

Продолжение. Начало в № 9'2017

Проблемы защиты систем телекоммуникации на объектах электроэнергетики от электромагнитного импульса. Часть 2

Владимир ГУРЕВИЧ

Системы телекоммуникации на объектах электроэнергетики выполняют важнейшую роль в приеме и передаче данных, в телеизмерениях, телеуправлении, связи. Вместе с тем среди множества других важнейших электрических и электронных систем в электроэнергетике эти системы являются наиболее чувствительными к электромагнитному импульсу высотного ядерного взрыва (ЭМИ ЯВ) и одновременно наименее защищенными. Такое положение дел не может считаться нормальным и требует принятия соответствующих мер. В статье продолжено обсуждение данной проблемы, начатой в предыдущей публикации [1], и описывается общая технология и элементная база для защиты оборудования систем телекоммуникаций.

Электронное оборудование систем телекоммуникации в электроэнергетике отличается сложностью, многообразием, большим количеством видов и типов аппаратуры, размещенной в специальных монтажных шкафах.

Даже беглого взгляда на эти шкафы (рис. 1) уже достаточно, чтобы понять всю сложность решения проблемы защиты систем телекоммуникаций в электроэнергетике.

Очевидно, что вновь проектируемые системы связи должны базироваться исключитель-

но на оптоэлектронике и оптических линиях связи, а вся электронная аппаратура — размещаться в специальных защищенных шкафах и получать питание от защищенных источников питания по специальным кабелям.

Значительно более сложную задачу приходится решать для защиты уже существующего оборудования (рис. 1), которое проектировалось и монтировалось без учета требований по устойчивости к ЭМИ ЯВ. Даже переход от медных кабелей связи на оптические с помощью специальных дополни-

тельно устанавливаемых преобразователей не решает проблемы, поскольку чувствительная электронная аппаратура остается смонтированной в совершенно непригодных для защиты от ЭМИ шкафах со стеклянными дверями, куда заведены десятки кабелей, часть из которых вообще не экранирована, получает питание от незащищенных источников и т. д. А распределенную по большой территории систему телеметрии и управления SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) с многочисленными датчиками

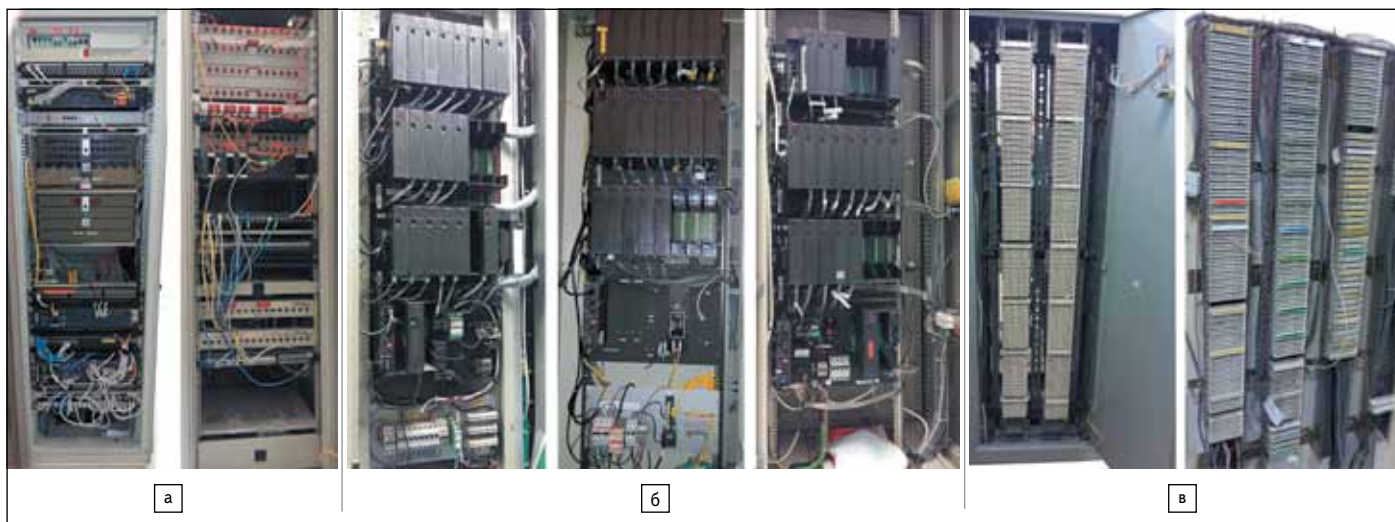


Рис. 1. Разновидности монтажных шкафов: а) монтажные шкафы телекоммуникаций (communication cabinet); б) шкафы системы MOSCAD-RTU; в) распределительные патч-панели (Digital Distribution Frame — DDF; Main Distribution Frame — MDF).

Панель, смонтированная в шкафу (слева); открытая панель, расположенная непосредственно на стене (справа)

RTU (remote terminal unit) крайне сложно (если вообще возможно) и дорого полностью перевести на оптику. Поэтому для защиты существующих систем телекоммуникаций должны быть использованы, по нашему мнению, другие средства.

Средства защиты от ЭМИ ЯВ могут быть условно разделены на две категории: специальные элементы для защиты чувствительных входов аппаратуры и общая технология защиты аппаратуры, относящаяся к конструкции шкафов, системе электропитания, системе заземления и т. п. Первая категория была рассмотрена ранее в [1]. В данной статье описываются общие конструктивные решения и технологии, направленные на повышение живучести системы телекоммуникаций.

Общий принцип защиты телекоммуникационной аппаратуры

Система телекоммуникаций является одной из составных частей электротехнического комплекса, обеспечивающего производство, передачу и распределение электроэнергии. Поэтому к данной составной части применим тот же общий подход, что и к остальным элементам всего комплекса: защите от ЭМИ ЯВ подлежат лишь критические виды аппаратуры, расположенные на критических объектах и отвечающие за выполнение критических функций, то есть таких, без которых производство, передача или распределение электроэнергии становятся невозможными. Объекты, подлежащие защите, заранее определяются персоналом энергосистем и включаются в специальный план реконструкции.

При определении критических видов оборудования в системе телекоммуникаций могут возникнуть серьезные трудности, обусловленные тем, что многие виды подобного оборудования обслуживают важнейшие объекты электроэнергетики, в то время как другое оборудование не относится к данной категории. На практике это выглядит таким образом, что к части входов одного многоканального устройства подключены внешние электрические цепи, отнесенные к критическим, а к другой части — к некритическим. При защите только критических входов, многоканальное устройство может быть полностью выведено из строя высоковольтным импульсом ЭМИ, проникшим в устройство через незащищенный вход. Поэтому критические и некритические электрические цепи должны быть разделены в отдельные группы, для обслуживания каждой из них должно использоваться отдельное телекоммуникационное устройство. Наиболее актуальна эта проблема для системы SCADA с большим количеством шкафов и электронных модулей (например, MOSCAD, рис. 16), обрабатывающих и передающих сигналы на центральный диспетчерский пульт, поступающие с распределенных по обширной территории датчиков телеметрии (RTU). Часть из этих сигналов является очень важной, тогда как без другой части можно временно обойтись в чрезвычайной обстановке после воздействия ЭМИ ЯВ. Поэтому все важные цепи RTU должны быть переключены на входы электронного модуля, выделенного как критический, а сами модули должны быть размещены в шкафах, определенных как критические (защита самих критических RTU — отдельная задача). В дальнейшем рассматриваются меры защиты именно таких шкафов.

Реконструкция шкафов с электронной аппаратурой

Многие шкафы системы телекоммуникаций снабжены стеклянными дверями, через которые свободно проходит электромагнитное излучение, поэтому реконструкция критически важных шкафов должна начинаться в первую очередь именно с дверей — они не должны содержать обширных не электропроводных участков, пропускающих ЭМИ.

На рынке достаточно широко представлены электропроводные прозрачные стекла (а точнее стекла с электропроводным внешним слоем), выпускаемые многими компаниями, например, Lotech, Visontek Systems, Holland Shielding Systems B. V., Techinstro. Такие стекла получают с помощью внесения специальных добавок в по-

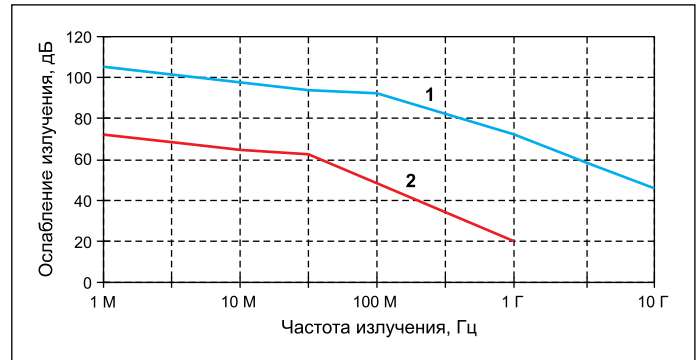


Рис. 2. Характеристики трехслойных стекол от компании Holland Shielding Systems B.V.:
1 — экранирующий эффект стекол с промежуточным слоем из медной сетки;
2 — стекло электропроводящим внешним слоем



Рис. 3. Электропроводные лаки, краски и спреи

верхностный слой стекла в процессе производства. Обычно используются несколько типов легирующих добавок: окись индия (indium tin oxide — ITO), окись фтора (fluorine-doped tin oxide — FTO), реже окись цинка (doped zinc oxide). Изготавливаются и полимерные электропроводные панели на основе полиацетилена, полианилина, полипиррола, политиофена и других материалов [2].

Наибольшим экранирующим эффектом обладают трехслойные стекла с внутренним слоем из тонкой медной сетки, выпускаемые компанией Holland Shielding Systems B. V. (рис. 2).

Альтернативой могут служить всевозможные электропроводящие лаки, краски, спреи, также широко представленные на рынке (рис. 3) и легко наносимые на стеклянные двери.

Еще одна альтернатива — полная замена стеклянных дверей металлическими.

Дополнительная мера повышения защищенности шкафов с электронной аппаратурой — установка по периметру дверей специальных прокладок из электропроводной резины (рис. 4).

При наличии в шкафах вентиляционных жалюзи они должны быть снабжены специальными сотовыми панелями (рис. 5), состоящими из набора металлических трубок с определенным соотношением между диаметром и длиной (так называемые запердельные волноводы), пропускающих поток воздуха, но препятствующих проникновению электромагнитной волны.



Рис. 4. Прокладки из электропроводной резины для дверей

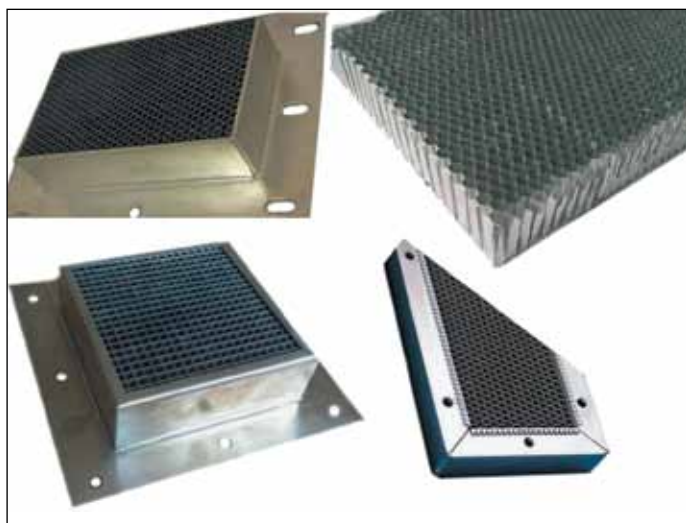


Рис. 5. Сотовые вентиляционные панели

Кроме перечисленных мер, внутреннее пространство шкафа желательно разделить на несколько этажей с установкой алюминиевых разделительных панелей между ними с минимальным количеством небольших отверстий (вырезов) под кабели.

Описанные меры, способствующие повышению устойчивости шкафов системы телекоммуникации к ЭМИ, полностью относятся и к шкафам с оборудованием систем электропитания, содержащих зарядно-подзарядные агрегаты, конвертеры и другие устройства, которые часто выполнены в шкафах вообще без дверей и снабжены большим количеством вентиляционных жалюзи.

Усовершенствование кабельных вводов в шкафы

Во многих типах монтажных шкафов отсутствует сплошной металлический пол или он содержит широкие открытые участки, через которые в шкаф заведены многочисленные кабели, собранные в общий жгут (рис. 6).

В таких общих жгутах находятся кабели и экранированные, и не экранированные; кабели, по которым передаются сигналы высокой частоты, и кабели, по которым передаются аналоговые сигналы постоянного тока; а также кабели питания постоянным током. Помимо влияния одних кабелей на другие, имеет место переизлучение во внутреннее пространство шкафа с электронной аппаратурой, электромагнитного поля, наведенного в кабелях и в их экранах во внешнем пространстве. То есть получается, что электронная аппаратура даже в тщательно защищенном с помощью описанных средств шкафу будет подвержена воздействию ЭМИ. Поэтому останавливаться лишь на совершенствовании конструкции самого



Рис. 6. Кабельные жгуты, заведенные в монтажные шкафы системы телекоммуникации через открытое пространство в полу

шкафа недостаточно. Нужно позаботиться и о кабелях, входящих в шкафы. Проблема состоит в невозможности использования какого-то одного общего для всех кабелей средства защиты ввиду разного типа сигналов, проходящих по этим кабелям. Таким образом, первым шагом должно стать разделение общего жгута на отдельные группы кабелей с однотипными сигналами и отдельное экранирование каждой группы с помощью накладного гибкого экрана, содержащего электропроводную ткань с продольной застежкой-молнией, или путем обматывания отдельных кабельных жгутов электропроводной лентой с клеевым слоем (рис. 7).

Отверстия в полу шкафов в месте ввода кабелей должны быть плотно закрыты электропроводной тканью (рис. 8). Если эти отверстия имеют большую площадь, то под ткань должна быть установлена металлическая решетка, удерживающая ткань.



Рис. 7. Гибкий накладной экран с застежкой-молнией, содержащий электропроводную ткань (вверху), и различные типы электропроводной ленты на основе меди, алюминия и графита, снабженные клеевым слоем (внизу)



Рис. 8. Электропроводные ткани

Кабель питания постоянного тока должен быть снабжен высокочастотными дросселями, врезаемыми в плюсовую и минусовую жилу (рис. 9). Эти дроссели имеют небольшие габариты и устанавливаются в месте ввода кабеля в шкаф (на полу шкафа) под электропроводной тканью. Дроссели имеют очень низкое сопротивление по постоянно-

му току (миллиомы) и высокий импеданс для короткого импульса ЭМИ.

Необходимая для эффективного подавления индуктивность дросселей рассчитывается с учетом ее снижения при протекании через них постоянного тока.

Кабели с низкочастотными сигналами (в диапазоне килогерц) и с аналоговыми

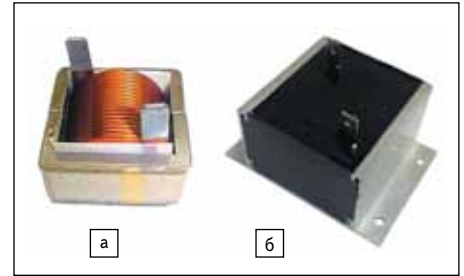


Рис. 9. Дроссели, производимые фирмой CWS с геликоидальной обмоткой и сердечником из специального сплава для ослабления импульса ЭМИ в кабеле питания: а) открытый; б) капсулированный эпоксидным компаундом

сигналами постоянного тока (4–20 мА) должны защищаться установкой на них разборных ферритовых фильтров, не требующих разрезания кабелей (рис. 10).

Причем фильтры должны устанавливаться в месте ввода кабеля в шкаф, то есть на его полу и под электропроводной тканью. Особенности таких фильтров и методика их выбора описаны в [3].

Реконструкция системы заземления шкафов с электронной аппаратурой

Проблемы конвенциональной системы заземления электронной аппаратуры, смонтированной в электрических шкафах, и особенности заземления при воздействии ЭМИ ЯВ подробно рассмотрены в [4]. К сожалению, пока подобные отличительные характеристики практически нигде не учитываются, более того, часто можно заметить в шкафах с одинаковой аппаратурой телекоммуникаций очень разные варианты выполнения элементов системы заземления, например соединение шинок уравнивания потенциалов (рис. 11). С точки зрения здравого смысла трудно объяснить причины таких различий, как и целесообразность изоляции этой шинки от шкафа, к которой гибкими линками подключены металлические корпуса электронной аппаратуры, укрепленные непосредственно (то есть без изоляции) на металлических элементах шкафа.

В соответствии с рекомендациями [4] усовершенствованное заземление шкафов системы телекоммуникации должно быть выполнено по принципу «специальная плавающая «земля» (рис. 12).

Реконструкция открытых патч-панелей

Если патч-панели (рис. 1в) выполнены открытыми и установлены непосредственно на стенке, то для них требуются специальные меры защиты от ЭМИ. Одна из таких мер — установка специальных алюминиевых экранов, состоящих из двух частей: пластины,

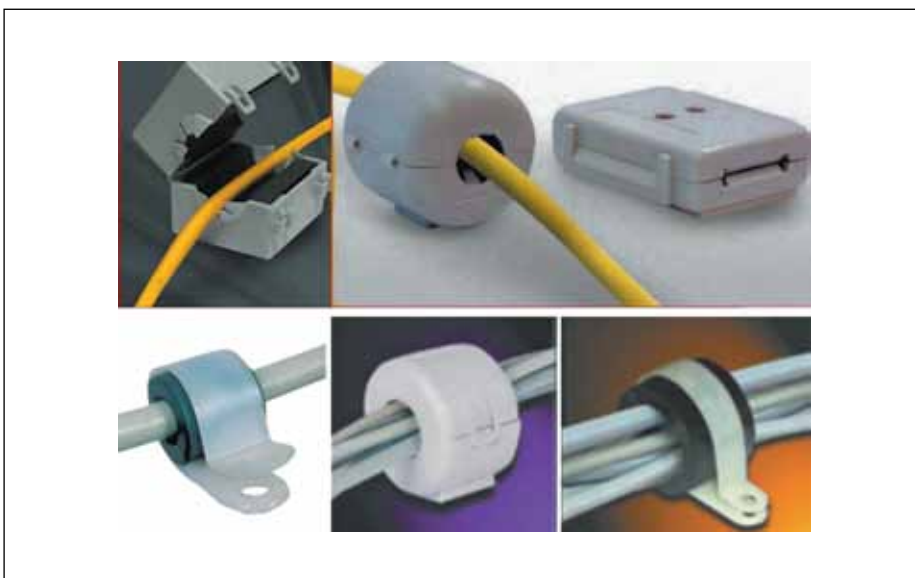


Рис. 10. Разборные ферритовые фильтры

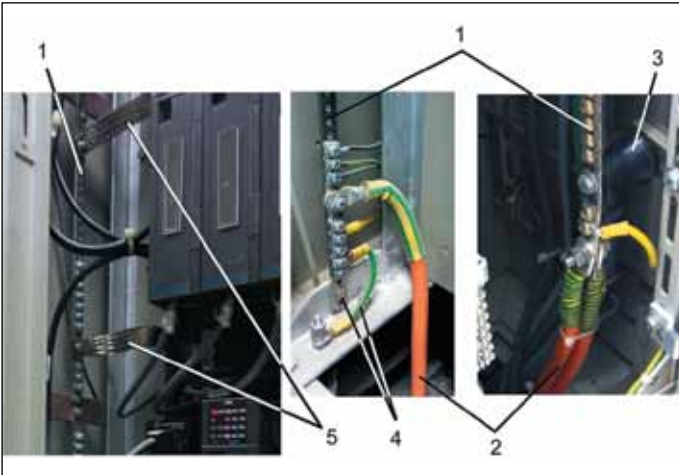


Рис. 11. Конструктивное выполнение заземления в шкафах системы телекоммуникаций:
1 — шинка выравнивания потенциалов; 2 — кабель внешней системы заземления;
3 — изолятор, отделяющий шинку выравнивания потенциалов от корпуса шкафа;
4 — элементы, соединяющие шинку выравнивания потенциалов с корпусом шкафа;
5 — гибкие линки, соединяющие корпуса электронных приборов с шинкой выравнивания потенциалов

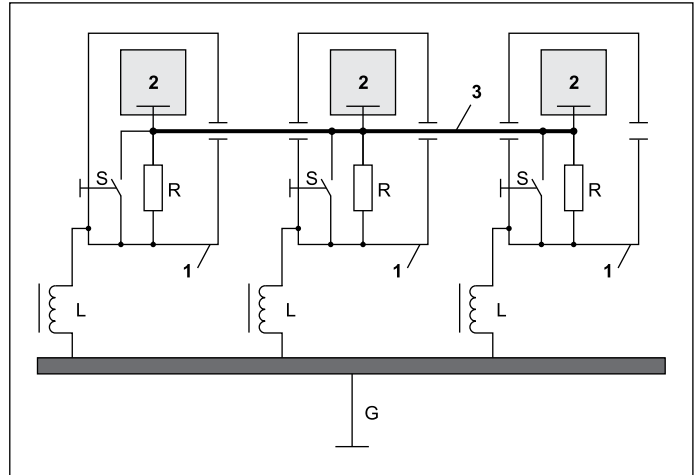


Рис. 12. Предлагаемая система заземления: «специальная плавающая «земля»:
1 — металлические шкафы с электронной аппаратурой; 2 — электронные приборы;
3 — гибкий изолированный экранированный кабель достаточно большого сечения, образующий изолированную локальную область общего потенциала (местная «земля»);
R — высокоомные высоковольтные резисторы;
S — конечные выключатели, соединяющие местную «землю» с внешней системой заземления при открывании двери шкафа;
L — дроссели; G — внешняя система заземления

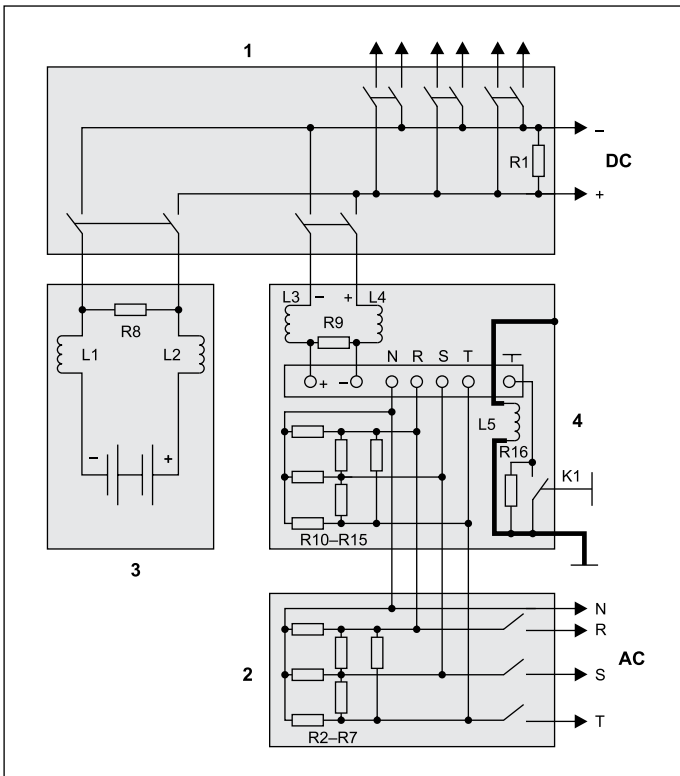


Рис. 13. Система электропитания аппаратуры телекоммуникаций:
1 — распределительный щит постоянного тока;
2 — распределительный щит переменного тока;
3 — батарея аккумуляторов;
4 — зарядно-подзарядный агрегат
(иногда со встроенными преобразователями напряжения);
L1—L4 — защитные дроссели;
R1—R15 — варисторы;
L5, R16, K1 — элементы системы заземления «специальная плавающая «земля»

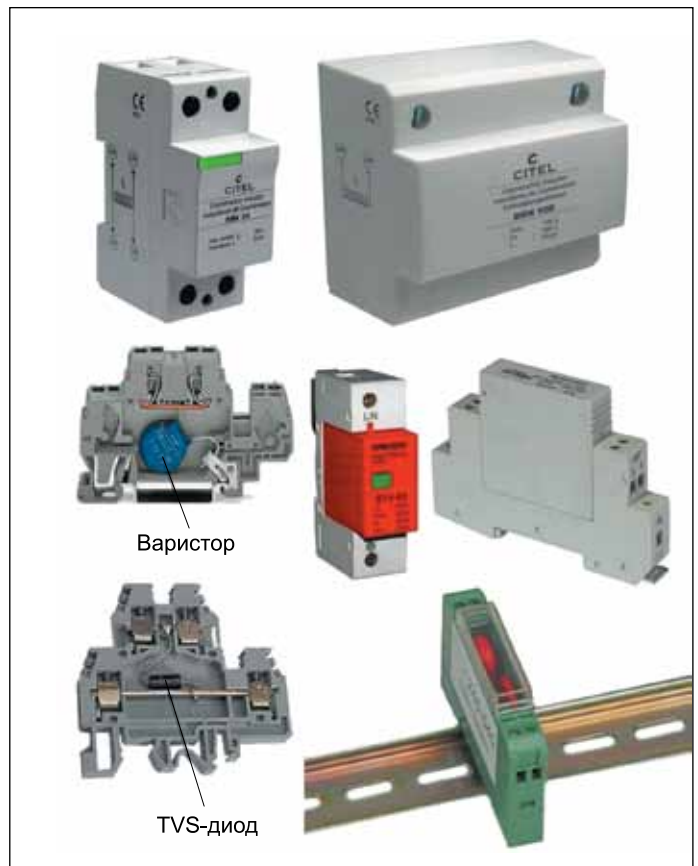


Рис. 14. Дроссели на токи 36 и 100 А, выпускаемые компанией Citel (вверху) и варисторы (TVS-диоды) различных производителей в корпусах, специально предназначенных для монтажа в шкафах на стандартную DIN-рейку

несколько превышающей по размеру патч-панель и устанавливаемой на стенке под ней, и коробка с фланцами, закрывающего патч-панель с лицевой стороны и металлически соединенного без щелей (или с прокладками

из электропроводной резины) с самой пластиной. Все низкочастотные кабели следует защитить дешевыми и достаточно эффективными ферритовыми фильтрами, а высокочастотные витые пары критических ка-

блей — специальными предохраняющими элементами на основе TVS-диодов, которые смонтированы на небольших панелях и подключены параллельно витым парам проводников в те же гнезда патч-панелей [1].

Защита системы электропитания

Защита системы электропитания аппаратуры телекоммуникаций осуществляется традиционными методами с использованием варисторов и дросселей (рис. 13).

Принципы построения подобной системы электропитания универсальны и рассмотрены в [5]. В относительно маломощной системе электропитания аппаратуры телекоммуникации рекомендуется применение дросселей и варисторов (или TVS-диодов) в корпусах, предназначенных для монтажа в шкафах на стандартную DIN-рейку (рис. 14).

Помимо описанных мер защиты системы электропитания, в помещении с установленным зарядно-подзарядным агрегатом (или вблизи него) должен быть смонтирован дизель-генератор на 3–5 кВт с заранее выведенной наружу выхлопной трубой (рис. 15). Оба агрегата должны быть отключены от всех внешних электрических цепей и помещены в закрытый алюминиевый контейнер.

Этот резервный источник питания на базе дизель-генератора необходим на тот случай, если в результате воздействия мощного ЭМИ ЯВ будет поврежден внешний источник переменного тока, от которого питается вся система телекоммуникаций.

Реконструкция помещения (зала) с критическими видами аппаратуры системы телекоммуникаций

Как правило, в такие помещения заводят извне большое количество кабелей, кроме того, иногда имеются и незащищенные окна. Очевидно, что полностью реализовать меры для безопасности в помещении, которое не было спроектировано и построено как защищенное, нельзя. Однако можно существенно ослабить уровень электромагнитного излучения, проникающего в такое помещение через кабели, окна и двери. Для этого кабели, подсоединенные извне, должны быть помещены в сплошные металлические лотки, непосредственно с места ввода кабелей в зал, а окна и двери экранированы такими же методами, что и стеклянные двери шкафов, или вовсе закрыты алюминиевыми панелями или электропроводными шторами.

Заключение

Описанная технология защиты от ЭМИ ЯВ телекоммуникационных систем, самых чувствительных и уязвимых в электроэнергетике, является вполне доступной и легко осуществимой при использова-



Рис. 15. Компактный зарядно-подзарядный агрегат мощностью 4 кВт

нии совместно с методами защиты чувствительных входов электронной аппаратуры [1]. Для ее реализации на рынке имеется широкая номенклатура недорогих элементов и материалов. Предложенные технические решения и рекомендации направлены в первую очередь на реконструкцию действующих систем, но могут быть применены (частично) и при проектировании новых систем, основанных на оптоэлектронике и волоконно-оптических линиях связи (ВОЛС). ■

Литература

1. Гуревич В. И. Проблемы защиты систем телекоммуникаций на объектах электроэнергетики от электромагнитного импульса // Компоненты и технологии. 2017. № 9.
2. Skotheim T. A., Reynold J. Handbook of Conducting Polymers. CRC Press, 1998.
3. Гуревич В. И. Ферритовые фильтры // Компоненты и технологии. 2015. № 10.
4. Гуревич В. И. Проблемы заземления электронной аппаратуры электроэнергетических объектов // Компоненты и технологии. 2017. № 4.
5. Gurevich V. Facilities Ensuring Substation Direct Current Auxiliary Power System Survivability under Electromagnetic Pulse (HEMP). Part 1. Stationary Substation // International Journal of Electrical and Electronics Research. 2017. Vol. 5, Iss. 3.