

АВАРИИ НА ОБЪЕКТАХ СВЯЗИ

Причина – опасные электромагнитные влияния

Часть 3

Д.Терентьев
ic@commeng.ru

В предыдущих частях статьи* мы рассмотрели наиболее известные аварии последнего десятилетия, которые тем или иным образом связаны с телекоммуникациями. В части 3 предложена наглядная модель возникновения аварий и проанализирована на ряде примеров. Рассмотрено заземляющее устройство, как причина появления перенапряжений. Кроме того, продолжен разговор о системах коммутации – на этот раз квазиэлектронных и электронных АТС.

ПИРАМИДА АВАРИЙ

От устойчивости объекта связи к опасным электромагнитным влияниям непосредственно зависит его надежность – свойство сохранять в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и в требуемых условиях применения. Количественно надежность оборудования – это величина, обратная интенсивности отказов на заданном интервале времени [24].

Так же, как и для расчета надежности, для оценки устойчивости к опасным электромагнитным влияниям применяются статистические методы, например, описанные в рекомендации ИТУ-Т К.39 [25]. Все инструкции по молниезащите содержат методики расчета вероят-

ности удара молнии и других параметров, например, вероятного числа повреждений оптических кабелей [26]. Накоплен большой объем инструкций, методик, статистических данных, создан развитой математический аппарат, которые могут быть применены для расчета вероятности аварий на объектах связи. Тем не менее, мне не известны случаи, когда подобные расчеты делались в комплексе для всех систем объектов связи, а тем более для сетей в целом.

Предлагаю использовать для понимания проблемы электромагнитной безопасности простую и наглядную модель "пирамида аварий" (рис.6) [27]. В соответствии с моделью, множество опасных условий и ненадежных процессов порождает сотни небольших аварий и ситуаций, чреватых сбоями. Если на них не обращать внимания, результатом могут стать десятки случаев имущественного ущерба и травматизма персонала. Следующая ступень пирамиды – серьезные аварии, несчастные слу-

* Часть 1 и 2 см. Первая миля, 2011, №1 и 2, а также на сайте www.commeng.ru в разделе "Публикации".

чаи. Если в масштабах крупного предприятия, отрасли ничего не предпринимается, то рано или поздно произойдет крупная авария с тяжелыми последствиями, а если рассматриваются промышленные, энергетические или транспортные объекты с повышенным уровнем опасности, то и катастрофа.

Для снижения вероятности аварий и предотвращения катастроф нужно уменьшать площадь пирамиды, что можно сделать двумя путями:

- сокращением числа опасных технических решений, процессов и оборудования на уровне 2 (будем считать, что на внешние источники перенапряжений влиять мы не можем);
- уменьшением угла при основании пирамиды: предпринимаются дополнительные меры, чтобы не допустить развития аварии. Например, эту функцию на некоторых опасных производственных объектах выполняют пожарные или горноспасательные части.

Рассмотрим пирамиду аварий применительно к теме аварий на объектах связи. Первопричиной аварий (первый уровень) служат опасные электромагнитные влияния природного и промышленного характера (гроза, помехи от ЛЭП, низкое качество электроэнергии). Применение ошибочных технических решений, недостаточно устойчивого к помехам оборудования, нарушение технологической дисциплины приводят к сбоям и мелким авариям. Кроме того, второй уровень пирамиды может сам стать источником опасных или меша-

ющих влияний. Например, источником помех может стать собственная электроустановка объекта.

Множество незначительных событий предвещает более крупные неприятности. Например, многократное повторение незначительных повреждений кабеля стало предвестником крупного пожара на АТС, который произошел, когда определенным образом совпали ряд факторов (см. пример 2, часть 2). Каждая ступень пирамиды служит основанием для следующего уровня, и на самой ее вершине – крупная авария или катастрофа. Применительно к телекоммуникациям крупная авария – происшествие на Замоскворецком телефонном узле 14 февраля 2003 года, а авария на грани катастрофы – это пожар на Останкинской телебашне 27 августа 2000 года (оба случая описаны в части 1).

К сожалению, если систематизированные данные о всех уровнях пирамиды аварийности у крупных отечественных операторов связи и имеются (в чем я сомневаюсь), то они в любом случае недоступны. Однако технические системы подчиняются общим закономерностям и поэтому можно обратиться к опыту других отраслей. Так как попытки найти какую-либо информацию по России оказались безрезультатными, будем использовать данные по промышленности США в целом.

Так, в США на каждые 300 аварий без травм приходится приблизительно 30 аварий, сопровождающихся незначительными травмами, и одна крупная авария, влекущая тяжелые травмы или смертельный исход. По итогам анализа 1,7 млн. аварий и несчастных случаев, сведения о которых были предоставлены 297 организациями, на каждые 600 аварий без ущерба или травм приходится около 30 аварий, сопровождающихся имущественным ущербом, 10 аварий с незначительными травмами и одно увечье, приводящее к потере работоспособности [27]. Наблюдается устойчивая закономерность – множество мелких несчастных случаев предвещает более крупные, что позволяет ориентировочно оценить вероятность крупных аварий.

ЗАЗЕМЛЯЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО КАК ПУТЬ ДЛЯ ОПАСНЫХ ВЛИЯНИЙ

Основание пирамиды аварий может быть сложено из множества "кирпичиков", но зачастую бывает и так, что фундаментом ее служит крупная ошибка, заложенная при проектировании технической системы, и без ее исправления крупные и мелкие неприятности будут периодически повторяться. Это правило действует для отдельно взятого объекта, так и для технологических решений, тиражируемых в серийном оборудовании. Показателен пример потенциальной аварийности, заложенной на этапе разработки оборудования АТСКЭ "Квант" и ЦАТС МТ 20/25. К ним мы вернемся чуть позже, а пока рассмотрим три случая из моей практики, когда причиной повреждений и аварий стало... заземляющее устройство.

Во многих источниках, рекламирующих "грозозащиту", популярно объясняется, что: 1. Без хорошего заземления защита от перенапряжений невозможна (на самом деле, нередко приходится обеспечивать защиту не просто при "плохом" заземлении, но и при полном его отсутствии). 2. Помехи "сливаются" на "землю".

В целом, это почти соответствует истине, хотя очень важно понять, что же такое "земля" и "хорошее" зазем-

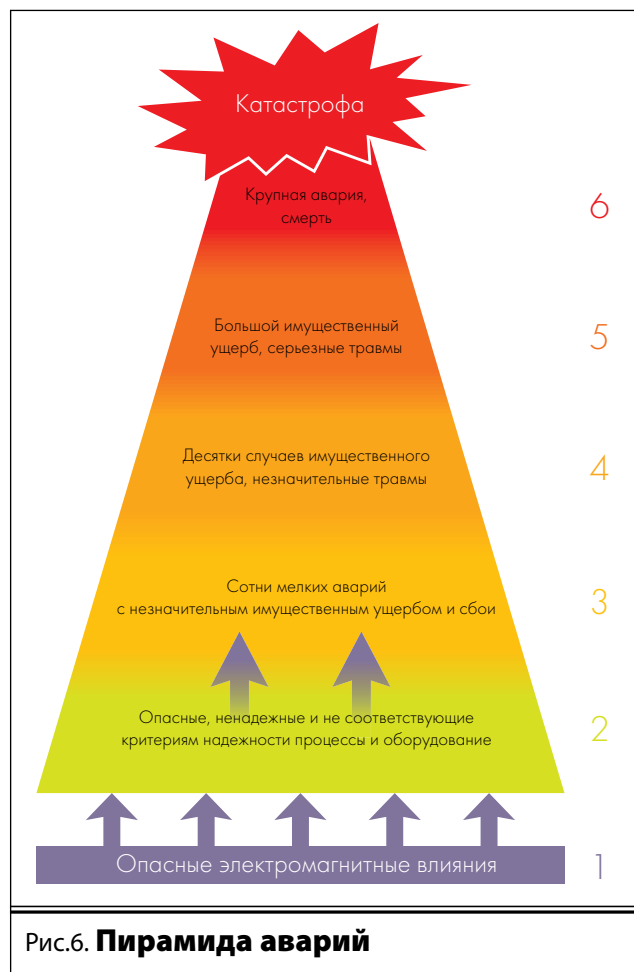


Рис.6. Пирамида аварий

ление. Сегодня такое понимание у многих специалистов присутствует, а вот лет 10–15 назад, когда внедрение современного оборудования резко повысило требования к ЭМС, "земля" стала terra incognita (земля неизведанная, лат.) до тех пор, пока не накопились и не стали доступными информация и опыт. Статьи [28–30] написаны уже давно, но и сегодня могут быть полезны, так как в них проблемы заземления и уравнивания потенциалов рассматриваются с точки зрения инженера-связиста.

ПРИМЕР 3

Электрифицированная железная дорога – мощный источник помех, особенно если она работает на переменном токе [22]. И если операторы связи прокладывают или подвешивают свои кабели рядом с ней лишь по необходимости, то связистам-железнодорожникам и специалистам службы СЦБ (сигнализация, централизация и блокировка) приходится обеспечивать работу систем связи и автоматики на объектах, которые сами являются источником опасных воздействий (вдобавок к молниям, которые часто ударяют в контактные опоры и провода).

В середине 1990-х годов я принимал участие в строительстве крупной железнодорожной станции – наша фирма занималась монтажом и наладкой систем технологической связи, позднее нам передали монтаж линейно-аппаратных залов волоконно-оптической связи. Профильный железнодорожный институт (Гипротрансигнализация) к проектированию привлечен не был, раздел проекта "связь" напоминал многократно переписанный студентами-двоечниками курсовик, изначальный вариант которого был сдан много лет назад. Длины многочисленных кабелей были указаны с точностью до полуметра, приведены их марки, но многие квадратики, обозначающие оборудование, идентификации не поддавались, причем часть оборудования к тому времени просто перестала выпускаться.

Сегодня кажется невероятным, но тогда практически за месяц удалось совместными усилиями найти пра-

вильные решения, выбрать оборудование, договориться с поставщиками. В итоге связь заработала почти вовремя, даже системы уплотнения, которые мы не успели заменить (правда, пришлось собирать одну рабочую стойку из двух-трех, полученных с завода и хранения).

Приближался срок сдачи объекта, но к заземляющим устройствам даже не приступали. Оказывается, их не было не только в проекте, но и в смете на строительство. Недели за две до приезда приемочной комиссии работу по заземлению все-таки начали. С одной стороны здания станции был перрон и железнодорожные пути, с другой, в нескольких десятках метров, – заболоченный лес. Казалось бы, именно с противоположной стороны – подалее от железнодорожных путей – и нужно монтировать заземляющие устройства. Но позади станции были разбиты альпийские горки, посажены цветы и проложены дорожки. Вероятно, кто-то распорядился не портить всю эту красоту, иного объяснения тому, что произошло, я не вижу. Буквально в трех метрах от насыпи были забиты швеллеры, к ним приварили широкую толстую железную полосу, которую завели в здание и подключили к главной заземляющей шине. Все попытки объяснить порочность и опасность такого решения привели лишь к тому, что когда на объект приехала комиссия, мне настоятельно рекомендовали находиться в выделенном для нас вагоне.

Объект был принят. Но в том же году оператор, оптический кабель которого был подвешен на опорах контактной сети, обратился к нам с проблемой: периодически выходили из строя платы выделения каналов из магистральной линии. С учетом того, что платы были очень дорогими, арендаторов каналов было довольно много, а для замены платы надо было потратить целый рабочий день, для оператора это стало неприятной неожиданностью. Выяснилось, что выход из строя плат происходил в момент переключения тяговых подстанций, и проблему решили установкой защитных устройств.

Все эти неприятности были лишь предвестниками серьезной аварии. И она произошла. Высокое напряже-

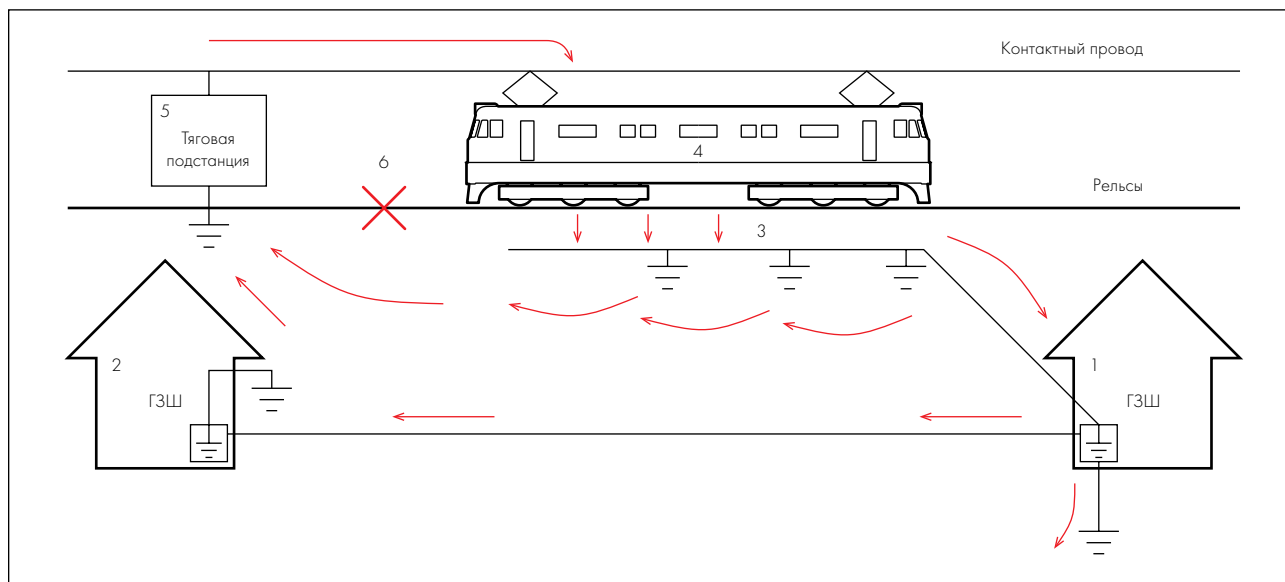


Рис.7. Протекание части тягового тока через заземляющее устройство

ние попало на станционную аппаратуру, в результате было повреждено оборудование связи и СЦБ, загорелся уличный шкаф с оборудованием. Причиной аварии стал тяговый ток, часть которого какое-то время протекала через заземляющее устройство. Когда развеялся дым в линейно-аппаратном зале (ЛАЗ), оказалось, что в кроссе АТС варисторы так нагрелись, что потекла пластмасса корпусов модулей защиты. Это значит, что напряжение на заземляющем устройстве превысило 500 В (классификационное напряжение варисторов составляло 470 В). В итоге потребовалась замена значительной части оборудования АТС, были повреждены устройства питания, технологической связи, СЦБ. Если бы корпуса модулей защиты были выполнены из горючего пластика, вряд ли бы обошлось без пожара.

Что послужило непосредственной причиной аварии? Рассмотрим ее возможный механизм (рис.7). Как выяснилось, в момент возникновения аварии рядом со станцией проехал электровоз, причем путь впереди движения ремонтировался. К главной заземляющей шине (ГЗШ) здания 1 подключено заземляющее устройство 3, представляющее собой электроды, вбитые рядом с железнодорожными путями и соединенные между собой и ГЗШ стальной полосой. Электровоз, проезжающий мимо, питается от тяговой подстанции напряжением переменного тока 27,5 кВ. Вторичные обмотки подстанции соединены треугольником, фаза С заземляется и соединяется с рельсами железной дороги. В контактную сеть пути подается напряжение одной из двух других фаз (А или В). Так как в точке 6 рельсы разобраны, ток, потребляемый электровозом, течет к заземлению подстанции через землю, другие рельсы и другие проводники, в числе которых и заземляющее устройство АТС (3). Часть тока затекает в систему уравнивания потенциалов здания, растекается по различным металлоконструкциям, оболочкам кабелей (в том числе к будке 2) и возвращается таким путем к тяговой подстанции. При этом напряжение на корпусах оборудования и других токоведущих частях превысило 500 В.

Применив к этому примеру "пирамиду аварий", увидим, что причиной аварии стало ошибочное инженерное решение, которое было реализовано из-за низкого качества проекта, плохой организации строитель-

монтажных работ и безответственности должностных лиц, отдавших распоряжения вопреки законам физики и здравому смыслу. Можно считать, что причины перенапряжений в данном случае находятся на втором уровне (уровне технических решений и процессов), так как их источником служит заземляющее устройство объекта связи. Крупной аварии предшествовало несколько небольших повреждений и периодические сбои в работе систем связи, вызванные помехами. Если бы модули кроссовой защиты были выполнены из горючего пластика (применительно к "пирамиде аварий" – это потенциально опасное оборудование на уровне 2), в ЛАЗ мог возникнуть пожар. Авария произошла на железной дороге, являющейся источником повышенной опасности, была нарушена работа систем связи и СЦБ. При стечении определенных обстоятельств подобная ситуация может привести к крушению поезда с пассажирами или опасными грузами, то есть к катастрофе.

ПРИМЕР 4

Совершенно загадочная история произошла несколькими годами позже. Маленький, закрытый до недавнего времени город, рядом с ним – предприятие. Цех связи обслуживает и производство, и население. Устанавливают новое цифровое оборудование, и тут же оно регулярно начинает выходить из строя. Более того, вылетают типовые элементы замены (ТЭЗ) даже АТСКЭ и систем передачи, которые раньше работали без особых проблем. Связисты в отчаянии – без всякой видимой причины за одну смену может выйти из строя практически вся связь (как-то за смену было убито порядка 40–50 ТЭЗов).

Разгадка лежала на поверхности: при установке нового оборудования было построено новое заземляющее устройство, причем в непосредственной близости от проходившего рядом газопровода. Когда начался массовый выход аппаратуры из строя, решили сделать заземление еще лучше – еще больше электродов, дополнительные шины. Не помогло. Причиной опасности служил газопровод, в непосредственной близости от которого находились мощные источники помех (на производственных и испытательных площадках), а сама металлическая труба была приемником и проводником для них. Причем получить информацию об источниках помех и точном времени их возникновения, чтобы сопоставить

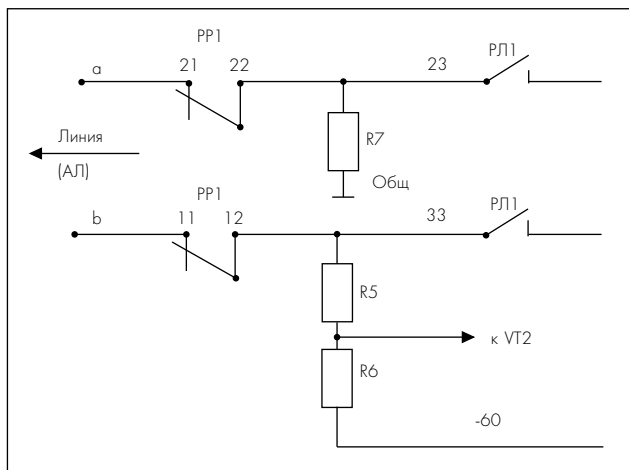


Рис.8. Схема подключения комплекта АКР к абонентской линии

со сбоями в работе связи, было, естественно, невозможно. Грунт – песчаный, поэтому часть тока, наведенного в трубе газопровода, текла в заземляющие устройства узла связи.

Итак, в этом примере приемником внешних помех тоже послужило заземляющее устройство, выбор места для которого производился без учета наличия такого вторичного источника перенапряжений, как газопровод. Последовательное "улучшение" заземления приводило все к более худшим результатам (это напоминает случай, описанный в примере 2 части 2).

ПРИМЕР 5

Еще через пару лет группа наших специалистов столкнулась с похожей проблемой – в коттеджном поселке при грозе повреждалась АТС, хотя линии связи были короткими, в хорошем состоянии, а в кроссе стояла защита. Наш инженер предположил, что заземление закопано рядом с трубой газопровода, чем заработал себе у коллег непререкаемый авторитет. Перенос заземляющего устройства от газопровода дал положительный результат. Очевидно, при ударе молнии поблизости от трассы газопровода большая часть тока молнии текла по его металлической трубе. Грунт был песчаный, т.е. с высоким удельным сопротивлением, поэтому существенная часть тока попадала в заземление АТС.

КВАЗИЭЛЕКТРОННЫЕ АТС

Очевидно, что АТСКЭ "Квант" в массе своей будут сняты с эксплуатации раньше, чем координатные АТС. И вряд ли будут вкладываться средства для продления срока их эксплуатации. Тем не менее, остановимся на них подробнее – уж очень показательный пример. Являясь электромеханической системой с программным управлением, АТСКЭ "Квант" с точки зрения защиты от перенапряжений похожа как на координатные, так и на цифровые АТС. Как и цифровые АТС (ЦАТС), "Квант" подвержена воздействию импульсных помех, в результате которого выходят из строя полупроводниковые приборы в различных блоках станции. Аналогично координатным АТС, в АТС "Квант" возможно подключение различных устройств (шнуровых

комплектов, регистров, приемников тонального набора) через коммутационное поле к абонентской линии, на которой могут присутствовать стороннее напряжение. В результате из строя могут выходить не только абонентские комплекты, но и другие приборы.

Таким образом, АТСКЭ "Квант" значительно более уязвима, чем координатная или цифровая станции практически любого типа. Следует отметить, что "Квант" разрабатывалась как учрежденческо-производственная АТС, а в качестве сельской стала применяться из-за отсутствия в 1980-х годах современного оборудования. Казалось бы, этого уже достаточно, но есть у станции "Квант" серьезная проблема, которая приводила к неоднократным возгораниям, иногда заканчивающимся большим пожаром на узле связи. Мне достоверно известно о трех случаях, два из них произошли в 2001 и 2002 годах, последний – два года назад (на самом деле их было значительно больше).

Рассмотрим одну из уязвимостей этой АТС. "Квант" имеет несколько типов абонентских комплектов, из них наиболее чувствителен к перенапряжениям комплект АКР-4. Почему так часто горит АКР-4? Как видно из его схемы (рис.8), если не установлено соединение, абонентская линия отключена от коммутационного поля АТС и приборов контактами реле РЛ1. К точке между R5 и R6 подключена база трансистора, который опрашивается процессором для детектирования поднятия трубки и определения цифр при импульсном наборе номера. При попадании в абонентскую линию постороннего напряжения 220 В/50 Гц повреждается резистор R7, а в определенных случаях – и R5. Резистор обугливается, появляется дым, а порой и открытый огонь. Этого бывает достаточно, чтобы поджечь печатную плату, особенно если постороннее напряжение попало на несколько абонентских линий.

Резисторы имеют сопротивление 2,7 кОм, допустимую мощность рассеивания 2 Вт. Быстрое возгорание наблюдалось при токе порядка 30 мА. Очевидно, что эта величина соответствует разговорному току, поэтому если бы даже и имелись элементы токовой защиты с такими характеристиками, применить их было бы невозможно.

После двух аварий, одна из которых закончилась большим пожаром, была создана рабочая группа в составе специалистов ЛОНИИС, оператора и НПО "Инженеры электросвязи". В результате были подготовлены рекомендации по защите АТСКЭ "Квант" [31]. Мы предложили эффективное решение, вполне доступное и в конце 1970-х годов, когда разрабатывалась "Квант". По всей видимости, тогда испытания комплекта АКР-4 на стойкость к перенапряжениям не проводились, поскольку пройти их он в принципе не мог.

ПЕРВЫЕ МАССОВЫЕ ЦИФРОВЫЕ АТС:

DX-200 и МТ 20/25

Массовое внедрение цифровых АТС на отечественных сетях началось во второй половине 1980-х годов. Первая АТС DX-200 концерна Telenokia была установлена трестом "Лентелефонстрой" в 1984 году. До 1991 года в Ленинграде было введено в эксплуатацию 34 электронных АТС типа DX-200 общей емкостью 230 тыс. номеров. С этой АТС не было серьезных проблем как при сопря-

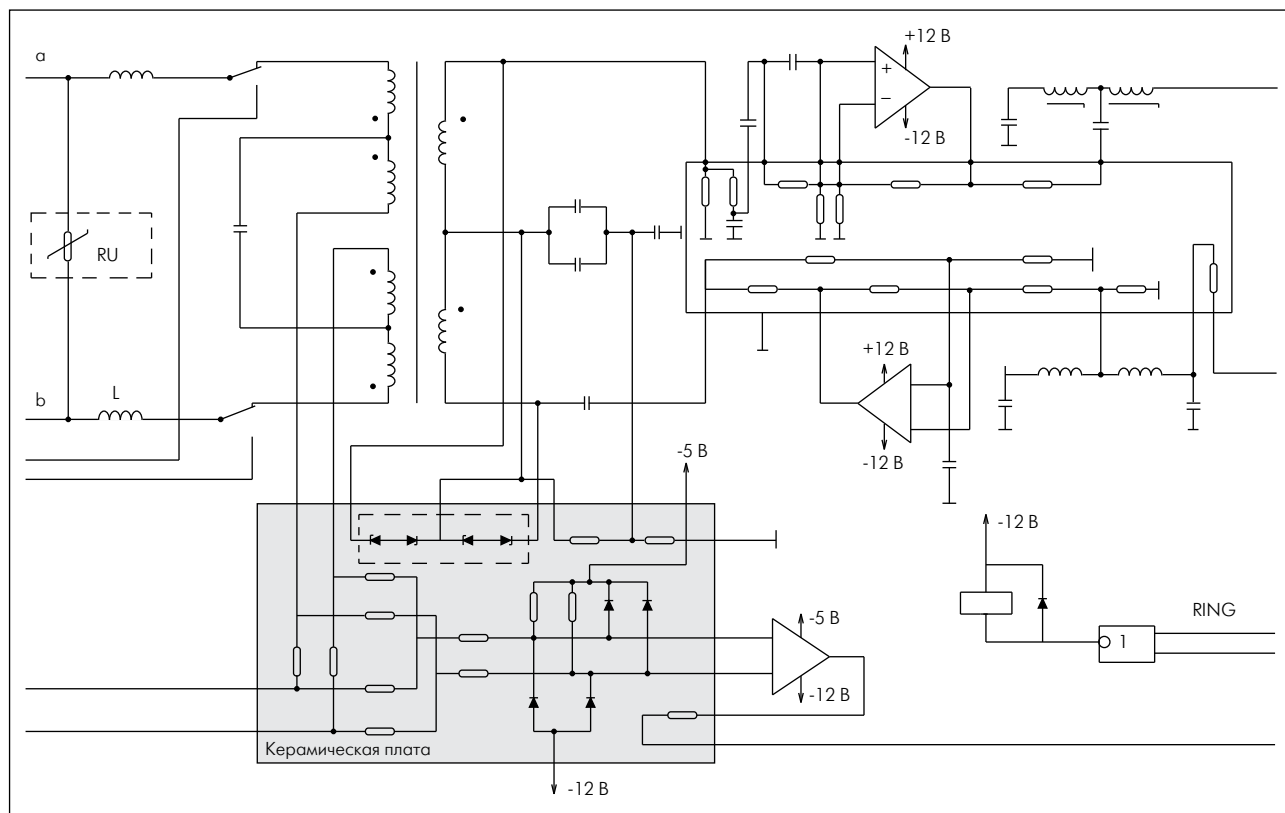


Рис.9. Абонентский комплекс электронной АТС 4-го поколения

жении с сетью, так и при дальнейшей эксплуатации. Более того, технические решения, заложенные в станции, позволяли модернизировать ее путем замены программного обеспечения с уровня R3/R4 до уровня L4,5, что позволило реализовать ОКС №7, СОРМ, тарификацию местных соединений и другие требования к современным системам коммутации [32].

В абонентском комплексе станции DX-200 (рис.9) защита реализована следующим образом. Между проводами а и б включен варистор с классификационным напряжением 150 В, далее дроссель в каждый провод. Как показала практика, в условиях ГТС Ленинграда (Санкт-Петербурга), когда практически весь кабель лежит в канализации, а вероятность удара молнии в линейные сооружения ничтожна, этого вполне

не достаточно. Если линии связи подвержены импульсным помехам (смешанные линии, подвесные кабели), то дополнительно в кроссе должны устанавливаться разрядники.

При попадании постороннего напряжения в один или два провода вызванный им ток протекает через резисторы, выполненные по пленочной технологии на керамической плате (выделена серым прямоугольником). При этом резисторы перегорают или же плата в месте нагрева трескается, разрывая цепь. Как правило, все этим и ограничивается – впоследствии требуется небольшой ремонт. Стабилитроны, включенные на выходе дифсистемы, служат скорее для устранения помех, чем для защиты от выхода кодека из строя. Причем повреждение печатной платы и элементов на ней возможно и при

тока, недостаточных для разрушения защитного сопротивления. В эксплуатации наблюдались случаи обугливания участков платы [33], что не вызывало возгорания благодаря высокой термостойкости применяемых материалов.

Поскольку к началу 1980-х годов попытки создать отечественную цифровую коммутационную систему не увенчались успехом, было принято решение приобрести лицензию, конструкторско-технологическую документацию и оборудование для производства таких АТС у французской фирмы Thomson CSF Telephone, впоследствии вошедшей в состав Alkatel. Для выпуска АТС МТ 20/25 был создан Уфимский завод коммутационной аппаратуры (УЗКА).

В 1985 году была выпущена первая АТС МТ 20/25 на импортной комплектации и основных конструкционных материалах, в 1987 году – на смешанной комплектации. С 1988 года промышленность приступила к выпуску АТС на отечественных компонентах и материалах [34]. Работы по изменению МТ 20/25 для производства промышленностью СССР (так называемая "советизация") проводились на "Красной Заре".

Можно предположить, что по согласованию с администрацией связи Франции фирма Thomson рассчитала возможным снизить требования к стойкости от перенапряжений (что допускается рекомендацией К.20 МККТТ). В составе абонентской платы присутствуют только стабилитроны, включенные примерно так же, как и в DX-200. Защита от попадания постороннего напряжения в линию связи в абонентском комплекте не предусматривалась. Однако ее при необходимости всегда можно установить в кроссе. При подаче напряжения 220 В на вход абонентского комплекта последний выходил из строя, однако не горел.

Французскими специалистами для СССР были разработаны специальные сборки с металлическим креплением, на которых устанавливались стеклянные разрядники (типа отечественных Р-27) с напряжением срабатывания 250 В. Такое решение нельзя назвать удачным. Однако при освоении системы на УЗКА было найдено еще более неудачное [33].

Так, в отличие от решения Thomson разрядники были размещены не отдельно, а в общем пакете плат, заполняющих статив концентратора. Для этой цели была разработана плата PRO. Разрядники устанавливались в закрепленных на плате держателях из легковоспламеняющейся пластмассы. Кроме того, были введены элементы токовой защиты – позисторы (терморезисторы), увеличивающие сопротивление при протекании сверхтока. Они ставились в цепи после разрядников. Поскольку статическое напряжение пробоя разрядников составляло 250 В, то при попадании переменного напряжения 220 В разрядники пробивались (так как амплитудное значение составляло 310 В). При этом терморезисторы не срабатывают – ведь разрядники стоят перед ними и функцию свою выполняют. В разряднике, к которому постоянно приложено напряжение пробоя, тепловыделение настолько велико, что через несколько минут загоряются пластмассовые держатели, затем изоляционные материалы платы (видимо, при "советизации" рационализаторы поработали и над платой). Таким обра-

зом, плата защиты оказалась основным источником опасности для АТС.

Испытания ЛОНИИС были проведены уже после того, как в 1989 году произошли возгорание плат PRO и пожар на узле связи в одном из городов Украины. Несколько подобных случаев было в 1990-х годах и в России. Чтобы оборудование перестало гореть, оказалось достаточным просто снять разрядники с платы PRO и, при необходимости, установить защиту в кроссе. Соответствующие рекомендации были разработаны по заказу Министерства связи, однако в начале 2000-х годов я еще видел установленные в платах PRO разрядники. Их не снимали даже после случаев обугливания и расплавления пластмассовых держателей.

Необходимо добавить, что на сетях России и Украины эксплуатируется немало АТС МТ 20/25 общей емкостью более миллиона номеров. До сих пор происходит модернизация как программного обеспечения, так и "железа" МТ 20/25, чем занимается несколько предприятий. Это говорит о том, что в целом система оказалась жизнеспособной, с потенциалом для развития. Все проблемы, связанные с перенапряжениями, были вызваны только тем, что на этапе разработки не были привлечены компетентные специалисты.

Продолжение следует

ЛИТЕРАТУРА

- ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия, требования и определения.
- Оценка риска повреждений, возникших вследствие разряда молнии. Рекомендация К.39. ИТУ-Т, 1996.
- Руководство по защите оптических кабелей от ударов молнии. – М.: ЦНИИС, 1996.
- Шеффи Й.** Жизнестойкое предприятие. – М.: АЛЬПИНА БИЗНЕС БУКС, 2006.
- Терентьев Д.Е.** Заземляющие устройства объектов связи: проблемы и пути их решения./ В сб. I Всероссийской конференции по заземляющим устройствам. – Новосибирск, 2002, www.commeng.ru.
- Терентьев Д.Е.** Высокочастотные свойства заземляющих проводников. – Электросвязь, 2004, №11, www.commeng.ru.
- Терентьев Д.Е.** Минимизация и стабилизация сопротивления разъемных контактов в системах уравнивания потенциалов и заземляющих устройствах./ В сб. VI Всероссийской конференции "Состояние и перспективы энергетики связи". – СПб., 2004, www.commeng.ru.
- Рекомендации по защите комплектов АКР в АТСКЭ "Квант" от перенапряжений и избыточных токов. – СПб.: ЛОНИИС, 2002, www.commeng.ru.
- Гольдштейн Б.С.** Модернизация станций DX-200: концепция и результаты. – Вестник связи, 1999 №11.
- Средства защиты абонентских комплектов ЭАТС от перенапряжений и избыточных токов. Совершенствование средств защиты для ЭАТС МТ-20/25. – СПб.: ЛОНИИС, 1992.
- Шарипов Ю.К., Кобляков В.К., Сухих Е.А.** и др. Электронная автоматическая станция МТ 20/25./Под ред. Ю.К.Шарипова. – М.: Радио и связь, 1992.