажениям при протекании по этим проводам больших импульсных токов, создающих импульсные магнитные поля.

И это вовсе не теоретические изыскания. Уже сегодня фиксируются сбои в работе этих систем при растекании по проводам ЛЭП токов молнии.

Очевидно, что полностью защитить высокочувствительное электронное оборудование современных электростанций и подстанций от естественных и, особенно, преднамеренных электромагнитных воздействий вряд ли удастся. Однако существующие сегодня способы защиты (специальные шкафы, электропроводные прокладки и смазки, фильтры и т. п.) (рис. 37) могут существенно ослабить влияние внешних электромагнитных излучений в широком спектре

частот на высокочувствительную аппаратуру типа МУРЗ. Специальные шкафы выпускают такие компании, как R. F. Installations, Inc.; Universal Shielding Corp.; Eldon; Equipto Electronics Corp.; European EMC Products Ltd; Amco Engineering, и многие другие.

Понятно, что использование специальных технологий для защиты МУРЗ приведет к дополнительному удорожанию релейной защиты. Но это та цена, которую приходится платить сегодня за прогресс техники. Если этого не сделать сейчас, то может наступить момент, когда делать это будет уже поздно, ибо зависимость нашей цивилизации от электроники, компьютеров, микропроцессоров стала столь сильной, что беспечность в сфере защиты этих систем от преднамеренного воздействия на них направленного электромагнитного излучения граничит с преступлением и может обернуться непредсказуемыми последствиями.

Следует отметить, что еще несколько лет назад средства массовой информации очень неохотно публиковали статьи на эту тему, опасаясь привлечь внимание террористов и криминальных элементов. Однако после последней крупнейшей аварии в энергосистеме США террористы сами обратили внимание на зависимость современной цивилизации от электроэнергетики в ряде своих высказываний и угроз. После этого последовал шквал статей в «Нью-Йорк Таймс» и других СМИ, посвященных вопросу незащищенности важнейших систем жизнеобеспечения общества от электромагнитного терроризма. В [36], например, прямо указывается, что электроэнергетические системы являются сегодня важнейшей целью террористических атак. В этой связи просто поражает беспечность руководства и персонала

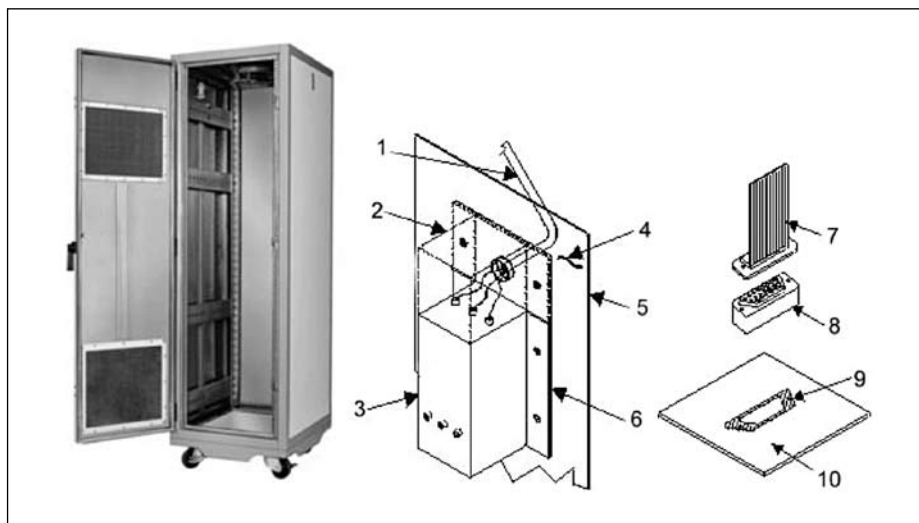


Рис. 37. Специальный металлический шкаф с вентиляционными окнами, имеющими защиту от проникновения радионизлучений и элементы фильтров для усиленной защиты от внешних электромагнитных полей в широком спектре частот:
1 — экранированный кабель питания; 2 — отсек, экранирующий ввод и разделку силового кабеля;
3 — мощный сетевой фильтр с элементами защиты от перенапряжений;
4 и 5 — внутренняя и внешняя поверхности шкафа; 6 и 9 — прокладки из специальной электропроводной резины;
7 — сигнальный кабель; 8 — специальный высокочастотный фильтр; 10 — стенка шкафа



Рис. 38. Некоторые книги, изданные в России, на тему о преднамеренных деструктивных электромагнитных воздействиях

24. Гуревич В.И. Электромагнитный терроризм — новая реальность XXI века // Мир техники и технологий. 2005. № 12.
25. Сахаров А. Д. Взрывомагнитные генераторы // Успехи физических наук. 1966. Вып. 4. Т. 83, 84.
26. The shocking history of Soviet Russia's Electromagnetic (EM) war attacks on the United States — <http://www.bayside.org/news8/sovietelectromagneticattacksonunitedstates.htm>
27. Prishchepenko A. B., Kiseljov V. V., Kudimov I. S. Radio frequency weapon at the future battlefield / Electromagnetic environment and consequences, Proceedings of the EUROEM'94. Bordeaux, France, May 30 — June 3, 1994, part 1.
28. Кадуков А. Е., Разумов А. В. Основы технического и оперативно-тактического применения электромагнитного оружия // Петербургский журнал электроники. 2000. Вып. 2.
29. Россия выставляет на рынок оружие будущего // Независимое военное обозрение. № 39 (261), 19–25 октября 2001 г.
30. Прищепенко А. Новый вызов террористов — электромагнитный // Независимое военное обозрение. 05.11.2004.
31. Богданов В. Н., Жуковский М. И., Сафронов Н. Б. Электромагнитный терроризм — состояние проблемы // Материалы конференции «Информационная безопасность регионов России». Санкт-Петербург, 14–16 июня 2005 г.
32. Daamen D. Avant-garde Terrorism: Intentional Electro Magnetic Interference. On Methods and Their Possible Impact. Report. Spring 2002.
33. IEC/TR 61000-1-3 Electromagnetic compatibility (EMC) — Part 1–3: General — The effects of high-altitude EPM (HEMP) on civil equipment and systems.
34. Взрывные генераторы мощных импульсов электрического тока / Под ред. В. Е. Фортова. М.: Наука, 2002.
35. Месяц Г. А. Генерирование мощных наносекундных импульсов. М.: Советское радио, 1973.
36. Report of the Commission to Assess the Threat to the United States from Electromagnetic Pulse (EMP) Attack — http://www.empcommission.org/docs/empc_exec_rpt.pdf
37. Прищепенко А.Б. Взрывы и волны. Взрывные источники электромагнитного излучения радиочастотного диапазона / Учеб. пособие по специальности 170103 «Средства поражения и боеприпасы». М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008.
38. Прищепенко А. Б. Оружие уникальных возможностей // Независимое военное обозрение. 1998. № 26.
39. Ганнота А. Объект поражения — электроника // Независимое военное обозрение. 2001. № 13.
40. Электромагнитный терроризм на рубеже тысячелетий/ Под ред. Т. Р. Газизова. Томск: Томский государственный университет, 2002.
41. Добрыкин В. Д., Куприянов А. И., Пономарев В. Г., Шустов Л. Н. Радиоэлектронная борьба: силовое поражение радиоэлектронных систем. М.: Вузовская книга, 2007.

энергосистем, в течение многих лет закрывающих глаза на эту проблему. Как иначе, чем преступной беспечностью, можно назвать полное пренебрежение к огромному количеству публикаций на эту тему и в специальных технических изданиях, и в прессе, и в Интернете, и в книгах, наконец (рис. 38) [37–41].

Автор был просто шокирован полным отсутствием даже минимальных знаний этой проблемы не только у рядовых энергетиков, но и у руководящих работников. Более того, попытки автора поднять эту тему в статьях, на форумах по релейной защите приводили лишь к насмешкам и пренебрежительному фырканью в его адрес.

Существующая в электроэнергетике тенденция все расширяющегося применения микропроцессорных устройств релейной защиты, непосредственно управляющих энергетическим оборудованием — с одной стороны, и тенденция увеличения плотности элементов в микрочипах (сопровождающаяся снижением их устойчивости к внешним электромагнитным воздействиям) — с другой, на фоне прогресса в области создания средств дистанционного деструктивного воздействия образуют весьма опасный вектор. А «страусиная» политика — нежелание знать и осознавать грядущие опасности — еще никогда не приводила к добру...

Заключение

Справедливости ради следует отметить, что и в России, активно занимающейся разработкой средств поражения электронной аппаратуры, находятся отдельные специалисты в области электроэнергетики и релейной защиты, понимающие нависшую опасность и принимающие соответствующие меры. Так, например, в одном из базовых центров по внедрению передовых компьютерных (интеллектуальных) технологий в электроэнергетике России, созданном на базе Великоустюгских электрических сетей

«Вологдаэнерго» и охватывающей 35 подстанций, с самого начала реконструкции приняли модель, согласно которой электро-механические защиты не были выброшены на свалку, а, наоборот, на базе новых электро-механических реле защиты были разработаны и созданы новые панели релейной защиты, специально предназначенные для ввода в эксплуатацию в критической ситуации, когда вся компьютерная техника может быть выведена из строя.

Кроме того, и сама интеллектуальная система автоматического управления специально разрабатывается для этого опытного полигона российской энергетики предприятиями оборонной промышленности по технологиям, используемым для производства космических аппаратов. По утверждению сотрудников этого центра, помехоустойчивость их системы намного превышает помехоустойчивость микропроцессорных систем, производимых ведущими релейными концернами мира.

По нашему мнению, такая дальновидная политика и такие подходы должны быть приняты на вооружение во всем мире. Только в этом случае удастся избежать новых катастроф и огромных финансовых потерь. ■

Литература

20. Zamora I., Mazón A. J., Valverde V., Torres E., Dyško A. Power Quality and Digital Protection Relays / International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ'04). Barcelona, 2004.
21. Gencer Ö. Ö., Basa Arsoy A., Özturk S., Karaarslan K. Influence of Voltage Harmonics on Over / Under Voltage Relay / Department of Electrical Engineering, Kocaeli University, Izmit.
22. Гуревич В.И. Вторичные источники электропитания: анатомия и опыт применения // Электротехнический рынок. 2009. № 1.
23. Карташев И. Провалы напряжения. Реальность прогнозов и схемные решения защиты // Новости электротехники. 2004. № 5 (29).