

Системы автоматического пожаротушения, использующие микропроцессорную технику, к которой подключены с помощью длинных кабелей многочисленные датчики, очень чувствительны к электромагнитному импульсу высотного ядерного взрыва (ЭМИ ЯВ). Непредсказуемое срабатывание таких систем с предварительным автоматическим отключением электрооборудования под воздействием ЭМИ ЯВ, может повлечь за собой возникновение серьезных аварий в энергосистемах. В статье рассмотрены меры по повышению устойчивости систем автоматического пожаротушения критически важных видов электрооборудования.

Повышение устойчивости систем автоматического пожаротушения электроустановок к ЭМИ ЯВ

Владимир Гуревич, г. Хайфа

Подрыв ядерного боеприпаса на высоте свыше 30 км сопровождается возникновением электромагнитного импульса с напряженностью электрического поля, достигающей до 50 кВ/м у поверхности земли. В связи с интенсивным, и все расширяющимся, применением низковольтной высокочувствительной микроэлектронной и микропроцессорной техники в системах электроснабжения, ЭМИ ЯВ рассматривается во многих армиях мира как весьма перспективное средство поражения основы инфраструктуры любой страны – электроэнергетики. В связи с этим, в последнее время во многих странах так же интенсивно разрабатываются и средства защиты электроэнергетического оборудования от ЭМИ ЯВ [1, 2]. Однако, помимо электронного и электротехнического оборудования, непосредственно участвующего в процессах производства, передачи и распределения электроэнергии, в электроэнергетике имеется еще один вид высокочувствительного электронного оборудования, не связанного непосредственно с этими процессами, но способного нарушить эти процессы. Речь идет о системах пожарной безопасности, которыми обязательно снабжаются электростанции и подстанции.

Противопожарные системы энергообъектов

Существует большое разнообразие таких систем – от пожарной сигнализации до систем автоматического пожаротушения. Понятно, что сбой в системе пожарной сигнализации не приводит к возникновению каких-то катастрофических последствий в электроэнергетике, чего не скажешь о системах автоматического пожаротушения, поскольку при самозапуске этих систем, некоторые из них предварительно автоматически отключают электрооборудование и только после этого включают подачу противопожарного агента. Как правило, пожаротушение электрооборудования в низковольтных (до 0.4 кВ) электрических шкафах осуществляется посредством подачи



в зону горения под высоким давлением неэлектропроводного порошка, газа или мелкодисперсного аэрозоля (рис.1), и не требует отключения напряжения. Эти системы также отличаются большим разнообразием: от локальных, содержащих один баллон с газом и предназначенных для единичного шкафа или группы шкафов (рис.1), до централизованных, содержащих достаточно сложные и разветвленные системы (рис.2). Локальные системы не содержат сложных электронных компонентов, и не требуют какой либо защиты от ЭМИ ЯВ.

Но централизованные системы пожаротушения, содержащие микроэлектронную аппаратуру управления, могут быть повреждены ЭМИ ЯВ. При этом опасность представляют оба вида повреждения: как несрабатывание системы пожаротушения при возникновении пожара, так и её ложное срабатывание. В последнем случае речь идет не только о высокой стоимости расходуемого без необходимости газа, но и о том, что при расходе этого газа при ложном срабатывании, его может не хватить для тушения пожара, вполне реального после пробоя изоляции многих видов электрооборудования электромагнит-



Рис.1

ным импульсом высокого напряжения. Элементы централизованной системы пожаротушения газом показаны на **рис.2**.

При тушении возгорания крупного высоковольтного оборудования, где наряду с вытеснением кислорода из зоны горения требуется также интенсивное охлаждение зоны горения, применяется, как правило, вода, подаваемая на объект по заранее смонтированной вокруг него системе трубопроводов и распыляемая с помощью сплинкеров. При этом, отключение таких объектов перед подачей воды является обязательным и осуществляется по сигналу автоматической системы управления пожаротушением.

На **рис.3** показана система пожаротушения силовых трансформаторов в работе.

Контрольные панели (шкафы) пожарной сигнализации и автоматического управления – это сложнейшие системы на основе микропроцессоров и большого количества микросхем различного назначения, к которым подключены десятки кабелей. Они образуют для ЭМИ ЯВ разветвленную систему антенн с общей длиной в сотни метров, поглощающих энергию импульса с большой площади и доставляющую ее прямо к высокочувствительным электронным элементам.

На **рис.4,а** показана контрольная панель (шкаф) пожарной сигнализации с тремя блоками управления (1, 2, 3) и аккумуляторами (4, 5). На **рис.4,б** цифрой 6 обозначены внешние многожильные кабели, подключенные к электронной схеме шкафа. На **рис.4,с** показана микросхема «начинка» одного из трех блоков управления шкафа.



Рис.2

Силовые электронные устройства управления электродвигателями насосов централизованной системы пожаротушения показаны на **рис.5**.

На больших объектах такие системы строятся по сетевым технологиям, поэтому пожарные контрольные панели осна-



Рис.3

щаются внешними интерфейсами RS422 или RS485, а также способны взаимодействовать по сети Ethernet или с помощью модемной связи по коммутируемому телефонному каналу, что еще больше увеличивает уязвимость этих систем к ЭМИ ЯВ и затрудняет их защиту.

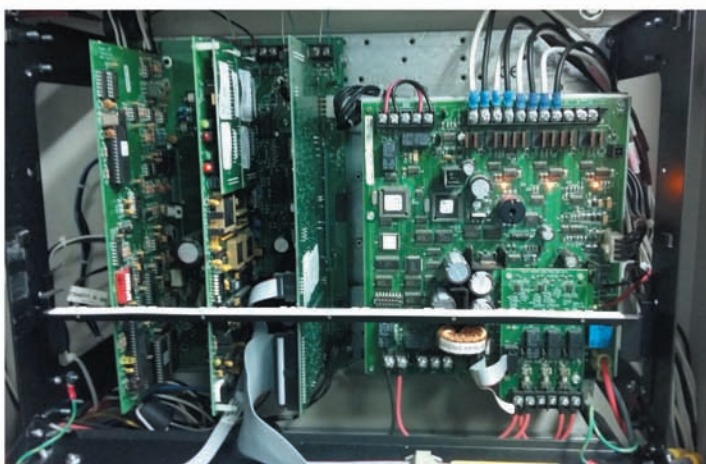
Централизованные системы управления автоматическим пожаротушением, кроме того, содержат и силовые электронные устройства, такие как системы плавного пуска (soft start) мощными электродвигателями насосов, подающих воду в гидравлическую систему пожаротушения (рис.5). Эти силовые электронные устройства включены в общую питающую электросеть электроэнергетического объекта, в которой импульсные перенапряжения при воздействии ЭМИ ЯВ могут достигать значений в десятки киловольт. Вместе с тем, проведенный автором статьи анализ стандартов и других нормативных документов [3 – 5 и др.], предписывающих определенные свойства, параметры, нормы испытаний и применение систем пожаротушения, показал, что воздействие ЭМИ ЯВ в них вообще не рассматривается и никак не учитывается. Поэтому требуется принятия специальных мер обеспечивающих повышение устойчивости этих систем к ЭМИ ЯВ.



а



b



с

Рис.4

Методы повышения устойчивости систем автоматического пожаротушения

Как же все эти сложнейшие системы можно защитить от ЭМИ ЯВ, и возможно ли вообще?

Ответ на это вопрос очень непрост. Причина заключается в том, что вмешательство во внутреннюю электронную схему систем пожарной сигнализации и автоматического управления пожаротушением запрещено даже с таким благим намерением, как их защита от ЭМИ ЯВ. Установка, каких бы то ни было, дополнительных фильтров в интерфейсах RS-422 или RS-48, в цепях Ethernet или модемной связи и является таким вмешательством.



Рис.5

Но, кое-что сделать все-таки можно. Например, можно с помощью дистанционной команды на небольшое время просто отключить электронную систему пожаротушения при получении оперативной информации об опасности вторжения на территорию носителя ядерного боезаряда. Использование ядерного оружия, даже если оно и направлено лишь на поражение инфраструктуры, а не населения, не может быть слишком спонтанным и непредсказуемым. Как правило, задолго до этого возникают многочисленные коллизии, свидетельствующие о крайнем обострении обстановки, при которой повышается готовность всех государственных структур к неблагоприятному развитию событий, включая опасность использования ЭМИ ЯВ. В такой ситуации нет ничего необычного в том, что при полете ракеты, потенциально способной нести ядерный заряд, должна поступить информация об опасности ЭМИ ЯВ за время, вполне достаточное для дистанционного отключения критически важных систем автоматического пожаротушения, расположенных на различных удаленных объектах энергосистемы. Обесточенные системы, как известно, намного меньше подвержены внутренним повреждениям электромагнитным импульсом, кроме того, даже будучи поврежденной в отключенном состоянии, такая система, из-за того что она отключена, не сможет неправильно воздействовать на другие системы.

Дистанционное отключение систем автоматического пожаротушения может быть практически осуществлено различными средствами, широко пред-

ставленными сегодня на рынке. Это могут быть относительно дорогие (200-300 USD) дистанционные сетевые силовые выключатели (remote power switch) в отдельном корпусе, управляемые по сети Ethernet. На рис.6 показаны дистанционные сетевые силовые выключатели.

Такие выключатели содержат сетевой интерфейс и выходные электромагнитные реле, срабатывающие по специальному коду, передаваемому по сети. Kontakтами этих реле могут отключаться или подключаться внешние устройства.

Значительно более дешевыми являются так называемые сетевые реле (network relays, Ethernet relay), стоимостью 20-30 USD, которые, по сути, выполняют те же функции, что и описанные выше устройства. Сетевые реле с различным количеством каналов и выходных электромагнитных реле показаны на рис.7.

В качестве устройств дистанционного отключения систем пожаротушения могут быть использованы также устройства, управляемые по сотовой телефонной сети (GSM remote controllers), стоимостью 100-150 USD.

Дистанционные выключатели, управляемые по сотовой телефонной сети (Global System of Mobile Communications - GSM) показаны на рис.8.

Использование таких устройств не связано с вмешательством во внутреннюю схему систем пожаротушения, поскольку они включаются лишь в разрыв цепи внешнего питания этих систем, однако имеет некоторые особенности применения.

Во-первых, в системах управления пожаротушением помимо внешнего питания от сети имеется дополнительный



Рис.6



Рис.7

резервный источник питания, выполненный, как правило, в виде аккумуляторных батарей (4 и 5 на [рис.4](#)), поэтому отключать нужно не один, а два источника питания.

Во-вторых, для того, чтобы систему управления пожаротушением можно было так же дистанционно вернуть в рабочее состояние после отбоя тревоги, отключать источники питания нужно в определенном порядке – сначала резерв-



Рис.8

ный аккумулятор, а потом внешнюю питающую сеть. Возврат в рабочее состояние – в обратном порядке. В связи с этим, дистанционный выключатель должен иметь как минимум два независимых канала с двумя независимыми выходными реле. Здесь важно отметить, что коды отключения и включения системы пожаротушения, а также порядок этих операций должен быть четко прописан в инструкции по действиям в чрезвычайной ситуации, и соответствующий персонал обязан их знать. А что касается дистанционного возврата системы, то он допустим лишь в случае, если воздействия ЭМИ ЯВ не произошло. Если же такое воздействие имело место, то система автоматического пожаротушения должна быть тщательно проверена перед возвратом в рабочее состояние.

Помимо таких реле в цепях питания, еще одним «допустимым вмешательством» должна быть установка специальных фильтров в цепи внешнего питания системы управления пожаротушением, а также во всех силовых цепях устройств управления (например, устройств управления электродвигателями насосов, [рис.5](#)), содержащих элементы, ограничивающие амплитуду напряжения и тока электромагнитного импульса. В качестве таких элементов для маломощных электронных систем управления удобно использовать варисторы и дроссели. Для защиты от перенапряжений однофазных цепей питания переменного тока предназначены стандартные блоки, выполненные в небольших корпусах, предназначенных для установки на DIN-рейке и содержащие два варистора и газовый разрядник, [рис.9,а](#). Основная масса однофазных защитных блоков выполнена именно по такой схеме, хорошо защищающей от разрядов молнии, но не от ЭМИ ЯВ по причине недостаточного быстродействия газового разрядника для этого импульса и резкого увеличения его напряжения пробоя при воздействии короткого импульса с большой крутизной переднего фронта, как у ЭМИ ЯВ.

На [рис.9](#) показаны разновидности защитных блоков ([рис.9, а, b, c](#)) и предлагаемое автором статьи включение защитных элементов ([рис.9,d](#)). VR1 – VR3 – металлооксидные варисторы (MOV); GDT – газовый разрядник; L1 – L2 – токоограничивающие дроссели.

Исправить положение могла бы замена газового разрядника варистором ([рис.9,b](#)), однако такие блоки для сетей 230/400 В переменного тока практически не выпускаются, а вместо них выпускаются сотни разновидностей защитных блоков, содержащие два варистора и перемычку вместо варистора VR3, [рис.9,с](#). Недостатком такой схемы является удвоенное напряжения срабатывания и удвоенное остаточное напряжение (clamping voltage) между фазой (L) и нейтралью (N), по сравнению с напряжением относительно земли. Но при ЭМИ ЯВ, в отличие от разряда молнии, земля не является областью нулевого потенциала, относительно которого к защищаемой цепи прикладывается импульс перенапряжения и к которому этот импульс должен быть отведен защитным устройством. Поэтому такая схема не подходит для защиты от ЭМИ ЯВ, при котором, с большой вероятностью, импульс высокого напряжения будет приложен между фазой и нейтралью. В то же время, на рынке имеются однополюсные защитные блоки с варистором, которые с успехом мож-

но использовать для защиты однофазной цепи переменного тока с номинальным напряжением 230 В, [рис.9,d](#). Для повышения эффективности подавления ЭМИ ЯВ, схема дополнена дросселями L1 – L2.

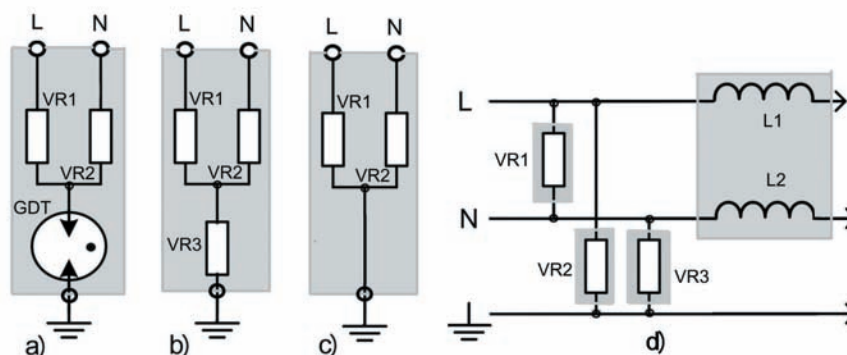


Рис.9

но использовать для защиты однофазной цепи переменного тока с номинальным напряжением 230 В, [рис.9,d](#). Для повышения эффективности подавления ЭМИ ЯВ, схема дополнена дросселями L1 – L2.

Для конкретного применения могут быть рекомендованы однополюсные защитные блоки типа DS71R-400 компании Citel и I²R SA277-50 компании Transtector, [рис.10,а](#), отличающиеся отличными характеристиками и наличием дополнительного встроенного элемента, отключающего варистор в случае его повреждения, визуальным индикатором повреждения и контактом для дистанционной сигнализации.

В качестве токоограничивающих дросселей L1 – L2 рекомендуется использовать блок дросселей типа DSH 2x16 компании Citel, содержащий два дросселя на ток 16 А каждый, расположенных в небольшом корпусе, предназначенном для монтажа на стандартной DIN-рейке, [рис.10,б](#).

Для силовых трехфазных цепей мощных устройств управления насосами и других мощных нагрузок, более подходит использование мощных блочных варисторов R1 – R6, например, типа В40К460 и мощных дросселей L1 – L4 фирмы CWS, **рис.11**. Блочные варисторы этого типа допускают протекание импульсных токов до 40 кА и предназначены для длительной

кабелей из этой системы, а также и на другом конце этих кабелей, непосредственно у электродвигателей.

Выводы

Для особо ответственных систем автоматического пожаротушения критических видов электрооборудования должны быть приняты специальные меры повышения их устойчивости к ЭМИ ЯВ. Эти меры должны быть основаны на невмешательстве во внутреннюю схему систем пожаротушения. В качестве такой меры может быть использовано дистанционное отключение питающего напряжения этих систем при опасности воздействия ЭМИ ЯВ с последующим дистанционным возвратом в рабочее состояние, а также установка фильтров ЭМИ ЯВ, описанных в данной статье, в цепях основного источника питания систем.

Литература:

1. Гуревич В. И. Защита оборудования подстанций от электромагнитного импульса - Инфра-Инженерия, Москва, 2015, 302 с.
2. Гуревич В. И. Уязвимости микропроцессорных реле защиты. Проблемы и решения - Инфра-Инженерия, Москва, 2014, 256 с.
3. BS EN 50130-4:2011 Alarm systems. Electromagnetic compatibility. Product family standard: Immunity requirements for components of fire, intruder, hold up, CCTV, access control and social alarm systems.
4. IEC 62599-2:2010 Alarm systems - Part 2: Electromagnetic compatibility - Immunity requirements for components of fire and security alarm systems.
5. NFPA 15, 2017 Standard for Water Spray Fixed Systems for Fire Protection.



Рис.10

работы под напряжением до 460 В переменного тока. Остаточное напряжение (clamping voltage) на таком варисторе после его срабатывания под действием импульса ЭМИ ЯВ не превышает 1240 В, что вполне допустимо для силового оборудования, которое, по требованиям обычных стандартов МЭК по электромагнитной совместимости обязано выдерживать импульсные перенапряжения не менее 2 – 4 кВ и имеет или встроенные элементы защиты от перенапряжений такого уровня, или соответствующие уровни изоляции. Небольшие дроссели (L1 – L4) с обмотками геликоидального типа и сердечниками из специального прессованного порошка, залитые эпоксидным компаундом, производятся американской компанией CWS на номинальные токи от 40 до 200 А.

На **рис.11** показана схема и элементы фильтра для цепей питания мощных систем управления автоматическим пожаротушением. R1-R6 – блочные варисторы; L1-L4 – специальные дроссели.

Аналогичные наборы варисторов должны быть включены не только на входе питающего трехфазного кабеля в систему управления автоматического пожаротушения, но и на всех выходах силовых

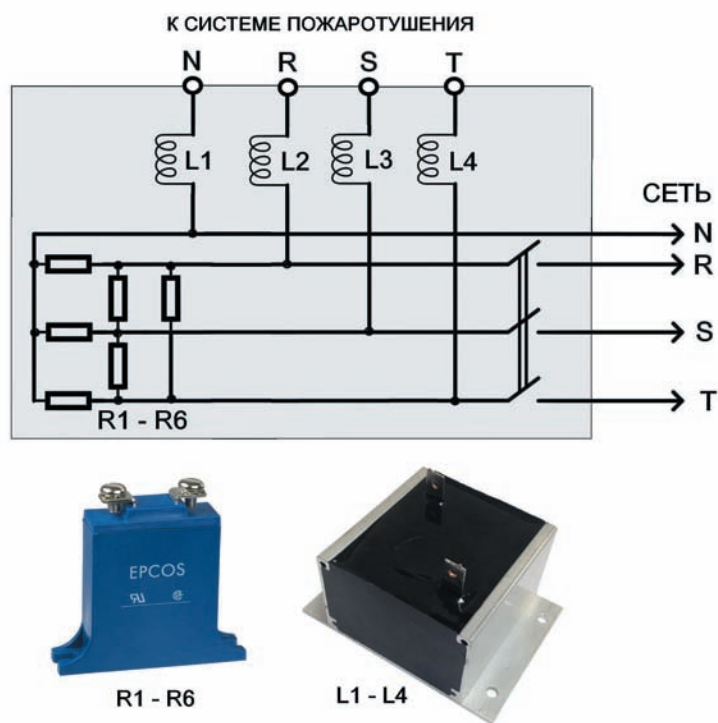


Рис.11