

АВАРИИ НА ОБЪЕКТАХ СВЯЗИ

Причина – опасные электромагнитные влияния

Часть 5*

Д.Терентьев
ic@commeng.ru

Инженеры и не инженеры видят окружающие нас вещи и явления по-разному – видимо, потому, что первые всегда имеют дело с реальными системами и устройствами при их реальной эксплуатации. Именно им приходится расхлебывать многочисленные проблемы, обусловленные не чисто техническими или чисто субъективными факторами, а их сложной смесью. Одну из самых известных проблем такого рода описал в 1949 году капитан ВВС США Эдвард Мерфи, в то время – инженер исследовательского проекта MX981, сформулировав "Закон Мерфи": "Если какая-нибудь неприятность может произойти, она случится". Заметим, сам Мерфи формулировал свой закон и ряд следствий из него совершенно серьезно. Многочисленные последователи развили законы Мерфи, многие из них собраны в книжке "Законы Мерфи" [52].

В полной мере "законы Мерфи" применимы и к различным элементам систем связи, в том числе – к системам их защиты. Ведь эти законы – отражение типичных человеческих ошибок при работе с техническими системами. Проанализируем наиболее типичные проявления этих законов в области устройств защиты, сосредоточив внимание на особенностях технических решений в этой сфере.

МОЖЕТ ЛИ ОДИН УДАР МОЛНИИ СТОИТЬ МИЛЛИАРД ДОЛЛАРОВ?

*Предоставленные самим себе, события
имеют тенденцию развиваться от плохого
к худшему.*

В конце 1990-х годов значительную часть мобильных телефонов производили две скандинавские компании – Nokia (27% мирового производства)

и Ericsson(12%). Обе фирмы являлись технологическими лидерами, конкурировали между собой и никто не собирался уступать. Но уже в конце 2000 года их рыночные доли составляли соответственно 30 и 9%. Ericsson сообщила об убытках подразделения по производству мобильных телефонов в размере 2,34 млрд. долл., в январе 2001 года объявила о своем намерении уйти с рынка мобильных телефонов. В апреле 2001 года было подписано соглашение с корпорацией Sony

*Продолжение. Начало см. Первая миля, 2011, №1, 2, 5 и 6.

о создании совместного предприятия. Что же оказало столь сильное влияние как на Nokia и Ericsson, так и на телекоммуникационный рынок в целом [27]?

Около 20 ч 17 марта 2000 года в здание полупроводникового завода компании Royal Philips Electronics (Philips N.V.), расположенное в Альбукерке (штат Нью-Мексико, США), ударила молния, после чего возник пожар [27, 51]. Сработала автоматическая система пожаротушения, огонь был потушен в течение 10 мин силами персонала. Прибывшим на место пожарным осталось только удостовериться, что все в порядке, и оформить документы. На первый взгляд, ничего страшного не произошло - повреждения были очень локальными, реально пострадали несколько кассет с полупроводниковыми пластинами (комплектующие для нескольких тысяч телефонов).

Но подлинная драма, отразившаяся на нескольких корпорациях и судьбах тысяч людей, была впереди. Дым, распространившийся по всему зданию, обувь пожарных, обошедших с инспекцией помещения, оставили грязные следы, нарушили чистоту гермозон - особо чистых помещений для производства полупроводниковых приборов. В результате оказались испорченными пластины, находившиеся на различных стадиях производства, которых хватило бы на выпуск микросхем для миллионов аппаратов. Тем не менее, руководство завода полагало, что восстановить чистые помещения и запустить производственный цикл удастся в течение недели. Об этом оно и решило сообщить своим потребителям, в первую очередь Nokia и Ericsson, что и было сделано в понедельник, 20 марта. Дальнейший ход событий был определен различной корпоративной культурой этих компаний и их реакцией на сообщение поставщика.

Nokia не очень встревожило сообщение о недельной задержке, которую можно было компенсировать запасом комплектации на складе. Однако ситуация немедленно была взята под особый контроль, и когда стало ясно, что запуск производства займет несколько недель, а восстановление графика поставок - несколько месяцев, план действий уже был готов. Nokia провела анализ возможностей производителей и разместила заказы на их заводах в различных регионах мира. Так как несколько позиций могла изготавливать только Philips, Nokia выдвинула жесткие требования и настояла на перераспределении и максимальном ис-

пользовании производственных возможностей поставщика. В результате ее конвейер не остановился и потребители могли получать телефоны самых последних модификаций.

Сотрудники Ericsson спокойно отреагировали на сообщение о недельной задержке и не сообщили об этом происшествии руководству, даже когда стало ясно, что поставка комплектующих задерживается существенно. Когда проблема стала очевидной, было уже поздно: резервные мощности не только Philips, но и других производителей были уже заняты заказами Nokia.

В результате пожара потери продаж полупроводниковых приборов Philips составили менее 1%, прямой ущерб заводу был покрыт страховкой. Значительно более сильный удар был нанесен по Nokia, сумевшей справиться с ситуацией и даже обратить ее в свою пользу. А Ericsson в итоге потеряла целое направление бизнеса.

Так что удар молнии может стоить существенно дороже миллиарда долларов, если к нему не относиться во всей серьезностью. Приведенный пример стал классикой в литературе по управлению предприятиями [27]. В области телекоммуникаций проблемы аварий могут быть - и в ряде случаев оказываются - не менее значительными. Кроме прямых потерь из-за выхода из строя оборудования и снижения трафика за время, прошедшее от начала аварии до устранения ее последствий, оператор может снизить свою долю на конкурентном рынке. Сегодня последствия крупных пожаров на узлах связи начала 2000-х годов, которые описаны в предыдущих частях статьи, были бы еще тяжелее - пострадавшие операторы неминуемо потеряли бы часть абонентов. Это осознают многие, однако технические решения, и поныне применяемые как в кроссовой защите на узлах связи, так и в самих средствах защиты, не вселяют уверенность в их надежности. Почему это происходит?

Может быть, дело в том, что ошибки при разработке и производстве устройств защиты средств связи кажутся менее опасными, чем при разработке аналогичных систем для электроустановок? Действительно, в области энергетики подобные ошибки выявляются заказчиками быстрее и обходятся производителям дороже. Вероятно, поэтому далеко не все, кто хотел бы заняться производством средств защиты для электроустановок, решаются на это, а те, кто решился, вынужденно тратят больше усилий на преодоление "законов Мерфи".

ТЕХНИЧЕСКОЕ МИФОТВОРЧЕСТВО

Технические параметры приборов, заявляемые фирмой-изготовителем, надо умножить на коэффициент 0,5.

Технические параметры устройств защиты определяет используемая в них элементная база – во многом, но не во всем. Об этом зачастую забывают многие производители, попросту переписывая параметры элементов защиты (разрядников, позисторов, полупроводниковых приборов) в технические описания своей продукции. Далее на эти технические описания ориентируются покупатели, иногда эти параметры даже записываются в тендерную документацию. Беда в том, что порой не только заказчик, но и сам производитель не понимает, что значит тот или иной параметр. В результате в документации приводятся такие характеристики устройства, которые иначе как плодом фантазии не назовешь.

Типичный случай – производитель на основании параметров используемого разрядника заявляет, что модуль кроссовой защиты рассчитан на максимальный импульс тока 10 кА 8/20 мкс (8 мкс – фронт импульса, 20 мкс – время спада до половины). Предположим, что производитель разрядника указал верные значения, и при таком импульсе сам разрядник не выйдет из строя. Но значит ли это, что именно от таких импульсов этот разрядник защитит аппаратуру? Допустим, что конструкция модуля, контакты планта, жилы кабеля выдержат такой импульс тока (что маловероятно). Однако к защищаемому оборудованию будет приложено напряжение, амплитуду которого можно оценить, умножив максимальное значение тока на сопротивление дуги газового разряда. Если принять это сопротивление равным даже 0,5 Ом (на самом деле может быть значительно больше), то 5 кВ для выхода из строя оборудования будет вполне достаточно.

На самом же деле амплитуда импульса тока, протекающего через разрядник, установленный в кроссе, вряд ли превысит 100–200, максимум 300 А при самых мощных наводках – если, конечно, не будет прямого удара молнии в кабель.

ПРИМЕР 9

Несколько лет назад мне позвонил инженер из дилерской фирмы, в обязанности которого входила техническая поддержка при продаже нашего оборудования. Его беспокоило, что устройства кроссовой защиты нашего производства якобы имели очень большие недостатки, которые подробно описывались в распространяемом в Интернете материале, озаглавленном

примерно так "О некоторых ошибках при производстве модулей грозозащиты". Наша "ошибка", с точки зрения этого материала, была действительно серьезной – в модуле кроссовой защиты на печатной плате входные цепи были выполнены в виде тонких дорожек проводников. Напомню, модуль включается в разрыв линии между входным кабелем и стационарным оборудованием. Упомянутые токопроводящие дорожки соединяют вход кросса и абонентский комплект, разрядник в самом модуле подключается параллельно этому оборудованию. Прочитав аргументы, которые произвели такое большое впечатление на очень грамотного и способного, но в то время еще недавно закончившего вуз специалиста:

- толщина токопроводящей дорожки явно недостаточна для пропускания больших токов, а именно для защиты от воздействия грозовых перенапряжений, при которых создаются импульсы в 5–30 кА;
- проведенные испытания показали, что при подаче переменного напряжения 220 В с током, не превышающим 4 А, токопроводящие медные дорожки перегорают;
- известно, что при подаче кратковременного импульсного перенапряжения токопроводящие дорожки могут выдержать ток, в пять раз превышающий постоянно действующий. Однако импульсный ток 20 А возникает только при слабых перенапряжениях, вызванных электрифицированным транспортом и промышленными установками. Поэтому защитить оборудование от импульсов тока, которые возникают при коммутациях в ЛЭП и тем более при грозовых разрядах, данное устройство не в состоянии.

Вывод: данный модуль кроссовой защиты не может выполнить свою главную функцию – защитить телекоммуникационное оборудование от больших токов и перенапряжений, поскольку перегорают дорожки и разрядник не успевает сработать.

Не останавливаясь на анализе несостоятельности подобных "аргументов", отмечу лишь, что в нашем модуле защиты дорожки сделаны тонкими специально, чтобы перегореть в случае мощных импульсных сверхтоков, попадания постороннего напряжения в линию или замыкания в защищаемом оборудовании. Причем мне известен только один случай перегорания дорожки в нашем модуле – и хорошо, что это случилось, иначе бы вступил в действие "закон Клипштейна в приложении к производству" [52]: "Прибор, защищаемый быстродействующим плавким

предохранителем, сумеет защитить этот предохранитель, перегорев первым".

А самое главное, приведенный в материале в качестве примера "правильный" модуль защиты имел толстые дорожки совсем по иной причине. В нем использовалось достаточно редкое техническое решение – термоконтакты на входе линии (это решение, рис.19в, мы рассмотрим ниже и по другому поводу). Очевидно, чтобы припаять к дорожке толстую пружину термоконтакта, она (дорожка на плате) должна быть максимально широкой и толстой – это вопрос технологии устройства, ток тут ни при чем.

СТАРЫЙ ДРУГ ЛУЧШЕ НОВЫХ ДВУХ

Ошибка выявится только после завершения окончательной проверки прибора.

Как известно, одной из причин аварии межпланетной станции "Фобос-Грунт" стала элементная база системы управления, не соответствующая требованиям к компонентам категории space. Контрафактная низкокачественная элементная база – серьезная проблема для производителей электроники. Наивно полагать, что с элементами защиты дело обстоит иначе. Например, малогабаритные газонаполненные разрядники – массово применяемые и относительно дорогие компоненты. Однако таких проблем с качеством нам не доставляла ни одна другая группа комплектации (не только средства защиты, но и разнообразные микросхемы, реле, разъемы, пассивные элементы и т.п.).

В конце 1990-х и начале 2000-х годов мы использовали отечественные разрядники, и серьезных претензий к их качеству у нас не было. Однако узкий ассортимент, неудобные условия поставки и абсолютное безразличие к нам как к покупателю заставило искать других поставщиков. В течение последних 10 лет мы покупаем разрядники, как и значительную часть другой элементной базы для защитных устройств, у известной компании, недавно вошедшей в состав крупнейшего мирового концерна, и проблем не испытываем. В то же время наша компания, как и любой производитель, стремится иметь несколько поставщиков. Однако два случая заставили нас относиться к их выбору с крайней осторожностью и принять поговорку "старый друг лучше новых двух" как руководство к действию.

ПРИМЕР 10

Российские представители зарубежной компании N в течение нескольких лет посылали нам на испытания разрядники, которые тут же те-

стировались – с неизменно отрицательным результатом. Однажды, когда у нашего поставщика не оказалось на складе разрядников нужного типа, мы все-таки решились взять 500 приборов этой компании. После входного неразрушающего контроля [53] отсеялось порядка 10% разрядников. Проверка разрядников в составе уже готовой продукции показала, что у части из них после первой проверки (при воздействии тока в несколько микроампер за время менее секунды!) изменились параметры, а у некоторых дуга в заявленном диапазоне перестала зажигаться совсем. Вся партия модулей не прошла наш ОТК, однако поставщик разрядники у нас обратно не взял под тем предлогом, что они были со следами пайки.

ПРИМЕР 11

Вряд ли мы когда-нибудь произведем больше устройств защиты для модемов и регенераторов, чем в 2007 году – ведь такого массового спроса на системы, работающие по медному кабелю, уже не будет. Участники "интернетизации" помнят, какие были проблемы со сроками поставки оборудования. Нужны были десятки тысяч разрядников на складе, потребовался второй поставщик.

Фирма, предложившая свою продукцию, не вызвала никаких сомнений, условия поставки выглядели привлекательно. Нашим разработчикам очень импонировало сочетание небольших размеров разрядников и высокой стойкости к воздействию помех. Некоторое сомнение вызывали заявленные параметры: ведь очевидно, что чем меньше площадь электрода, тем ниже допустимый ток, чем меньше физический объем, тем меньшая энергия в нем может быть рассеяна. Ответ о том, что применяются электроды, изготовленные по особой технологии, нас удовлетворил – тем более, что один из крупнейших мировых производителей сообщил о применении таких технологий (хотя столь впечатляющих результатов соотношения размеры/максимально допустимый импульсный ток этот производитель не достиг).

Входной контроль показал несоответствие напряжения пробоя у менее чем 0,5% приборов (что позволяло перенести выявление брака разрядников на финальную стадию проверки), и закупленные несколько десятков тысяч разрядников тут же начали использоваться в производстве. Однако несколько разрядников отдали на полноценное испытание, и результат ошеломил. Можно было ожидать, что максимально допустимый

ток будет вдвое ниже заявленного (что, в общем-то, было приемлемо), но разрядник "умирал" при импульсе тока с амплитудой, в 7-8 раз ниже указанной в спецификации. Пришлось останавливать производство, отзывать уже отгруженную продукцию и решать все проблемы со сроками, финансированием закупки новых комплектующих и разговорами с покупателями. Хотя разрядники все-таки можно было использовать для других применений, это не очень утешало – общие потери предприятия без всяких сомнений значительно превысили стоимость всей партии.

Отметим, что обычно производители, заботящиеся о качестве, обеспечивают реальные показатели надежности, энергопотребления, срока службы своих изделий выше, чем указанные в технической документации. В этом случае даже при небольших нарушениях производственного процесса параметры изделия не выйдут за допустимые пределы. Например, используемые нами разрядники при проверке выдерживают максимальный импульсный ток в 1,5-2 раза выше, чем заявленный.

НАДЕЖНОСТЬ СТОИТ ДЕНЕГ

В поиски повышения надежности будут вкладываться средства до тех пор, пока они не превысят величину убытков от неизбежных ошибок или пока кто-нибудь не потребует, чтобы была сделана какая-то полезная работа.

Качество и надежность работы изделий обеспечивают различные механизмы. В НПО "Инженеры электросвязи" разработан стандарт предприятия "Классификация изделий по группам ответственности" (см. таблицу), который позволяет более точно определить требования к изделиям уже на первом этапе разработки, начиная с технического задания. Стандарт помогает оптимизировать номенклатуру изделий, предложив потребителям устройства одинакового назначения, но разного класса ответственности, облегчить задачу проектировщикам и разработчикам систем и объектов по выбору оборудования [55].

Практически все выпускаемые нами устройства защиты относятся к группам 4 и 3.

Стандарт предприятия НПО "Инженеры электросвязи" "Классификация изделий по группам ответственности"	
Группа ответственности	Краткая характеристика группы
Группа 1 Наивысший уровень	Изделия для применения в некоторых инженерных системах и на объектах с повышенными требованиями надежности, работающих в особо сложных условиях, выход из строя которых может привести к прекращению выполнения системой своей функции, ее уничтожению или иным тяжким последствиям
Группа 2 ВЫСОКИЙ УРОВЕНЬ	Изделия для применения в некоторых инженерных системах и на объектах с повышенными требованиями надежности, в том числе: <ul style="list-style-type: none"> • на потенциально опасных объектах; • в системах оборонного назначения; • на особо важных объектах жизнеобеспечения и государственного управления. Группа включает изделия, выход из строя которых приводит к нарушению функционирования объекта, техногенной катастрофе, опасности для жизни и здоровья людей
Группа 3 Повышенный уровень	Возможные последствия при выходе изделий из строя: <ul style="list-style-type: none"> • повреждение инженерных систем; • перерывы в связи и нарушение технологических процессов; • приостановка работы народнохозяйственных и социальных объектов. Выход из строя изделий этой группы влечет за собой значительный экономический ущерб, незначительную опасность для жизни и здоровья людей и экологической обстановки
Группа 4 Средний уровень	Возможные последствия при выходе изделий из строя: <ul style="list-style-type: none"> • нарушение и снижение качества связи; • нарушение технологических процессов; • повреждение оборудования или технической системы, в составе которой работает изделие. Выход из строя изделий этой группы приводит к незначительному экономическому ущербу и не представляет опасности для жизни и здоровья людей и экологической обстановки
Группа 5 Обычный уровень	Возможные последствия при выходе изделий из строя: <ul style="list-style-type: none"> • нарушения и снижение качества связи; • сбои в работе технической системы, в составе которой работает изделие. Выход из строя изделий этой группы приводит к минимальному экономическому ущербу и не представляет опасности для жизни и здоровья людей и экологической обстановки

Как показывает практика, не все заказчики адекватно реагируют на наличие такого стандарта. Некоторых он может даже испугать. Зачем покупать устройство защиты с какой-то непонятной 4-й группой ответственности, в описании которой заложены ограничения по надежности и применению? Ведь за ту же цену можно купить что-то подобное, и продавец уверит в 200%-ной супернадженности. Не все, как ни странно, понимают, что надежность всегда меньше 100%, она составляет 99,999.%, и за каждую девятку после запятой приходится очень дорого платить. Весь вопрос – насколько соразмерны риски аварии и стоимость средств защиты.

ПРИМЕР 12

Через несколько месяцев после событий на Саяно-Шушенской ГЭС к нам поступил запрос на устройства защиты от импульсных помех от предприятия, обеспечивающего связь на объектах энергетики. Как выяснилось, этот запрос был связан с аварией на узле связи Братской ГЭС, который был одной из составляющих крупнейшей промышленной катастрофы (см. часть 2 статьи).

Хотя из акта технического расследования [17] не было понятно, почему загорелся узел связи Братской ГЭС, некоторые выводы сделать я мог. С большой степенью вероятности можно предположить, что причиной возгорания оборудования стал сверхток в кабелях связи. Высокую опасность для систем связи на электростанциях представляют не только мощные коммутационные помехи, но и множество силовых кабелей, которые прокладываются в непосредственной близости от слаботочных.

Учитывая характер ожидаемых помех, условия эксплуатации и потенциальную опасность аварии, заказчику было настоятельно рекомендовано приобрести устройства защиты от сверхтоков и уровнем ответственности

группы 3. Однако рекомендация эта затерялась где-то между техническими службами и снабженцами, в итоге заказ был повторен. В результате были приобретены устройства, которые не могли выполнить задачи, для которых они покупались.

КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ

Если какая-нибудь неприятность может случиться, она случается.

По внешнему виду далеко не всегда можно определить качество устройства. Совсем не обязательно, что из двух образцов следует выбрать более красивый: возможно, пластик его корпуса горит как свечка или же имеет низкую прочность. Но иногда достаточно одного взгляда, чтобы составить однозначное мнение.

ПРИМЕР 13

При общении с коллегами в различных компаниях электросвязи несколько раз повторялась одинаковая ситуация – из коробки доставали модуль кроссовой защиты и спрашивали: "Что ты можешь об этом сказать"? Видимо, что-то в этом устройстве вызывало сомнение. Конструкция модуля была такой же, как у штекеров ComProtect фирмы ADC-KRONE. Качество пластмассы и печатной платы было заметно хуже, чем у оригинала, но дело было не в этом. Проблема состояла в том, что элементы защиты в ComProtect установлены по технологии поверхностного монтажа. Токоведущие части платы, доступные для прикосновения, закрыты маской и таким образом изолированы (рис.15).

В демонстрируемых модулях кроссовой защиты элементы были установлены в отверстия, причем их выводы торчали из платы наружу. Чтобы вытащить модуль, установленный в ряду других, его необходимо зажать пальцами (рис.16) (хотя инструмент для вынимания модулей защиты существует, но я никогда не видел, чтобы им пользовались). При выводном монтаже элементов в таком модуле неизбежен электрический контакт кожи и выводов элементов, соединенных как с линией, так и с оборудованием. Если вынимать модуль в момент посылки вызова, можно почувствовать неприятные ощущения, что заставит отдернуть руку.

Но не это самое неприятное. Устанавливая токовую защиту, мы предполагаем, что возможно попадание в линию связи постороннего напряжения – как правило, при контакте с кабелями низковольтных установок электро-

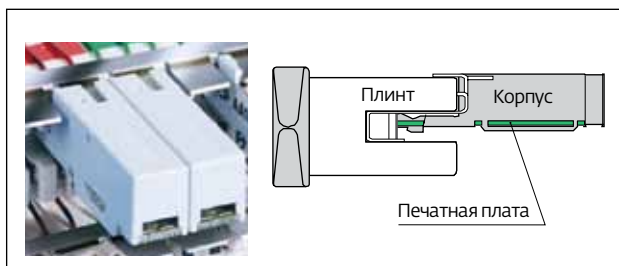


Рис.15. В модуле ComProtect токоведущие части изолированы от прикосновения

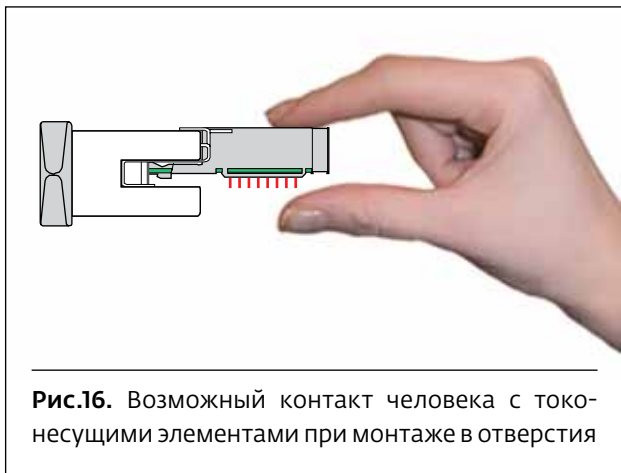


Рис.16. Возможный контакт человека с токонесущими элементами при монтаже в отверстия

питания (многочисленные случаи описаны в предыдущих частях статьи). Что произойдет, если на одном или обоих проводах линии связи окажется высокое напряжение силовой сети ("фаза"), при этом человек коснется одной рукой выводов элементов (как показано на рис.16), а другой – заземленных металлоконструкций кросса? Как применение таких устройств защиты согласуется с правилами техники безопасности?

Природа ошибок в схемотехнических решениях

Система обеспечения надежности выведет из строя другие системы.

Лет 15 назад в Санкт-Петербурге проводил семинар по защите специалист из США – он рассказывал о продукции фирмы, которую представлял. Мой вопрос о том, почему в их абонентском защитном устройстве для телефонных линий нет токовой защиты, вызвал удивление. По его словам, попадание постороннего напряжения в линию связи – событие крайне маловероятное, хотя в то время в США в районах малоэтажной застройки было много не только воздушных ЛЭП, но и воздушных линий связи. Видимо, их качество было таково, что исключало попадание в линии связи посторонних напряжений. К тому же в США основное напряжение сети электропитания – 120 В (для запитки мощных потребителей используются две цепи в противофазе). Поэтому там вероятность тяжелых последствий в случае контакта с линиями связи ниже. Кроме того, при таком контакте не происходит пробоя разрядника со статическим напряжением 230 В,



Рис.17. Кросс после пожара. Фотография предоставлена блоггером dkphoto <http://dkphoto.livejournal.com/>

так как амплитудное напряжение в сети составляет порядка 170 В. Мы живем и работаем в других условиях, поэтому многим приходилось видеть почерневшие и обугленные кассеты с разрядниками, а некоторым – и выгоревшие кроссы (рис. 17).

О потенциальной опасности применения схем защиты АТС с замыканием сверхтоков на защитное заземление достаточно подробно рассказано в отчете [33] и статьях [56, 57]. Посмотрим на проблему возгорания АТС разных типов (которая уже затронута в частях 3 и 4) под другим углом: почему в течение многих лет применяется опасное техническое решение.

В начале 1990-х в Россию в составе кроссового оборудования стали поступать магазины защиты с разрядниками со статическим напряжением пробоя 230–250 В. Поставки этих решений не прекратились и по результатам работы, проведенной ЛОНИИС по заказу Министерства связи в 1991–1992 годах. Неприятность подстерегала в тех случаях, когда амплитудное напряжение вызывного сигнала, наложенное на постоянное напряжение, подаваемое в линию, превышало напряжение пробоя – происходило ложное срабатывание разрядника. С учетом разброса параметров разрядников для этого было достаточно вызывного сигнала порядка 95–100 В (действующее значение) и напряжения питания АТС 60 В.

Кроме того, поставщики должны были объяснять покупателям, почему поставляются

разрядники с номиналом 230 и 250 В. И ответ был найден – при напряжении питания АТС 48 В надо использовать разрядники на 230 В, при напряжении 60 В – разрядники с напряжением пробоя 250 В. До сих пор такие рекомендации можно найти на сайтах поставщиков "магазинов грозозащиты". На самом же деле значения 230 и 250 В указывались производителями разрядников совсем по иной причине. В силу специфики производственного процесса всегда присутствовал технологический разброс параметров разрядников от партии к партии и даже внутри нее. Поэтому напряжение пробоя, которым маркировался разрядник, определялось после его изготовления. Сейчас ситуация иная, но 15 лет назад было именно так.

С точки же зрения техники защиты от импульсных помех, никакой существенной разницы между разрядниками на 230 и 250 В нет. Сравним осциллограммы срабатывания разрядников со статическим напряжением пробоя 230 и 400 В (рис.18). Амплитуда импульса помехи составляет 1,5 кВ, передний фронт – 10 мкс, длительность импульса – 700 мкс. Разрядник с номиналом 230 В (см. рис.18а) пробивается на меньшем напряжении и примерно на 0,2 мкс раньше, чем разрядник на 400 В (см. рис.18б). После пробоя остаточное напряжение на разряднике (в данном случае) составляет порядка 20–30 В – эта величина зависит от мощности помехи, т.е. от тока, протекающего через разрядник. Энергия помехи, поступившей на входные цепи защищаемого оборудования, пропорциональна площади под кривой напряжения импульса на разряднике (плюс площади под кривой самого импульса помехи до срабатывания разрядника). Легко заметить, что эта энергия составляет лишь малую часть от энергии

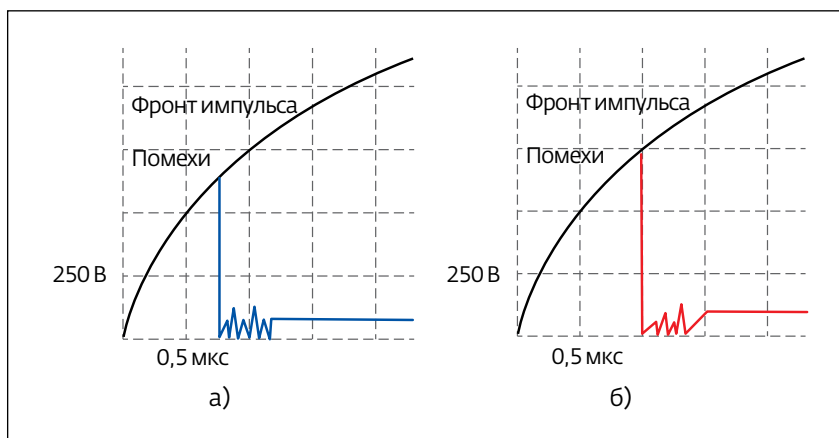


Рис.18. Осциллограммы напряжения на разрядниках со статическим напряжением пробоя 230 В (а) и 400 В (б) при воздействии импульса 10/700 мкс

импульса – на графике виден только его передний фронт. Поэтому во многих случаях разница между напряжением пробоя 230 и 400 В не принципиальна. А разница между напряжением пробоя 230 и 250 В с точки зрения энергии помехи, воздействующей на защищаемое оборудование, не принципиальна практически всегда.

Тем не менее, разрядники с номиналом 230–250 В настолько прочно вошли на отечественных сетях связи в схемы устройств кроссовой защиты, что можно проследить их эволюционную последовательность (рис.19). Причем если в природе крупные катастрофы приводили к вымиранию целых видов животных, в телекоммуникационной технике то ли катастрофы были не слишком сильными, то ли плохо работают механизмы естественного отбора. Так, описанные ниже технические решения (кроме варианта на рис.19а, уже практически не встречающегося) занимают гораздо большую экологическую нишу, чем это может быть оправданно. Например, за пару часов до написания этих строк пришел запрос на несколько тысяч портов защиты по схеме на рис.19б.

Эволюция плохих решений

*Всякое решение
плодит новые проблемы.*

Этап 1 (рис.19а). В 10-парные кассеты установлены разрядники со статическим напряжением пробоя 230–250 В. Вариант был вполне приемлем для США или Японии, где действующее напряжение в сети составляет 120 и 100 В, соответственно. В меньшей степени он подходил для Западной Европы, где напряжение электросети составляет 230 В, но распределительные низковольтные сети уже давно строятся по системе TN-S и находятся в нормальном состоянии. Другое дело – страны бывшего СССР, где в свое время сэкономили, объединив возвратный и защитный проводники, не говоря о том,

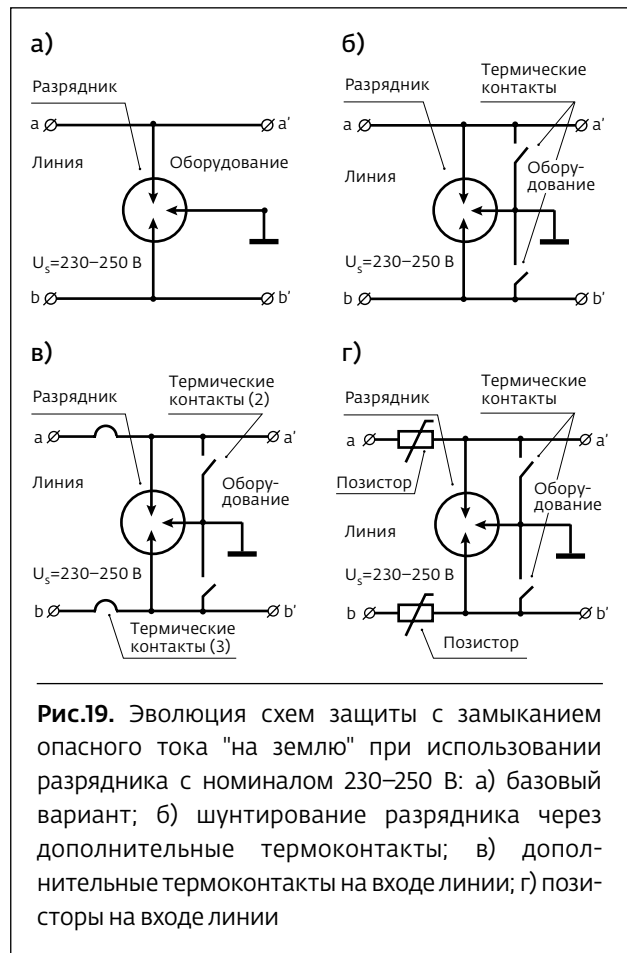


Рис.19. Эволюция схем защиты с замыканием опасного тока "на землю" при использовании разрядника с номиналом 230–250 В: а) базовый вариант; б) шунтирование разрядника через дополнительные термодатчики; в) дополнительные термодатчики на входе линии; г) позисторы на входе линии

что состояние электроустановок многих зданий крайне неудовлетворительно. Сейчас положение улучшается, но в 1990-х годах попадание постороннего напряжения в линию связи наблюдалось нередко. В этом случае разрядник пробивался амплитудным напряжением порядка 300 В и если не разлетался, то нагревался докрасна. Дальше все зависело от множества факторов: в сколько жил кабеля попало постороннее напряжение и каким образом; продолжительность воздействия; состав

пластика, из которой сделана кассета защиты. Результат может быть самый разнообразный: изменившийся цвет и параметры разрядник, обугленная кассета или возгорание на кроссе – если тепла выделилось достаточно, чтобы поджечь труднорючий пластик. Операторам такие последствия очень не понравились, и производители предложили другой вариант.

Этап 2 (рис.19б). Чтобы разрядники не нагревались при попадании в линию постороннего переменного напряжения 220 В, надо поднять статическое напряжение пробоя до 350–400 В (с учетом возможности повышения напряжения в сети). Есть и другой путь – как только разрядник начнет нагреваться, подключить провода абонентской линии к заземляющему устройству. Реализовано это с помощью контактов в виде плоских пружин, движение которых ограничено упором, деформируемым при нагреве (легкоплавкий припой, пластик).

Механические контакты в устройствах защиты, которые переключаются при нагреве – это далеко не лучшее решение из-за ненадежности в эксплуатации и применяемых производственных технологий. Подробнее обсудим эту проблему позднее, здесь же ограничимся замечанием, что термоконтакты увеличивают стоимость разрядника и не всегда срабатывают как нужно (например, припой может без нагрева деформироваться под воздействием пружины – тогда обеспечено ложное срабатывание защиты и замыкание линии "на землю").

Итак, что будет, если постороннее напряжение попадет в абонентскую линию – взвесим плюсы и минусы схемы на рис. 19б. Аргументы за:

- после срабатывания термоконтактов опасный ток замкнется "на землю" и постороннее напряжение на входные цепи защищаемого оборудования поступать не будет;
- обеспечение электробезопасности за счет того, что провод с опасным напряжением заземляется (аргумент выглядит несколько сомнительным).

Аргументы против:

- устройство защиты необходимо после срабатывания термоконтактов заменять;
- при замыкании "на землю" в проводах потечет большой ток, который может привести к подгоранию контактов (особенно страдали от этого скрутки), оплавлению изоляции жил кабеля или кроссировки – т.е. обрыв или короткое замыкание может возникнуть в любом месте;
- термоконтакты увеличивают стоимость устройств защиты и делают их менее надежными.

Абсолютно уверен, что аргументы против такого решения многократно перевешивают аргументы за него.

Тупиковая ветвь (рис. 19в). Несколько модулей защиты, выполненные по этой схеме, мы испытали лет 10 назад, результат не впечатлил. Во всяком случае, для кроссовой защиты это тупиковая ветвь. В отличие от схемы на рис.19б, в устройстве на входе линии добавлены термические контакты (3). После попадания постороннего напряжения 220 В разрядник пробивается, под воздействием нагрева разрядника срабатывают термоконтакты (2) и замыкают провода линии связи (а, б) на контакт защитного заземления. Резко увеличившийся ток, в свою очередь, приводит к нагреву припоя и размыканию контактов (3). Отметим, что термические контакты – это тоже плоские пружины, один конец которых запаян в отверстие платы обычным припоем, потом пружина наклоняется и другой конец припаяется к дорожке платы легкоплавким припоем.

Стоимость такого устройства, в силу его очевидной нетехнологичности, будет достаточно велика. Поэтому в России такие устройства появились чуть ли не в единичных экземплярах.

Этап 3 (рис.19г). Гораздо проще вместо плоской пружины запаять позистор, который к тому же имеет более стабильные и предсказуемые характеристики. Если сравнивать это решение со схемой на рис. 19б, здесь на один недостаток меньше: после срабатывания позистора ток в проводе линии будет сразу ограничен до уровня в несколько миллиампер.

Вместо этого появляется другая неприятность: после срабатывания разрядника протекающий через позистор импульс тока физически его разрушает. Для этого достаточно относительно небольшой энергии импульса, такие помехи не очень часто, но встречаются. В результате устройство защиты требует замены не только после попадания постороннего напряжения, но, возможно, и после грозы. На эту возможность указывается в работе [57], но авторы справедливо считают ее маловероятной, а применение такой схемы допустимым. Я с этим согласен, но только в одном случае: если устройства защиты с разрядниками 230–250 В уже куплены и их жалко выбросить.

Есть дополнительный аргумент против применения схем с замыканием опасного тока от электроустановок на землю для защиты оборудования проводной связи. Одна из задач при построении системы электропитания по системе

TN-S (с отдельным защитным проводником PE и обратным проводником N) – обеспечение электромагнитной совместимости. Используя описанные выше схемы, мы подключаем фазный провод удаленной электроустановки к заземляющему устройству объекта связи. Очевидно, что такой подход сулит неприятности, подробнее мы их обсудим в одной из последующих публикаций.

Поэтому приобретение устройств защиты любого из описанных вариантов – это ошибка как для новых объектов, так и для находящихся в эксплуатации. Не обязательно она приведет к аварии, но такая возможность есть. Да и зачем это делать, если уже давно существуют надежные и экономичные схемы защиты, которые за последние пять лет, благодаря совершенствованию элементной базы, стали еще эффективнее?! Так, качественный разрядник с напряжением пробоя 400 В при обычных для телефонной сети помехах обеспечит достаточный уровень защиты для современного коммутационного оборудования. Полимерные позисторы с током срабатывания порядка 100 мА (ток, вызывающий повреждение, обычно выше) и допустимым для применения на цифровых линиях связи затуханием появились на рынке уже несколько лет назад. Это не значит, что производители (в том числе и наша фирма) зря выпускают более сложные и дорогие устройства защиты – их применение вполне оправдано в условиях высокой интенсивности помех, повышенных требований к надежности или при наличии излишков финансирования. Скорее всего, в наиболее массовом секторе устройств защиты оборудования проводной связи в ближайшие годы

разрядники будут частично вытеснены полупроводниковыми элементами. Однако это обусловлено чисто экономическими факторами, а вовсе не тем, что разрядники срабатывают медленнее.

Закончу эту часть статьи (и начну следующую) постулатом Хорнера: "Опыт растет прямо пропорционально выведенному из строя оборудованию".

ЛИТЕРАТУРА

51. **Семеркин А.** Петля Хеллстрема. – Компания, 2005, № 13 (359) <http://ko.ru/articles/11602>.
52. **Блох А.** Законы Мерфи. – ЭКО, 1983, №1-3.
53. **Моисеева В.** Применение приборов "Искра" в отделе технического контроля. – Производство электроники, 2006, №4, www.commeng.ru.
54. **Мидлер П.** Плохо сделано в Китае. – СПб.: БХВ-Петербург, 2012.
55. **Пашкевич А.** Уровень опасности высокий – требования ужесточить. – Энергонадзор, 2009, №6(9), www.commeng.ru.
56. **Афанасьев А., Коншин А., Прудинский В.** Применение устройств защиты оборудования и линейных кабелей от перенапряжений и избыточных токов. – Мир связи, 2003, №5.
57. **Афанасьев А., Коншин А., Прудинский В.** Общие рекомендации по выбору устройств защиты оборудования и линейных кабелей от перенапряжений и избыточных токов для различных условий эксплуатации. – Мир связи, 2003, №6.
58. Анализ применения схем защиты с разрядниками и способы регистрации опасных токов в устройствах кроссовой защиты. – www.commeng.ru/files/analiz.pdf