

# Защита оборудования и объектов связи от опасных электромагнитных влияний

**Терентьев**

Дмитрий Ефимович  
генеральный директор  
НПО «Инженеры электросвязи»

**Сторожек**

Николай Леонидович  
кандидат технических наук  
заместитель генерального директора  
НПО «Инженеры электросвязи»

Рассмотрены источники электромагнитных влияний и методы защиты от них телекоммуникационных объектов.

При эксплуатации телекоммуникационных и информационных комплексов, электронных приборов, систем автоматики и телемеханики часто приходится сталкиваться с отрицательным влиянием перенапряжений. Особенно заметно это влияние проявляется в наиболее сложных системах, таких, например, как сети связи.

Статистика показывает, что число повреждений аппаратуры из-за бросков токов и напряжений удваивается каждые три-четыре года. Перенапряжения вызывают старение полупроводниковых структур, ошибки при передаче информации и уничтожение данных в запоминающих устройствах. Прямые удары молнии, а также попадание промышленного напряжения в незащищенные линейные сооружения и оборудование связи могут стать причиной пожара и гибели людей.

Значительный материальный ущерб связан и с косвенным влиянием грозовых разрядов. Он обусловлен нарушением технологических процессов вследствие выхода из строя систем технологического управления [1].

Почему современное оборудование требует качественно нового подхода к защите от перенапряжений по сравнению с предыдущим поколением электронной техники? Это связано, прежде всего, со сменой элементной базы.

Плотность элементов на кристаллах микросхем за последние годы значительно увеличилась, что привело соответственно к уменьшению напряжения пробоя. Поэтому даже при внешнем небольшом электромагнитном воздействии может возникнуть ситуация, которая приведет к повреждению микросхем.

В источниках электропитания сократилось количество трансформаторов и дросселей, индуктивность которых гасит выбросы питающего напряжения, уменьшились их размеры, при этом все больше функций выполняют электронные схемы, более подверженные воздействию перенапряжений. Кроме вывода из строя электронных блоков электропитающего устройства и нарушений его работы (сбоев в схемах генераторов, регуляторов и т. п.),

существует опасность попадания импульсных помех через цепи питания непосредственно в оборудование.

Цифровые схемы характеризуются чрезвычайно малыми энергиями полезных сигналов. Поэтому защита от электромагнитных воздействий является обязательным условием бесперебойной работы.

Все более возрастающая в современном обществе роль комплексов систем передачи и обработки информации увеличивает экономические потери вследствие отказов этих систем или сбоев в их работе.

## 1. Источники и характеристики опасных влияний

### 1.1. Природные явления

Гроза - явление не частое, но очень разрушительное, способное «поразить» человека в прямом и переносном смысле этого слова. Первые серьезные научные исследования этого природного явления были начаты в середине XVIII века американским ученым Б. Франклином и русским ученым М. Ломоносовым. Именно ими и было предложено защищать людей и здания с помощью специальных устройств - молниеотводов, перехватывающих ток молнии и отводящих его в землю.

Различают три типа гроз: тепловые, фронтальные и зимние.

Тепловая гроза. Различия в рельефе местности вызывают неравномерный нагрев воздуха, особенно после полудня. Влажный теплый воздух поднимается вверх, содержащаяся в нем влага конденсируется. Этим поддерживается разность температур и плотности воздуха. Возникает устойчивая вертикальная тяга, подобная тяге в дымовой трубе. По мере подъема влага конденсируется в виде капелек тумана, а на большой высоте - в виде кристаллов льда, образуя местное грозовое облако. При быстром подъеме происходит перераспределение заряда внутри капель. По мере дробления капли с разными значениями заряда собираются в разных частях грозового облака, создавая

разность потенциалов как между разными частями облака, так и между облаком и землей.

Фронтальная гроза. Возникает при столкновении теплых влажных масс с холодными. На фронте столкновения более теплые массы воздуха вытесняются вверх; образуется, как в предыдущем случае, вертикальный поток воздуха, происходит конденсация и кристаллизация влаги в виде фронта облаков.

В реальных условиях чаще всего возникает смешанный тип гроз.

Зимняя гроза. Причиной ее является фотоионизация кристаллов льда в верхних слоях атмосферы. Это очень редкое явление и наблюдается чаще в северных широтах.

В основном необходимо учитывать грозовую деятельность в течение грозового сезона: с апреля-мая по сентябрь-октябрь.

Наводки в линиях связи, вызванные грозовой активностью, характеризуются небольшой длительностью (до нескольких микросекунд) и соответственно высокой частотой спектральных составляющих. Величины амплитуд импульсных напряжений и токов, наведенных в кабельных линиях, могут достигать таких значений, при которых разрушается оболочка и изоляция, расплавляются жилы, полностью нарушается связь.

Наводки, вызванные грозой, могут проникать в объект следующими путями.

#### *Прямой удар молнии в здания и инженерные сооружения*

Наиболее опасными являются воздействия, возникающие при прямом ударе молнии в объект связи (как правило, в антенно-мачтовые сооружения). Возникающий при этом бросок потенциала земли может достигать нескольких сотен тысяч вольт. На объекте связи, где не выполнен комплекс мер по защите от перенапряжений, при таком ударе молнии происходит массовый выход из строя оборудования, в первую очередь страдает современное оборудование.

Часто повреждаются также воздушные линии связи и кабели, проложенные в грунте, особенно с высоким удельным сопротивлением.

#### *Резистивные наводки*

Удар молнии в землю недалеко от объекта вызывает локальный бросок потенциала земли в месте разряда. Потенциал, максимальный в точке разряда, спадает к периферии по экспоненциальному закону. Таким образом, заземлитель объекта и место стекания тока молнии в землю оказываются под разным потенциалом. Ток, вызванный разностью потенциалов, по любой проводящей системе (водопровод, кабель связи) «протекает» через объект.

#### *Индуктивные наводки*

Ток молнии, протекающий по спуску молниеприемника здания или по металлоконструкциям мачты, вызывает сильное электромагнитное поле, воздействующее на все близко расположенные проводники; в линиях электропередач возникает бегущий импульс тока и напряжения [2]. Подобного наведенного импульса вполне достаточно, чтобы повредить современное электронное оборудование.

#### *Емкостные наводки*

Высоковольтные линии электропередачи (ЛЭП) подвержены наибольшей опасности прямых ударов молнии. Несмотря на то что при строительстве ЛЭП предусмотрены меры защиты (грозозащитный трос, ограничители перенапряжения),

импульсные перенапряжения все равно попадают на распределительные трансформаторы. Так как энергия грозовых импульсов сосредоточена в высокочастотной части спектра, эти импульсы через емкостную связь между обмотками трансформатора попадают в сеть электропитания, повреждая чувствительное оборудование.

## **1.2. Промышленные источники**

### *Коммутационные помехи в электропитающих сетях*

Импульсные помехи различной длительности и величины возникают в электропитающих сетях при включении и выключении мощных потребителей энергии, переключениях, коротких замыканиях. Например, при подаче высокого напряжения (10 кВ) на трансформаторную подстанцию (ТП) на низковольтных обмотках возникает импульс амплитудой до 3 кВ.

### *Наводки от линий электропередачи и энергетических кабелей на линии связи*

Помехи в спектре промышленной частоты и ее первых гармоник действуют только на близко расположенные линии связи. Как правило, они не приводят к повреждениям, но могут вызывать помехи в работе. При коммутационных процессах на электросетях в линиях связи наводятся индуктивные помехи, аналогичные помехам, возникающим при ударах молнии в ЛЭП.

### *Электрифицированный транспорт*

Это один из наиболее мощных источников промышленных помех, действующих на кабели, проложенные рядом с электрифицированной железной дорогой. Наиболее опасны для систем связи железные дороги, работающие на переменном токе.

### *Непосредственное попадание питающего*

*напряжения на линии связи* Это одна из наиболее распространенных и опасных помех. Длительность таких воздействий практически не ограничена, а выделяемая мощность зависит только от внутреннего сопротивления источника питания силовой цепи. При возникновении таких опасных токов замыкание цепи обычно происходит через землю. Эти воздействия представляют опасность не только для телекоммуникационной аппаратуры, но и для обслуживающего персонала. Известны случаи возгорания оборудования и зданий, причем ущерб, причиненный пожаром, оказывался на порядок больше, чем затраты, требующиеся на защиту объекта.

## **1.3. Военные источники**

Среди основных тенденций развития современной военной стратегии можно отметить увеличение значения, придаваемого задачам подавления жизненно важной для противника информационной инфраструктуры. Поэтому одной из главных целей современной войны является достижение информационного превосходства, для чего необходимо прежде всего уничтожить коммуникационные и радиотехнические системы противника.

Задачу разрушения информационных систем можно решить, нанеся удары по целям при помощи обычного или ядерного оружия, но это будет скорее побочным

следствием таких ударов. Пострадают атакуемые сооружения и персонал, что далеко не всегда желательно в современных условиях.

Возникновение потребности уничтожения электронных систем без нанесения вреда строениям и находящимся в них людям повлекло за собой разработку специальных видов воздействия, решающих данную задачу.

#### *Электромагнитный импульс высотного ядерного взрыва*

Одним из способов уничтожения электронных систем является подрыв ядерного боеприпаса над целью на высоте около десяти километров и более. При этом такие поражающие факторы, как ударная волна, проникающая радиация и световое излучение, не приносят существенного вреда наземным объектам, а электромагнитный импульс, возникающий в результате взаимодействия гамма-лучей и нейтронов, испускаемых при ядерном взрыве, с атомами окружающей среды, выведет из строя электронное оборудование на значительной территории.

Высотный ядерный взрыв лишь с большой натяжкой можно отнести к специальным методам воздействия на коммуникационные и радиотехнические комплексы, тем не менее, как поражающий фактор его нужно учитывать при проектировании систем защиты электронного оборудования, особенно военного.

#### *Электромагнитные бомбы*

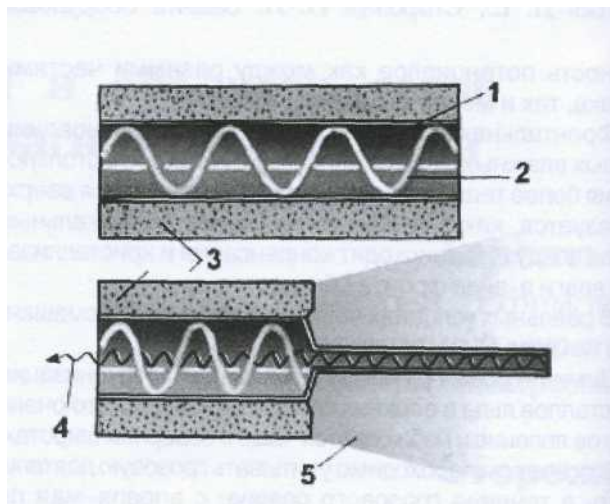
Технологическая база современных электромагнитных боеприпасов весьма разнообразна. Основными технологиями, применяемыми в этой области, являются: генераторы со сжатием электромагнитного поля при помощи взрывчатки (explosively pumped Flux Compression Generators, FC-генераторы), работающие на взрывчатке или пороховом заряде магнетогидродинамические генераторы (explosive or propellant driven Magneto-Hydrodynamic Generators, MHD-генераторы) и целый набор микроволновых устройств высокой мощности, из которых наиболее проработанным является генератор с виртуальным катодом (Virtual Cathode Oscillator, виркатор).

FC-генератор - это относительно компактное устройство, способное произвести электрическую энергию порядка десятков мегаджоулей за сотни микросекунд. Пиковая мощность - от единиц до десятков тераватт [3].

Центральная идея конструкции FC-генератора заключается в использовании взрывчатки для того, чтобы быстро сжать магнитное поле, преобразовав энергию в электромагнитный импульс.

Основной элемент генератора - цилиндрический резонатор из материала с хорошей электропроводностью, обложенный обычной взрывчаткой. Специальный источник инициирует в резонаторе стоячую электромагнитную волну, которую можно либо поддерживать во времени, либо создавать за несколько мгновений до взрыва. Обычно при взрыве развивается мощность в несколько тысяч гигаватт, а давление - более сотни атмосфер. Оно и сжимает резонатор. В зависимости от конструкции бомбы сжатие происходит либо равномерно по всей боковой поверхности, либо с торца - этот вариант и показан на рис. 1.

Схема функционирования электромагнитной бомбы перед взрывом (вверху) и в момент его (внизу). Цифра-



ми обозначены: 1 - электромагнитный резонатор; 2 - стоячая волна; 3 - взрывчатое вещество; 4 - направленное электромагнитное излучение; 5 - разлетающиеся продукты взрыва. Почти мгновенно диаметр цилиндра уменьшается в десятки раз. Электромагнитное поле, неспособное выйти за пределы резонатора, резко сжимается, и, как следствие, повышается частота его колебаний. Таким образом, часть энергии взрывчатого вещества переходит в энергию электромагнитных волн.

MHD-генератор. Фундаментальные принципы, лежащие в основе конструкции MHD-генераторов, заключаются в том, что в проводнике, движущемся через магнитное поле, будет возникать электрический ток, перпендикулярный направлению линий поля и движению проводника. В MHD-генераторе на взрывчатке или пороховом заряде проводником является плазма, образующаяся в результате взрыва, которая движется поперек линий магнитного поля. Ток собирается электродами, которые находятся в контакте с плазменной струей [4]. Возникающий короткий импульс тока вызывает распространяющийся в пространстве электромагнитный импульс.

Источник микроволнового излучения высокой мощности - виркатор. Физика работы генераторов с виртуальным катодом существенно более сложная, чем в ранее рассмотренных устройствах. Идея, лежащая в основе виркатора, заключается в ускорении мощного потока электронов, созданного при помощи взрывчатки, сетчатым анодом. Значительное число электронов, проходя через анод, формирует за ним облако пространственного заряда. При определенных условиях эта область пространственного заряда будет генерировать колебания с частотами микроволнового диапазона. Если пространственный заряд помещен в резонансную полость, которая соответствующим образом настроена, может быть достигнута очень большая пиковая мощность. Чтобы вывести энергию из резонансной полости, используются обычные микроволновые технологии, например рупорная антенна. Уровни мощности, достигнутые в экспериментах с виркаторами, находятся в диапазоне от 170 кВт до 40 ГВт в диапазоне длин волн от дециметрового до сантиметрового [5]. Схематичное изображение виркатора представлено на рис. 2.

Таким образом, при эксплуатации телекоммуникационных и информационных систем, электронных при-

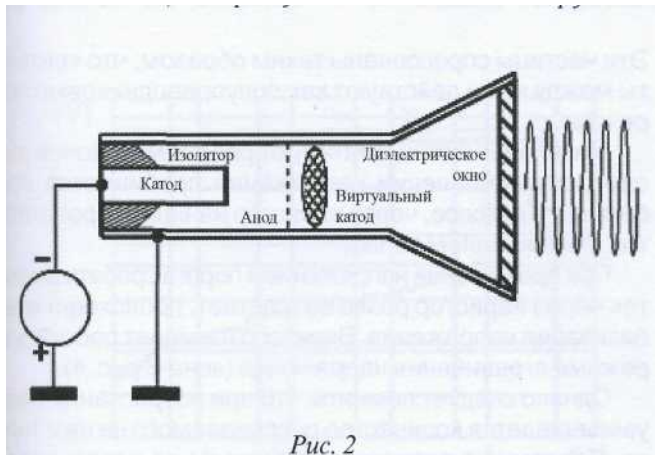


Рис. 2

боров, систем автоматики и телемеханики приходится сталкиваться с отрицательным влиянием перенапряжений, основными источниками которых являются грозы и атмосферное электричество, сети электропитания, а в военное время - электромагнитные импульсы, вызванные применением ядерных и электромагнитных боеприпасов. Возникающие в этих случаях наводки могут иметь две формы:

- 1) импульсные - с малым временем нарастания фронта и длительностью от нескольких наносекунд до нескольких микросекунд;
- 2) длительные - вызванные прямым контактом с электросетью или воздействием электропитающих установок, а также линий электрифицированного транспорта.

Величина токов, возникающих в линиях связи, зависит от формы наводки и может принимать значение до десятков ампер - для длительных воздействий и до десятков килоампер - для импульсных.

## 2. Основные принципы и методы защиты от опасных электромагнитных влияний

1. Уменьшение индуктивных наводок в кабелях связи и цепях электропитания достигается следующими путями:

- переходом с металлических кабелей связи на оптические;
- защитой проложенных металлических кабелей от ударов молнии при помощи специальных устройств;
- экранированием зданий и сооружений, в которых установлена аппаратура;
- сокращением длин и оптимизацией трасс прокладки кабелей внутри здания.

2. Защита зданий и инженерных сооружений объектов связи от ударов молнии производится путем перехвата тока молнии пассивными молниеотводами, например специально предназначенными для этого мачтами, молниезащитными сетками, молниеприемниками, установленными на крышах зданий. Кроме того, существуют и активные молниеотводы, инициирующие разряд молнии путем ионизации воздуха. При этом ток молнии отводится в землю через молниезащитное заземление.

3. Выравнивание потенциалов достигается электрическим соединением всех токопроводящих элементов в единую эквипотенциальную систему, частью которой также являются заземляющие устройства. К системе выравнивания потенциалов подключаются:

- металлические конструкции здания, антенн, мачт;
- коммуникации (водопровод, газопровод и т. д.);

- металлические оболочки кабелей;
- корпуса оборудования, кабельросты;
- волноводы и внешние проводники коаксиальных кабелей;
- провода PE и PEN электропитающих установок;
- заземляющие устройства.

Организация системы выравнивания потенциалов объекта связи описана в Европейском телекоммуникационном стандарте [6].

4. Размыкание цепи опасного тока, протекающего через защищаемые устройства. Этот метод широко применяется для защиты электропитающих установок и потребителей от короткого замыкания, а также линий и оборудования связи при аварийном контакте с сетями электропитания. Реже размыкание цепи опасного тока используется для защиты от импульсных наводок, от молнии или коммутационных процессов в ЛЭП.

5. Применение защитных устройств следует рассматривать как один из способов реализации методов 3 и 4. Мы не имеем возможности напрямую подключить к системе выравнивания потенциалов жилы кабеля связи или электропитания - ведь тогда по ним нельзя будет передавать информацию или электроэнергию. Для выравнивания потенциалов элементов систем связи и электропитания применяются защитные устройства, которые обычно называют «устройства защиты по напряжению». Для размыкания цепей опасного тока применяются защитные устройства, которые называют «устройства защиты по току». В зависимости от типа воздействий часто применяются защитные устройства, представляющие собой различные комбинации элементов защиты по току и элементов защиты по напряжению.

## 3. Элементная база защитных устройств

### 3.1. Элементы защиты по напряжению

Элемент защиты по напряжению должен удовлетворять следующим основным требованиям:

- не допускать утечки через себя полезного сигнала, т.е. в диапазоне передаваемых частот иметь в идеале бесконечное сопротивление;
- при разности потенциалов, превышающей определенное значение, резко уменьшать свое сопротивление;
- многократно выдерживать прохождение импульсных токов.

Основными параметрами элементов защиты по напряжению являются: напряжение ограничения, скорость срабатывания, максимально допустимый импульсный ток.

Конструкция и физические принципы действия элементов защиты по напряжению различны, но их можно разделить на две группы:

- разрядники (принцип действия - дуговой разряд в газе);
- полупроводниковые приборы и варисторы (пробой  $p-n$  переходов).

Воздушные искровые разрядники используются для защиты по напряжению и имеют очень простую конструкцию. Диэлектриком в них служит воздух. Зазор между электродами не герметизируется, и поэтому напряжение срабатывания сильно зависит от состава воздуха, его запыленности, давления и влажности. Регулировать напряжение пробоя можно, изменяя форму электродов и расстояние между ними.



При возникновении разряда электроды воздушного разрядника разрушаются, и необходим контроль их состояния. Более совершенными устройствами являются газонаполненные разрядники. Зазор между электродами закрыт стеклянным или керамическим корпусом и заполнен инертным газом (неоном, аргоном) под давлением.

Поверхность электродов покрыта материалом, увеличивающим эмиссию электронов. Внутри поверхности разрядника наносят активный материал, иногда содержащий примесь изотопов для более быстрого поджигания дуги и увеличения мощности разрядника. Применение этих материалов позволяет создавать разрядники с напряжениями пробоя от 70 вольт до нескольких киловольт со стандартным допуском 20 %.

Принцип работы разрядника представлен на рис. 3.

При напряжении, меньшем напряжения пробоя, разрядник представляет собой диэлектрик с сопротивлением более 100 МОм. Когда напряжение достигает величины пробоя ( $U_p$ ), возникает тлеющий разряд. Напряжение тлеющего разряда ( $U_{gl}$ ) составляет 70-150 В (в зависимости от типа разрядника) при токе от 100 мА до 1,5 А. При дальнейшем росте напряжения тлеющий разряд переходит в дуговой разряд с напряжением дуги ( $U_{до}$ ) 10-25 В независимо от величины тока. После понижения напряжения до величины напряжения погасания разрядник переходит обратно в высокоомное состояние. При использовании разрядников в цепях с дистанционным питанием необходимо убедиться, что величина его напряжения не превышает напряжения погасания разрядника. Пропускная способность газонаполненных разрядников может быть очень велика. Напряжение пробоя в сильной степени зависит от крутизны фронта импульса.

Чаще всего газонаполненные разрядники применяются в качестве первичной предварительной защиты. Время срабатывания газовых разрядников составляет несколько десятков или даже сотен наносекунд. Эти разрядники широко используются в телекоммуникациях. Однако у них есть свои недостатки. Одним из них является тот факт, что величина напряжения пробоя зависит от скорости роста напряжения. Это вызвано тем, что для ионизации газа внутри разрядника требуется определенное время.

Другая опасность заключается в разрушении разрядника при длительном воздействии перенапряжения.

Разрядник способен выдерживать большой ток лишь доли секунды. Потом он может взорваться или нагреться до опасных температур. Для предотвращения нагрева разрядника и возможного возгорания оборудования, в котором он установлен, разрядники могут снабжаться термозащитой.

Примерно 10-15 лет назад появились технологии производства высококачественных и недорогих оксидноцинковых варисторов. Это позволяет широко применять варисторы для защиты информационных и электропитающих цепей. Применение варисторов для защиты высокочастотных цепей ограничено их относительно высокой емкостью.

Сопротивление варистора сильно зависит от приложенного к нему напряжения.

Варисторы изготавливаются из металлооксидных частиц (оксид цинка со специальными присадками).

Эти частицы спрессованы таким образом, что контакты между ними действуют как полупроводниковые переходы.

Миллионы частиц имитируют работу миллионов диодов, при повышении напряжения пробивается все больше переходов, через варистор начинает протекать ток с выделением тепла.

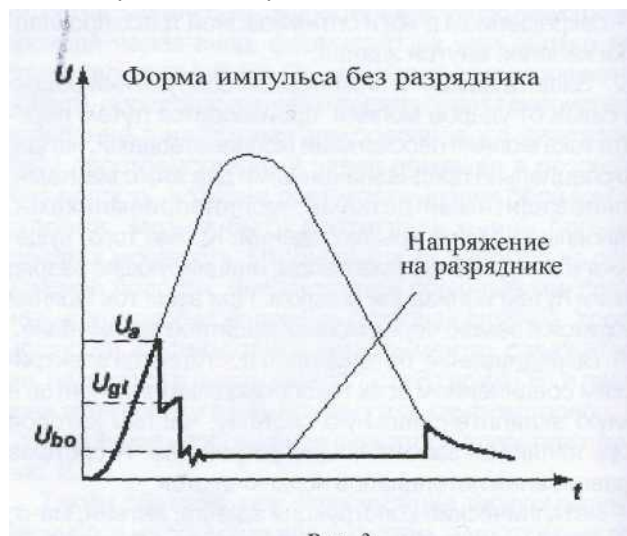
При превышении напряжения порога срабатывания ток через варистор резко возрастает, происходит стабилизация напряжения. Варистор начинает работать в режиме ограничения напряжения (зона В рис. 4).

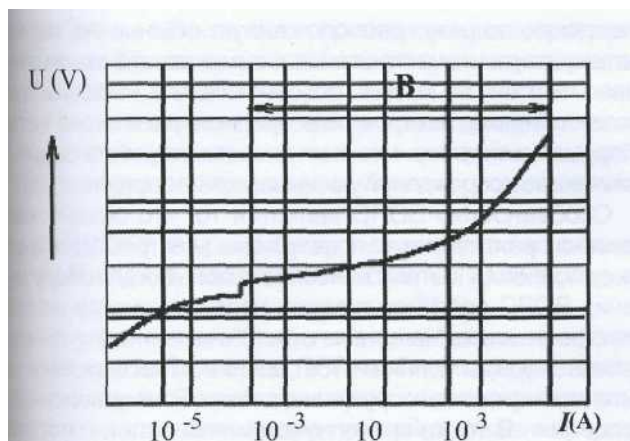
Однако следует помнить, что при возрастании тока увеличивается количество рассеиваемого на нем тепла. Поэтому не допускается длительное использование варистора, в режиме ограничения. Такие характеристики варистора, как напряжение срабатывания и максимальный ток, определяются составом материала, его толщиной и диаметром (как правило, варисторы имеют форму диска).

Варистор такого же размера, что и газовый разрядник, проводит намного меньший ток. Существенным преимуществом варистора по сравнению с разрядником является его малое время срабатывания (порядка нескольких наносекунд). Поэтому данный элемент используется в измерительных и управляющих системах для защиты от импульсов от 2,5 до 7 кА при форме 8/20 мкс. Для защиты электропитающих установок используются мощные варисторы, выдерживающие большие импульсные токи.

Полупроводниковые элементы являются более быстродействующими, чем разрядники и варисторы. В последние годы появились тиристоры и стабилитроны, которые могут рассеивать значительные мощности и имеют высокую стабильность характеристик.

Четвертьволновые линии представляют собой проводник, длина которого составляет 1/4 длины волны рабочего сигнала. На рабочей частоте четвертьволновая линия имеет бесконечное сопротивление, а для тока молнии - нулевое. Основная проблема применения четвертьволновой линии состоит в том, что на других длинах волн через линию происходит утечка сигнала. Поэтому для широкополосных сигналов применение четвертьволновых линий ограничено. Кроме того, по проводнику, защищенному четвертьволновой линией, нельзя передавать напряжение дистанционного питания.





Четвертьволновые линии применяются для защиты мощных и высокочастотных передатчиков, например радиорелейных станций (РРС).

### 3.2. Элементы защиты по току

Эти элементы предназначены для защиты от длительных воздействий, поэтому требования, предъявляемые к ним, отличаются от требований к элементам защиты по напряжениям. Можно назвать основные: рабочий ток, ток ограничения, остаточный ток, внутреннее сопротивление, время срабатывания, восстанавливаемость, диапазон рабочих температур. Отличается также схема включения этих элементов: если защита по напряжению включается параллельно нагрузке, то защита по току включается последовательно и служит для отсоединения нагрузки от линии. Причем качественный элемент токовой защиты должен удовлетворять следующим требованиям: надежно защищать стоящее за ним оборудование от чрезмерных токов; при выходе из строя этот элемент должен обеспечивать обрыв цепи; иметь минимальный размер и быть удобным для монтажа; должен вносить минимальные помехи в работу аппаратуры связи (иметь минимальное сопротивление); должен быть элементом многократного использования (по возможности).

Плавкие вставки - самый распространенный токоограничивающий элемент. Они устанавливаются последовательно в цепи перед нагрузкой. Основным недостатком плавкой вставки, применяемой в устройствах защиты оборудования связи, является высокий разброс (до 50 %) значений тока срабатывания при токах до 300 мА. Применение плавких вставок со стабильными характеристиками дорого и экономически нецелесообразно из-за невозможности их повторного использования.

Индуктивности позволяют защитить оборудование связи от высокочастотных импульсов. Представляя собой большое сопротивление для высокочастотных составляющих спектра, они не вносят дополнительного затухания в области низких частот. Их главный недостаток - частотные искажения и невозможность использования с высокочастотными сигналами.

Термокатушки - один из самых распространенных в прошлом элементов защиты по току. Повышение тока выше определенных пределов вызывало нагрев катушки, что приводило к механическому

отключению цепи нагрузки от источника опасного тока. Недостатком термокатушки являются: необходимость их замены после срабатывания; относительно большие размеры и вес; установка только в специальные конструктивы (громполосы); длительное время срабатывания. Тем не менее, этот же принцип работы, реализованный на более высоком технологическом уровне, в некоторых случаях может быть эффективно использован.

Наиболее широко распространенными в технике связи элементами токовой защиты являются позисторы. Почти все производители телекоммуникационного оборудования используют эти элементы в своих разработках. При превышении током, проходящим через позистор, некоторого порогового значения, позистор нагревается и переходит из низкоомного состояния в высокоомное. Таким образом они ограничивают протекающий через них ток. После прекращения воздействия позистор остывает и восстанавливает малое внутреннее сопротивление. Именно это свойство является основным преимуществом позисторов по сравнению с плавкими вставками и термокатушками, которые являются одноразовыми элементами.

В настоящий момент выпускается два типа позисторов: керамические и на полимерной основе. Керамические позисторы изготавливаются из полупроводниковой керамики. Их сопротивление в несколько раз выше полимерных. Керамические позисторы имеют более стабильные характеристики и более высокую стойкость к длительным воздействиям, чем полимерные.

Полимерный позистор изготавливается из материала, внутри которого формируются низкоомные токопроводящие цепочки из углерода. При превышении током установленных границ рассеиваемая мощность увеличивается, что вызывает нагрев и расширение полимера. При достижении определенной температуры происходит разрыв токопроводящих цепочек, и элемент переходит в высокоомное состояние. Так происходит отключение защищаемой аппаратуры от линии связи.

#### *Электронный элемент токовой защиты*

Сложность задачи защиты по току состоит в том, что для срабатывания защитного элемента опасный ток должен протекать через защищаемые устройства. Все элементы токовой защиты обладают значительной инерционностью и, как следствие, не могут обеспечить надежную защиту современного оборудования. На основе анализа существующих элементов специалистами НПО «Инженеры электросвязи» был сделан вывод, что ни один из таких элементов не обладает набором необходимых параметров; к аналогичному выводу пришли и некоторые зарубежные фирмы.

Для надежной токовой защиты электронной АТС необходим элемент, имеющий очень высокую скорость срабатывания при токе порядка 60-70 мА, вносимое сопротивление не более 50 Ом, стабильные параметры и малые размеры. НПО «Инженеры электросвязи» был разработан и изготовлен такой элемент, подана заявка на полезную модель [7].

Элемент токовой защиты (ЭТЗ) состоит из источника тока и включенного с ним последовательно позистора. При этом регулирующий элемент источника тока (транзистор) имеет тепловую связь с позистором. Предположим, что в нормальном режиме через ЭТЗ протекает постоянный ток, меньший, чем ток ограничения, на который настроен источник тока. Если рассматривать

источник тока, выполненный по классической схеме, падение напряжения на регулирующем элементе (транзисторе) будет фактически равно напряжению насыщения транзистора.

Как только через ЭТЗ начинает протекать ток, превышающий порог срабатывания, регулирующий элемент источника тока начинает нагреваться и нагревает позистор. Позистор после достижения определенной температуры, называемой температурой опрокидывания, резко увеличивает свое сопротивление на несколько порядков; при внешнем разогреве позистор срабатывает быстрее, чем при саморазогреве.

В результате ток, протекающий в цепи, уменьшается до величины, определяемой сопротивлением позистора в сработавшем состоянии, мощности перераспределяются между нагрузкой и позистором, общая мощность, выделяющаяся в цепи, уменьшается, и, наконец, наступает тепловой баланс, т. е. схема находится в сработавшем состоянии уже за счет самоподогрева позистора и ждет снятия внешнего аварийного воздействия.

Преимущества данного элемента токовой защиты по сравнению с одним позистором очевидна: в случае защиты цепей одним позистором в защищаемой цепи при аварийной ситуации начинает протекать ток опасной величины. Чем меньше этот ток превышает величину тока опрокидывания позистора, тем дольше позистор будет переходить в высокоомное состояние, и, следовательно, защищаемый объект дольше будет находиться под воздействием токов опасной величины.

Существует и другой принцип работы элемента токовой защиты. Предположим, что на пути протекания тока в линии находится нормально замкнутый ключ. Если ток, протекающий в цепи, не превышает заданной величины - ключ находится в исходном состоянии, если ток превышает это значение - ключ размыкается и обрывает цепь протекания тока.

Данный принцип используется в разработанных нашим предприятием элементах токовой защиты. Они обладают следующими параметрами: вносимое сопротивление около 60 Ом, ток ограничения 50-70 мА, время срабатывания 1-2 мкс.

## Заключение

Защищаемое телекоммуникационное оборудование можно разделить на следующие основные группы:

- 1) оборудование линейных трактов первичной сети (работающее по металлическим кабелям);
- 2) оборудование ВОЛС;
- 3) оборудование АТС и оконечные устройства телефонных сетей;
- 4) радиооборудование (РРС, радио- и телевизионные передатчики);
- 5) выпрямители и другое оборудование электропитающих установок.

Причиной повреждений оборудования линейных трактов первичной сети, как правило, являются удары молнии, причем опасны не только прямые воздействия на кабель, но и высотные разряды между облаками. Линии систем передачи составляют очень разветвленную сеть. Они часто попадают в зону влияния ЛЭП, поэтому заметную долю неисправностей линейного оборудования составляют повреждения от наводок на жилы кабеля при коммутации в электросетях. Эти воздействия относятся к разделу импульсных. На первичных сетях используются различные системы передачи. Многие из них совсем не оборудованы устройствами защиты от перенапряжений, другие имеют

заводскую защиту, расположенную обычно на плате регенератора, что часто оказывается недостаточно эффективно. В итоге во время грозового сезона наблюдается массовый выход из строя регенерационного и оконечного оборудования, при применении внешних устройств защиты количество повреждений уменьшается на порядок.

Особенностью ВОЛС является то, что оптические волокна практически не подвержены электромагнитным воздействиям. Поэтому наиболее опасными для оборудования ВОЛС являются помехи, поступающие по цепям электропитания. Чаще всего источниками этих помех являются удары молнии в ЛЭП, здание объекта связи или антенно-мачтовое сооружение, а также коммутационные процессы. В то же время чувствительность к помехам оборудования, выполненного на современной элементной базе, очень высока. На практике нашим специалистам приходилось сталкиваться с тем, что даже включение люминесцентных ламп приводило к сбоям в работе оптических мультиплексоров.

Проблема защиты оборудования связи, работающего по кабелям абонентской сети, усложняется тем, что существует вероятность попадания на него сетевого напряжения. К сожалению, плохое состояние электропитающих установок (особенно в жилом секторе) и распределительной телефонной сети (на участке от распределительного шкафа до абонента) делают вероятность данного происшествия достаточно высокой, особенно по сравнению со странами Западной и Центральной Европы или, например, США. На сетях связи общего пользования России наибольший ущерб приносит именно выход из строя абонентских плат АТС в результате аварийных контактов линий с электросетями. Не проходит и года, чтобы не случилось возгораний стивов АТС, приводящих к многомиллионным убыткам.

При защите оборудования радиообъектов (РРС, базовых станций и т. п.) следует учитывать, что наибольшую опасность представляют прямой удар молнии в антенно-мачтовые сооружения и протекание тока молнии по волноводам и оболочкам коаксиальных кабелей, а также индуктивные наводки. Особенностью данного класса оборудования являются также высокие частоты рабочих сигналов, что предъявляет особые условия к устройствам и методам защиты.

Общие принципы защиты электропитающих установок не отличаются от принципов защиты оборудования связи. Ввиду значительных величин напряжений и токов в данном классе оборудования пренебрежение мерами защиты может иметь очень серьезные последствия.

Как показано выше, защитные устройства являются лишь одним из элементов системы защиты от опасных электромагнитных влияний. При проведении мероприятий по защите телекоммуникационных объектов необходимо рассматривать их как единую систему с множеством взаимосвязей между их элементами и внешней средой.

Специалисты, занимающиеся решением данных вопросов, должны иметь широкий кругозор и обладать специальными знаниями и навыками в таких областях, как технические приложения физики, электромагнитная совместимость, системы проводной и радиосвязи, электропитающие установки, заземляющие устройства, метрология.

Считается, что вероятность повреждения оборудования уменьшается в десять раз, если установка защитных

устройств на объекте связи проводилась специалистами по защите [8], поэтому во всем мире существуют десятки предприятий, специализирующихся на данной проблеме, и НПО «Инженеры электросвязи» является одним из них. Наше предприятие занимается вопросом защиты электрооборудования уже восемь лет и решает широкий круг задач:

1) НИОКР; 2) разработку, производство и поставку оборудования; 3) обследование объектов, проектирование и инжиниринг; 4) решение вопросов ЭМС.

Предприятие имеет собственное производство, метрологическую лабораторию, все необходимые лицензии и сертификаты. В работе широко используется опыт аналогичных зарубежных предприятий, достижения российской науки. При решении задач защиты применяются методы математического моделирования, специальные измерения, рекомендации, эффективность которых проверена практикой. Существует хорошо разработанная нормативная база (к сожалению, в основном - зарубежная).

Нашим главным преимуществом является нацеленность на решение задач с максимальной эффективностью. Объединение таких составляющих, как научный потенциал, разработка и производство, хорошее знание систем связи и управления различного назначения, метрологическая и испытательная база, дает предприятию возможность решать сложные технические проблемы. В некоторых областях, таких, например, как защита электронных АТС, НПО «Инженеры электросвязи» опережает не только российских, но и зарубежных конкурентов.

Подводя итог изложенному выше, хочется выразить уверенность в том, что отечественная промышленность способна обеспечить производство надежного оборудования защиты.

## Литература

1. Дьяков А. Ф. и др. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике и электротехнике. - М.: Энергоатомиздат, 2003. - 768 с.
2. Кужекин И. П., Ларионов В. П., Прохоров Е. Н. Молния и молниезащита. - М.: Знак, 2003. - 330 с.
3. Тпе ЕМР - А Тпади1аг 1три1зе, 2.29//А НапсИзоок Белез  
оп Е1ес1гоаdle1ю 1п1егТегепсе апс1 СотрайЪНКу, Ооп  
У/Ы4е  
СопзиИаШз, Магу1апс1, 1978.
4. РаШпоте В. А.. МНР РЫ3еа<sup>1</sup> Родаег (Зепегайоп // 01дез1 о{  
Тесъп1са1 Рарегз. - 71п 1ЕЕЕ Ри1зес1 Роадег  
Соп1егепсе. - 1ЕЕЕ,  
№л/Уогк, 1989. -Р. 483.
5. Тпойе I.. Е. УЛПиа1-Са1пос1е Мюго\л/ауе йемсе  
Везеагсп:  
ЕхрентеШ апа<sup>1</sup>31ти1а1юп. - Спар!ег 14 ю Н1дп Родаег  
Мюгслгауе  
Зоигсез, 1987.
6. Еигореап Те1есоттигпса1юп 31апс1аг[. ЕаПпд ай  
БопсПд о( 1е1есоттипюа{юп еди1ртеп1 1П  
1е1есоттипюа1юп  
сеп{гез. - ЕТ31, 1994.
7. Терентьев Д. Е., Цейтин А. Г. Свидетельство на полезную модель № 18031 от 10 мая 2001 г.
8. Оценка риска повреждений, возникших вследствие разряда молнии. Рекомендация 1ТУ-Т К.39.