



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ  
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

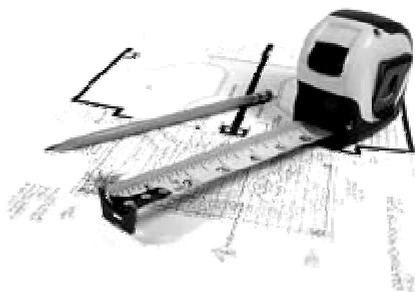
Белорусский национальный  
технический университет

---

Кафедра «Информационно-измерительная техника  
и технологии»

## ЗАЩИТА КАНАЛОВ СВЯЗИ СИСТЕМ ОХРАННОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ ОТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПЕРЕГРУЗОК

*Учебно-методическое пособие*



Минск  
БНТУ  
2015

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
Белорусский национальный технический университет

---

Кафедра «Информационно-измерительная техника  
и технологии»

ЗАЩИТА КАНАЛОВ СВЯЗИ  
СИСТЕМ ОХРАННОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ  
ОТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПЕРЕГРУЗОК

Учебно-методическое пособие  
для студентов специальности  
1-38 02 03 «Техническое обеспечение безопасности»

*Рекомендовано учебно-методическим объединением  
по образованию в области приборостроения*

Минск  
БНТУ  
2015

УДК 621.397 (075.8)

ББК 32.94я7

3-40

**Авторы:**

*К. Л. Тявловский, А. К. Тявловский,  
Р. И. Воробей, А. И. Свистун, Н. Н. Ризноокая*

**Рецензенты:**

*В. С. Колбун, В. А. Ярмолович*

**Защита** каналов связи систем охранного телевидения от электрических перегрузок : учебно-методическое пособие для студентов специальности 1-38 02 03 «Техническое обеспечение безопасности» / К. Л. Тявловский [и др.]. – Минск : БНТУ, 2015. – 56 с.  
ISBN 978-985-550-322-5.

В издании рассмотрены причины возникновения и характер воздействия импульсов электрической перегрузки на каналы связи. Показана необходимость защиты каналов связи систем охранного телевидения, в связи с нахождением значительной части линий связи вне помещений и требованием высокой надежности системы. Рассмотрены основные принципы и элементы защиты электрических цепей от импульсной электрической перегрузки (грозозащиты). Приводятся характеристики устройств защиты каналов связи от электрических перегрузок и рекомендации по их использованию в системах охранного телевидения. Пособие может быть использовано при самостоятельной работе, а также при выполнении курсовых и дипломного проектов.

**УДК 621.397 (075.8)**  
**ББК 32.94я7**

**ISBN 978-985-550-322-5**

© Белорусский национальный  
технический университет, 2015

## ВВЕДЕНИЕ

Выход из строя оборудования информационно-измерительных систем и средств каналов связи из-за электрических перегрузок в сигнальных цепях и цепях питания распространённое явление, доставляющее большие неприятности при эксплуатации. Даже если смонтированное оборудование долгое время нормально функционировало, условия эксплуатации соблюдались, то в какой-то момент может неожиданно произойти массовый выход из строя аппаратуры на объекте. Пространственно-распределённые информационно-измерительные системы, например системы охранного телевидения, содержат большое количество видеокамер, удалённых от центрального поста, и связанных с ним длинными линиями связи. Воздействие на удалённый функциональный блок импульсной электрической перегрузки может привести не только к выходу из строя этого блока и интерфейсных адаптеров канала связи, но и центрального блока. Причём поражающее действие электрической перегрузки может распространяться не только по каналам связи передачи измерительной информации, но и по линиям связи передачи управляющих сигналов, цепям питания, линии "земли".

Основными "поражающими факторами" для аппаратуры являются разряды молнии, коммутационные импульсные помехи и перенапряжения в сетях питания. Типичными последствиями являются повреждение изоляции, выгорание проводников печатных плат, разрушение радиоэлементов.

Например, для уличных видеокамер статистика отказов из-за помех следующая:

– до 50 % отказов: повреждение или полное разрушение блоков питания видеокамер и цепей, связанных с линиями передачи видеосигнала или телеметрии в результате воздействия разрядов молнии и коммутационных импульсных помех. Типичными последствиями являются повреждение изоляции, выгорание проводников печатных плат, разрушение радиоэлементов.

– до 45 % отказов: повреждение блоков питания видеокамер в результате перенапряжений в сети питания.

В грозоопасных районах летом выходит из строя до 20% от общего числа незащищённых аппаратных средств связи, причем многие из них неоднократно. Принято считать, что срок службы

электронного оборудования, не защищенного от перенапряжений, уменьшается в 2 раза. По зарубежным данным потери экономики США от перенапряжений составляют несколько десятков миллиардов долларов в год. Таким образом одним из наиболее эффективных вложений средств являются затраты на защиту электронного оборудования от перенапряжений.

Когда речь идет о защите, всегда приходится использовать терминологию вероятности, потому что мы можем только предполагать где и когда возникнет опасный импульс и какие значения он примет. Можно построить совершенную защиту, но это будет дорогое устройство и защитить с его помощью все линии вряд ли возможно, и не всегда нужно. Поэтому приходится идти на определенный компромисс, определяя вероятность повреждения, стоимость защитного оборудования и возможные потери от выхода оборудования из строя. При принятии решения о применении эффективной системы защиты необходимо соотнести затраты на ее приобретение и установку и вероятностью потерь от:

- Пожара.
- Возможности поражения людей.
- Полного или частичного выхода оборудования из строя.
- Сокращения срока службы оборудования.
- Перерывов связи.
- Ухудшения качества связи.
- Затрат рабочего времени, материалов, других ресурсов, связанных с восстановлением и ремонтом систем связи.
- Потерь на защищаемом объекте, связанных с неработоспособностью или неполным функционированием систем охранного телевидения.

Одной из важнейших задач разработки пространственно-распределенных систем, примером которых являются системы охранного телевидения, является разработка аппаратных средств защиты периферийного оборудования системы от электромагнитных импульсных перегрузок.

## 1 ВИДЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПЕРЕГРУЗОК

Перегрузка по напряжению – сигнал с уровнем напряжения, который превышает допустимое значение и может привести к отказам радиоэлектронной аппаратуры (РЭА). Импульсные перегрузки характеризуются кратковременностью и случайным характером воздействия и значительным превышением допустимых уровней напряжения и тока в цепях РЭА. При этом, из-за редкости воздействия, средняя мощность, рассеиваемая в цепях РЭА и элементах защиты при воздействии импульсной перегрузки, оказывается небольшой, несмотря на значительную энергию каждого импульса. Различают три основных вида источников импульсной (кратковременной) перегрузки:

- перегрузки, наводимые в цепях РЭА электромагнитным импульсом искусственного происхождения
- перегрузки, наводимые в цепях РЭА электромагнитным импульсом естественного происхождения (грозовые разряды, электрические разряды при землетрясениях и извержениях вулканов)
- перегрузки, обусловленные переходными процессами непосредственно в цепях при функционировании РЭА или при воздействия статического электричества.

Кроме того, одной из наиболее распространенных и опасных помех является непосредственное попадание питающего напряжения на линии связи. 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.

### 1.1 Помехи от разрядов молнии.

Землю с окружающей атмосферой по электрическим свойствам можно представить в виде шарового конденсатора больших размеров, обкладками которого являются земля и ионизированный про-

водящий слой воздуха, находящийся на расстоянии 80 км от поверхности Земли. Изолирующей прослойкой между обкладками служит слой воздуха. Напряжение между обкладками такого конденсатора составляет около 200 кВ, а ток, проводящийся под воздействием этого напряжения – 1,4 кА. Мощность электрической энергии, накапливаемой на таком конденсаторе, составляет около 300 МВт. В электрическом поле этого конденсатора на расстоянии от 0,5 до 8 км от поверхности Земли образуются грозовые облака и совершаются грозовые явления.

Основными параметрами, характеризующими ток молнии, являются максимальное значение импульса тока; крутизна и длительность фронта, а также длительность импульса тока молнии. Длительность импульса тока молнии в основном определяется временем распространения обратного разряда от Земли до облака и составляет 20 - 700 мкс, длительность фронта 1,5-10 мкс. Средняя длительность импульса тока молнии около 50 мкс. Токи молнии достигают 200 кА. Однако грозовые разряды с большой амплитудой тока возникают очень редко (токи более 100 кА составляют всего 2% от общего количества грозовых разрядов, а токи 150 кА и более -- 0,5%).

Грозовой разряд имеет колебательный характер. Это означает, что, кроме значительного электростатического потенциала, вызванного перемещением с большой скоростью капель воды, пылевых частиц и кусочков льда, грозовой разряд действует как мощный радиопередатчик, порождающий сильное электромагнитное излучение. Спектральный состав этого излучения лежит в диапазоне от нескольких герц до сотен килогерц, наибольшая плотность которого находится в районе 5...8 кГц. По этой причине трансформаторная развязка устройств от информационных линий часто оказывается бессильной. Помеха огромной мощности проходит через развязывающий трансформатор, не разрушая его, но повреждая электронику.

Разряды молнии индуцируют на линиях связи и линиях подачи электропитания высоковольтные импульсы напряжения. Разряд молнии характеризуется огромной разницей потенциалов, который может достигать несколько сотен тысяч вольт и амплитуды токов более 200 кА, поэтому при прямом или близком (десятки - сотни

метров) разряде молнии речь может идти только о выходе электронного оборудования из строя, а не о помехах (рисунок 1.1).

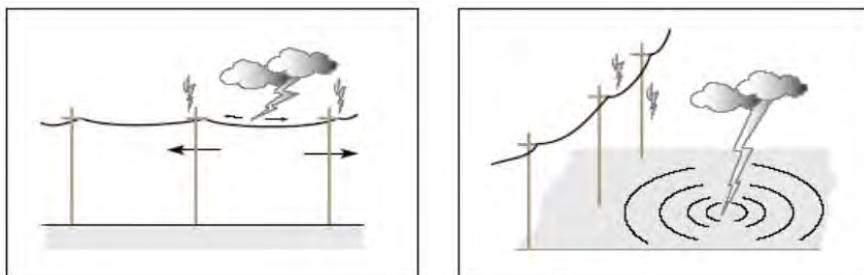


Рис. 1.1. Прямой удар молнии в воздушную линию и непрямой удар молнии

Для описания импульсов перегрузки при грозовом разряде используют два типа форм волн:

длинная волна с характерными временами длительности фронтов нарастания и спада 10 и 350 мкс (10/350), которая соответствует прямому удару молнии,

короткая волна, (8/20 мкс), которая соответствует импульсу перегрузки при непрямом ударе молнии (рисунок 1.2).



Рис. 1.2. Характеристика импульсов перегрузки при грозовом разряде

Для Беларуси и центральных регионов России интенсивность воздействия грозы составляет приблизительно 50 часов в год, при этом молния воздействует в среднем 2 раза в год на 1 км<sup>2</sup> местности. На линиях связи или линиях электропитания следует ожидать опасные помехи в виде импульсов напряжения 10 кВ один раз в год и до 50 раз в год – импульсы около 1 кВ (рисунок 1.3). Для южных районов России с повышенной грозовой активностью частота появления опасных напряжений соответственно увеличивается в 5 раз. Токи молнии достигают 200 кА. Однако грозовые разряды с большой амплитудой тока возникают очень редко (токи 100 кА и более составляют всего 5 % от общего количества грозовых разрядов, а токи 200 кА и более – менее 1 %) (рисунок 1.4). Важным параметром импульса тока молнии является крутизна фронта, от которой зависят перегрузки по напряжению, возникающие в цепях аппаратуры. Крутизна изменяется в широких пределах (5000 – 50000 А/мкс) и имеет слабую тенденцию к возрастанию при увеличении амплитуды тока молнии.

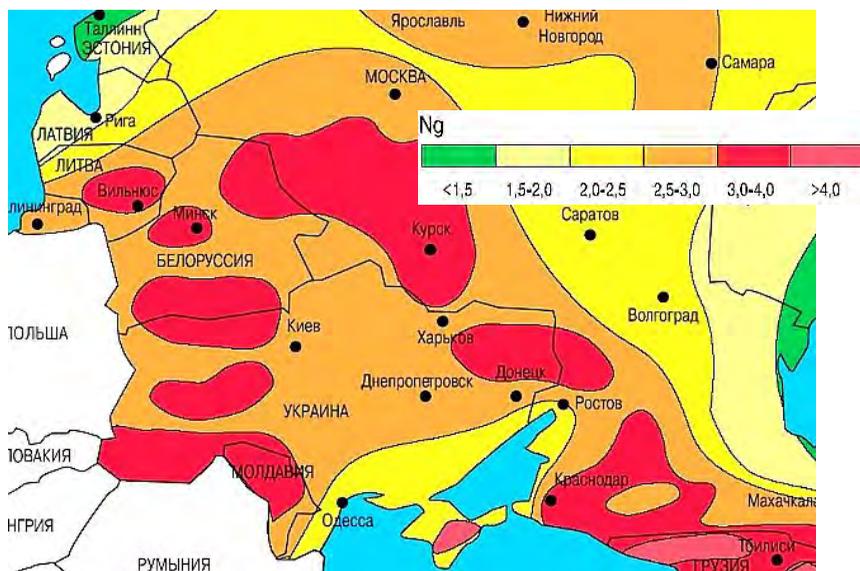


Рис. 1.3. Карта удельной плотности грозовых разрядов  $N_g$  на землю (разрядов в год на км<sup>2</sup>)

Следует отметить, что опасность представляют не только удары молнии в сооружения и поверхность земли, но и индуктивные наводки вызванные разрядами внутри облаков. Удар молнии в предмет, находящийся на расстоянии 100 м, вызывает наводку в кабеле (приблизительно) 5 кВ и ток 1,25 кА.

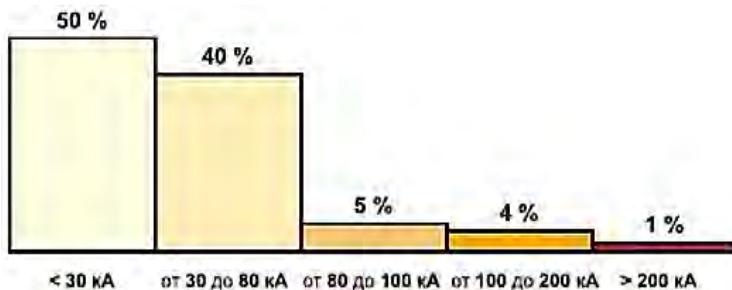


Рис. 1.4. Частота разрядов молний в зависимости от их амплитуды

Наводки, вызванные грозой, могут воздействовать на аппаратуру следующими путями:

а) Резистивные наводки: Удар молнии в землю недалеко от объекта вызывает всплеск в разности потенциалов заземления (рисунок 1.5). Ток, вызванный этой разностью потенциалов, может по любой проводящей системе (водопровод или через еще один заземляющий электрод) проникнуть в это здание. К тому же, если другие расположенные неподалеку здания соединены кабельными линиями и имеют независимое заземление, они также подвержены повреждениям.

б) Индуктивные наводки: Удар молнии в громоотвод здания вызывает большие токи разряда и сильное электромагнитное поле, воздействующее на все расположенные близко проводники (рисунок 1.6). Подобного наведенного импульса вполне достаточно чтобы повредить современное электронное оборудование.

в) Емкостные наводки: Высоковольтные линии электропередачи подвержены наибольшей опасности прямых ударов молнии. Огромные токи и напряжения гасятся защитными устройствами, но какая-то их часть все равно попадает на распределительные трансформаторы (рисунок 1.7). Так как длительность грозовых импульсов очень мала, а частота высока, эти импульсы через емкостную

связь между обмотками трансформатора попадают в сеть электропитания, повреждая чувствительное оборудование.

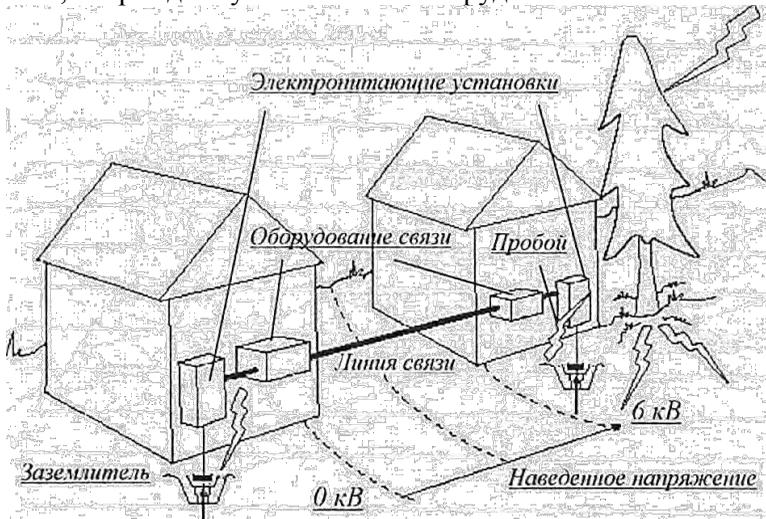


Рис. 1.5. Схема формирования резистивной наводки при ударе молнии

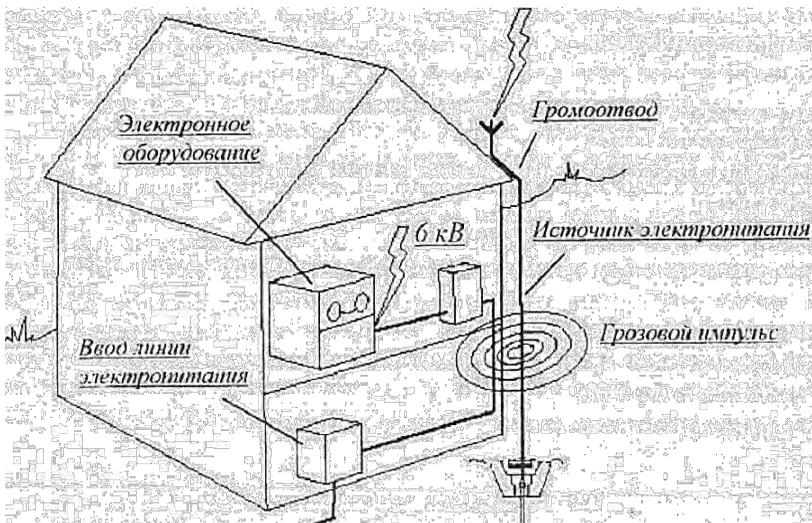


Рис. 1.6. Схема формирования резистивной наводки при ударе молнии

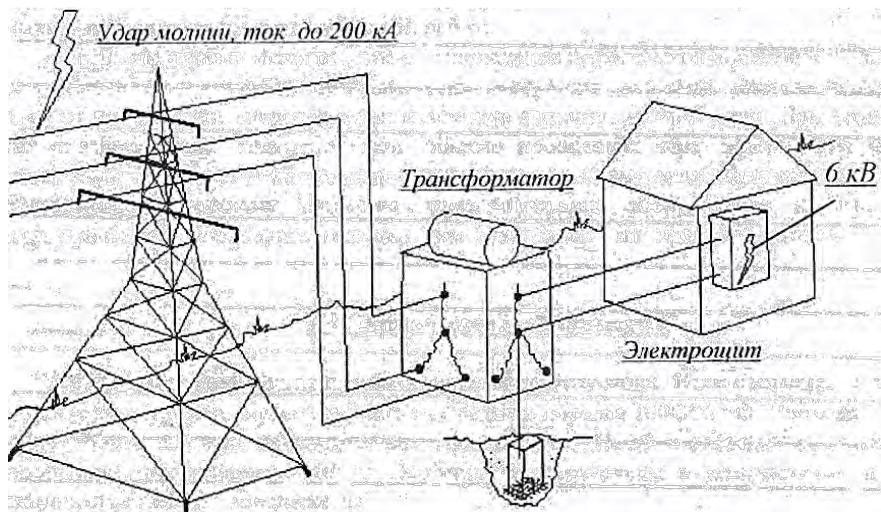


Рис. 1.7. Схема формирования резистивной наводки при ударе молнии

Величина повреждения зависит от удельного сопротивления почвы. Максимальные повреждения возникают в кабелях, проложенных в грунтах с удельным сопротивлением более 50 Ом/м. При удельном сопротивлении до 100 Ом/м происходит 40% грозовых повреждений кабеля; от 100 до 300 Ом/м - около 30%. При удельном сопротивлении свыше 1000 Ом/м повреждения возникают при разряде через расположенные вдоль трассы возвышенные предметы: деревья, мачты, столбы. Причем отмечалось много случаев попадания токов молнии в кабели через пробой по корневой системе близко расположенных деревьев. Наибольшее количество разрядов молнии происходит в такие породы дерева как ель, береза, осина. Намного реже возникают повреждения кабеля в сосновом бору.

Повреждаются, главным образом, кабели, проложенные в глинистых, песчаных, каменистых, гранитных и торфяных грунтах. Кабели с небольшим диаметром свинцовой оболочки подвергаются более тяжелым повреждениям, чем кабели с большим диаметром этой оболочки. Повреждения в кабелях от ударов молнии наблюдаются в большинстве случаев одновременно в нескольких местах по длине кабеля, на расстоянии от нескольких десятков метров до нескольких десятков километров (30-36) друг от друга, причем, чем меньше диаметр кабеля, тем большее протяжение, как правило, имеет уча-

сток повреждения. В месте удара молнии в кабель в большинстве случаев возникают следующие повреждения: вмятины и прогиб кабеля под действием внешней силы, расплавление свинца во вмятинах и разрывы ленточной брони, сгорание оплетки, сопровождающиеся выделением паров битума, расплавление жил кабеля и обугливание изоляции.

Системы защиты, включающие в свой состав молниеотводы и заземления, предназначены для защиты зданий и людей от поражения электрическим током, но не для защиты электронного оборудования и линий связи [1, 2].

Типичной ошибкой при монтаже функциональных блоков пространственно-распределенных систем и адаптеров каналов связи является их установка недалеко от опоры молниеотвода. В таком случае при прямом ударе молнии в молниеотвод все оборудование и линия связи будут полностью выведены из строя. О защите от разряда молнии можно говорить только в том случае, если расстояние от места разряда до линии связи видеоборудования составляет хотя бы сотни метров.

Практически в любых импортных и отечественных электронных блоках отсутствуют элементы способные выдержать энергию мощных импульсных помех 10 кВ индуцированных разрядами молнии по цепям сигнала и сети [3, 4].

## 1.2 Коммутационные импульсные помехи

Наряду с импульсами перегрузки, генерируемым в атмосфере, электромагнитный импульс может создаваться непосредственно в конструктивных элементах РЭА (внутренний электромагнитный импульс (ВЭМИ)). Напряженность поля в этом случае может достигать 10 – 50 кВ/м, а наведенное напряжение до 2 кВ при токе до 10 А. При коротком замыкании линии электропередачи (ЛЭП) или в контактных проводах электрифицированных железных дорог возникает опасное напряжение, представляющее периодическое колебание с частотой питающей сети (50 Гц), действует 0,15 - 1,5 с и более. В момент замыкания фазового провода высоковольтной линии на землю возникают высокочастотные составляющие напряжения. В результате в близко расположенных линиях связи может

возникнуть напряжение с пиковым значением до нескольких сотен вольт и частотой более 100 кГц. Длительно действующее напряжение в проводах кабеля может появиться вследствие электромагнитного влияния рабочих токов ЛЭП несимметричной системы (фаза - земля, две фазы - земля) и рабочих токов э.ж.д. переменного тока. Уровень опасного напряжения, возникающего на проводах кабеля связи от влияния ЛЭП и э.ж.д., зависит от расстояния между влияющей линией и кабельной линией связи, удельного сопротивления земли, длины параллельного сближения, экранирующего действия металлической оболочки кабеля и значения влияющего тока.

Основным источником возникновения коммутационных импульсных помех являются переходные процессы при следующих операциях в электросети:

- Включение и отключение потребителей электроэнергии (трансформаторы, пускатели, электродвигатели, лампы накаливания и дневного света, и др. аппаратура).

- Аварийные короткие замыкания в сетях высокого и низкого напряжения и их последующее отключение защитными устройствами.

- Источником импульсных помех является городской электрифицированный транспорт, включая метро, а также электрифицированные железные дороги.

Данный тип помех, как правило, представляет собой одиночные импульсы с амплитудой до нескольких киловольт. В соответствии с [5] считается нормой наличие в сети 220 В импульсов коммутационных помех амплитудой до 4,5 кВ длительностью до 5 мкс. Для функциональных блоков измерительных систем помехи с амплитудой свыше 1 кВ являются опасными

Например, при подаче высокого напряжения (10 кВ) на трансформаторную подстанцию (ТП) в низковольтных обмотках из-за емкостной связи возникает импульс амплитудой до 3 кВ. Причем следует отметить, что значительно чаще повреждаются импульсные блоки питания, реже – линейные (аналоговые).

### 1.3 Перенапряжения и провалы напряжения в сети питания.

Причины возникновения перенапряжений в сетях питания обусловлены, прежде всего, низким качеством электросетей и невысокой культурой энергопотребления. Поэтому отметим лишь наиболее типичные проблемы электроснабжения. Максимумы напряжения питающей сети, как правило, связаны с минимальной нагрузкой энергосистемы и наблюдаются в ночное время. Наибольшие колебания напряжения в электросети приходятся на начало и конец рабочего дня. Реально на промышленных объектах возможны периодические (день – ночь) колебания электросети 220 В от 160 В до 260 В с кратковременными повышениями до 300 В. На промышленных предприятиях в сети питания 220 В возникают перегрузки по напряжению до 500 В 2 раза в день, 300 В – 500 раз в день. Возможны также импульсы напряжений (до 5 мкс) с амплитудой более 1 кВ. Перенапряжения в электросети выводят из строя импульсные и линейные блоки питания.

Отдельно можно выделить две распространенные монтажные ошибки, приводящие к перенапряжениям:

– Перекос фаз сети электропитания из-за перегрузки одной фазы потребителями электроэнергии.

– Перегрузка нейтрали электросети из-за меньшего сечения проводника у нейтрали, чем у фазы.

Любая информационно-измерительная система в соответствии с требованиями безопасности, предъявляемыми к электромонтажу оборудования, аппаратура должна быть заземлена и должна иметь только одну точку заземления, предпочтительно на приемном конце.

Экранирование с обязательным заземлением ослабляет помеху в среднем в 100 раз. При воздействии атмосферных разрядов (при ударе молнии в землю на расстоянии 1000 м от системы) в линии связи может навестись опасное напряжение с амплитудой свыше 10 кВ. В данном случае экранирование ослабит помеху до 100 В, что может спасти аппаратуру.

Реально, особенно в многоканальных системах установщики оборудования по тем или иным причинам не выполняют или просто игнорируют правило заземления аппаратуры в одной точке. Часто

это требование нельзя выполнить по очень простой причине: входные и выходные сигнальные разъемы не изолированы от корпуса, корпус выведен на заземляющий контакт питающей вилки, который в свою очередь соединен с клеммой зануления сети 220 В, т. е. в качестве земляной шины используется ноль электрической сети. В системе образуются несколько точек зануления и, соответственно, присутствие "блуждающих токов заземления", что приводит к разнице потенциалов между двумя любыми точками зануления (рисунок 1.8). Для удаленных объектов и, соответственно, для протяженных линий связи при грозовых разрядах разница потенциалов может достигать десятки киловольт за счет протекания через образованные паразитные контуры.



Рис. 1.8. Образование паразитного контура при нескольких точках "зануления"

Цепи стекания заряда должны быть обязательно заземлены (а не занулены), иначе эффективной грозозащиты не будет.

Определить наличие паразитных контуров заземления можно, измерив вольтметром напряжение между корпусом приемного оборудования и не подсоединенным кабельным разъемом линии связи. Наличие напряжения переменного тока говорит о том, что при подсоединении кабеля к приемной аппаратуре возникнет паразитный контур заземления, который, скорее всего, приведёт к неисправностям системы. Устранение данной ситуации возможно при грамотном монтаже системы, а именно обязательном заземлении всей системы в одной точке, лучше на приемной стороне. Если, по каким-либо причинам, это невозможно, то необходимо принимать специальные меры для защиты оборудования. Самым эффективным решением в данном случае является гальваническая развязка переда-

ющего и приемного оборудования (изолирующие трансформаторы, оптоэлектронные приборы, применение в качестве линий связи волоконно-оптических кабелей и т.п.). Приборы гальванической развязки включаются в разрыв кабельной линии связи и тем самым разрывают паразитный контур заземления.

При правильно выполненной схеме построения системы при воздействии электромагнитных импульсов высоких энергий на проводные трассы (грозовые явления, коммутационные искрения силовоточной аппаратуры и т.п.) не происходит выхода аппаратуры из строя в связи с тем, что потенциал земли во всей системе поднимается одновременно на время стекания наведенного заряда.

#### **1.4. Перегрузки по напряжению за счет переходных процессов и статического электричества**

В результате переходных процессов, происходящих непосредственно в цепях РЭА, даже при нормальном функционировании аппаратуры, могут возникнуть перегрузки по напряжению. Броски напряжений, например, могут быть вызваны различного рода коммутациями токовых цепей с индуктивной нагрузкой (электромагнитные реле, муфты, двигатели). Этот вид переходных процессов с относительно высокими пиковыми величинами перегрузок по напряжению характерен также для большинства выпрямительных и преобразовательных схем.

На промышленных предприятиях в сети питания 220 В возникают перегрузки по напряжению до 500 В 2 раза в день, 300 В – 500 раз в день. Возможны также импульсы напряжений с амплитудой более 1 кВ.

Перегрузки по напряжению от воздействия статического электричества могут быть обусловлены влиянием на схему постоянного или медленно изменяющегося электрического поля, вызывающего неравномерное перераспределение зарядов в цепи, что, в свою очередь, способствует образованию различного рода разрядов на нейтральные цепи, или передачей заряда путем непосредственного контакта с объектом накапливающим электрический заряд, например телом человека. Электростатические разряды могут образовывать перегрузки по напряжению более 10 кВ, что соответствует

пробивному зазору по сухому воздуху около 1 см. Статический заряд, генерируемый человеческим телом, в среднем эквивалентен заряду конденсатора емкостью 150 пф, заряженному до 6 кВ при сопротивлении 20 кОм. Энергия разряда может достигать 2,7 мДж при максимальном токе разряда до 0,3 А. Этой энергии достаточно для вывода из строя многих полупроводниковых элементов аппаратуры.

Диапазон изменения амплитудно-временных характеристик электрических сигналов перегрузки очень широкий: амплитуда импульсов тока от 0,05 А до 200 кА при длительности фронта (на уровне 0,1...0,9) от  $20 \cdot 10^{-9}$  до  $10^{-4}$  и длительности импульса (на уровне 0,5) от  $5 \cdot 10^{-8}$  до 10 с. Поэтому защита цепей аппаратуры от перегрузок по напряжению с указанными параметрами представляет сложную техническую задачу. Для надежной защиты недостаточно применения какого-либо одного элемента защиты или технического решения, необходимо использование комплекса мер.

## 2 ВЛИЯНИЕ ПЕРЕГРУЗОК ПО НАПРЯЖЕНИЮ НА ЭЛЕМЕНТЫ АППАРАТУРЫ

### 2.1 Влияние электромагнитных импульсов на элементы РЭА

При воздействии электромагнитных импульсов (ЭМИ) искусственного и естественного происхождения могут возникать повреждения в аппаратуре, которые связаны главным образом с электрическими пробоями элементов, перегоранием цепей и контуров. Обратимые изменения (кратковременные отказы и сбои) связаны с появлением ложных сигналов, подавлением полезных сигналов, искажением информации. Наиболее чувствительными к воздействию импульсных напряжений и токов, наведенных ЭМИ на проводах и кабелях, являются подключенные к ним входные и выходные устройства (таблица 2.1), в первую очередь выполненные на интегральных микросхемах (ИМС) и дискретных полупроводниковых приборах (ПП). Минимальные значения энергии, вызывающие функциональные повреждения некоторых элементов аппаратуры составляют величину около  $10^{-6}$  Дж.

Таблица 2.1. – Минимальные значения энергии повреждения различных групп элементов

Группы элементов	Минимальная энергия, Дж
Низкочастотные транзисторы	$10^{-2}$
Переключающие и высокочастотные транзисторы	$10^{-4}$
Интегральные аналоговые микросхемы	$10^{-4}$
Интегральные цифровые микросхемы	$10^{-5}$
Высокочастотные диоды	$10^{-7}$
Низковольтные стабилитроны	$10^{-3}$
Реле	$10^{-3}$
Резисторы (0,25 Вт, углеродные)	$10^{-2}$

Примечание. Энергия, необходимая для повреждения элементов, определялась при действии прямоугольного импульса длительностью 1 мкс.

Относительно небольшая энергия повреждения интегральных микросхем и полупроводниковых приборов обусловлена малыми размерами полупроводниковых структур, а также особыми свойствами структур ИС. Повреждения полупроводниковых приборов могут быть вызваны различными механизмами:

- вторичным тепловым пробоем
- электрическим пробоем диэлектрика
- дуговым разрядом между электродами или слоями металлизации внутри корпуса.

При анализе отказов эксплуатируемых информационно-измерительных систем, как правило, являются:

- отсутствие каких-либо специальных средств защиты от импульсных помех, грозовых разрядов и перенапряжений по цепям питания;

- отсутствие специальной аппаратуры защиты от грозовых разрядов по цепям передачи сигналов телеметрии;

- недостаточное экранирование линий передачи сигналов телеметрии и питания (экран коаксиального кабеля не является серьезным препятствием для повреждения аппаратуры грозовыми разрядами);

- конструктивные недостатки систем, приводящие к возникновению "блуждающих" токов заземления;

- не квалифицированный монтаж оборудования (монтаж рядом с молниеотводами и прокладка длинных сигнальных цепей параллельно высоковольтным линиям, отсутствие защитных средств, и т. д.).

## **2.2 Перегрузки при подключении функциональных блоков системы**

Перегрузки цепей информационных систем возникают не только в результате воздействия помех, но и в процессе неправильной коммутации аппаратуры при монтаже систем. Специфическими

проблемами являются ситуации коммутации блоков, когда хотя бы один из них имеет импульсный источник питания (ПК всегда имеет импульсный источник питания).

### 2.2.1 Проблемы заземления и питания ПК

Проблемы передачи информации часто связаны не только непосредственно с интерфейсными схемами, но и с "второстепенными" факторами. Например, характерная проблема возникает при монтаже оборудования или замене компонентов системы. Наиболее универсальным устройством подготовки и обработки информации, управления системами связи является персональный компьютер (ПК).

Импульсный блок питания компьютера или иного устройства имеет встроенный сетевой фильтр. Конденсаторы этого фильтра предназначены для шунтирования высокочастотных помех питающей сети на землю через провод защитного заземления и соответствующую трехполюсную вилку и розетку. "Земляной" провод предполагается соединять с контуром заземления, но допустимо его соединять и с "нулем" силовой сети (с точки зрения уровня помех это хуже, но практически разница ощущается только в особо тяжелых условиях эксплуатации). При занулении необходимо быть уверенным в том, что этот нуль не станет фазой, если кто-либо изменит монтаж цепей питания. Если же "земляной" провод компьютера (или любого другого устройства с трехполюсной вилкой) никуда не подключать, то на корпусе устройства появится напряжение порядка 110 вольт переменного тока [7]. Его происхождение понятно из рисунка 2.1: конденсаторы фильтра работают как емкостной делитель напряжения (типичное значение  $C=0,01$  мкФ), и поскольку их емкость одинакова, 220 В сети делится пополам.

Чем мощнее блок питания, тем больше емкость конденсаторов фильтра и ток

$$I_{КЗ} = U_{ПИТ} \cdot 2\pi FC$$

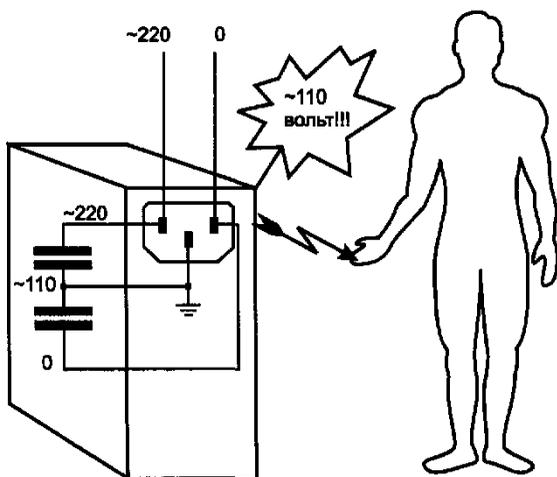


Рис. 2.1. Образование потенциала на корпусе компьютера

Это напряжение и ток опасны для человека, а попасть под него можно, прикоснувшись одновременно к металлическим частям корпуса компьютера и, например, к батарее отопления, заземленной приборной стойке, заземленному прибору. Во-вторых, это напряжение является одним из источников разности потенциалов между устройствами, от которой страдают интерфейсные схемы.

При соединении двух устройств (например, компьютера и периферийного устройства) интерфейсным кабелем общий провод интерфейсов последовательных (параллельных) портов связан со "схемной землей" и корпусом устройства. Если соединяемые устройства надежно заземлены (занулены) через отдельный провод на общий контур (рисунок 2.2), то проблемы разности потенциалов не возникает.

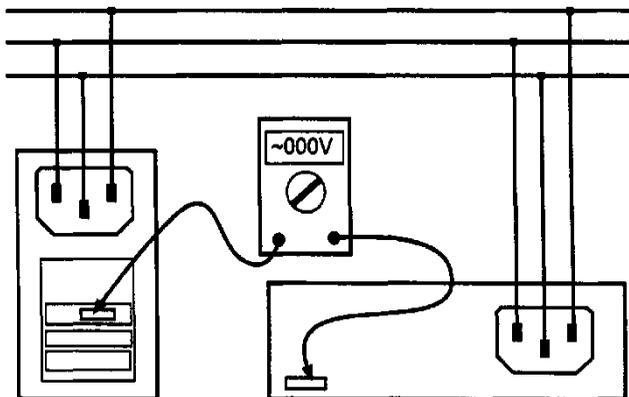


Рис. 2.2. Правильное подключение периферийного устройства

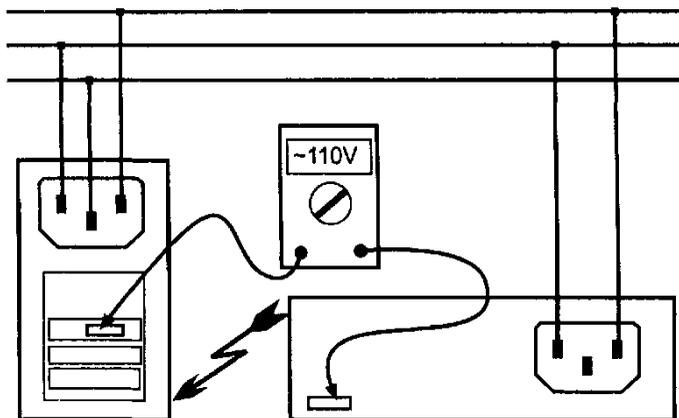


Рис. 2.3. Подключение незаземленного устройства.

Если в качестве заземляющего провода использовать нулевой провод питания при разводке питающей сети с трехполюсными розетками двухпроводным кабелем (применяют как по незнанию, так и в целях экономии), то на нем будет возникать разность потенциалов, вызванная падением напряжения от протекающего силового тока  $I_{NUL}$  по "нулевому" проводу.

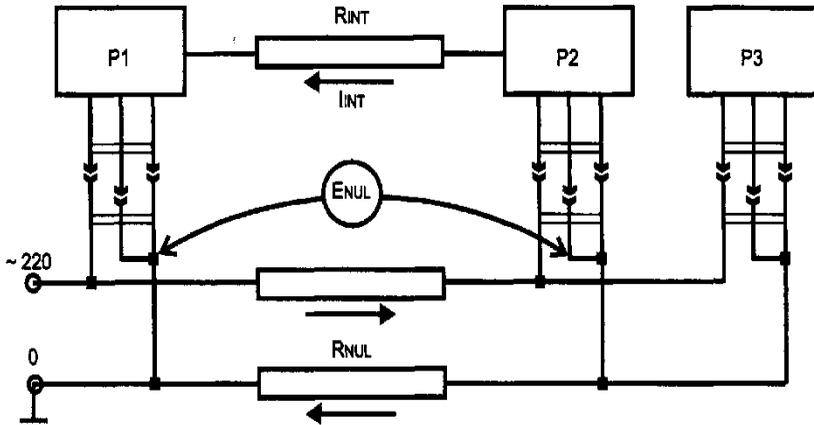


Рис. 2.4. Появление разности потенциалов при двухпроводном кабеле питания

Если в эти же розетки подключены и приборы с большим энергопотреблением (лазерные принтеры, мощные копировальные аппараты), то разность потенциалов (и импульсные помехи при включении-выключении питания) будет ощутимой. При этом эквивалентный источник напряжения при относительно невысокой Э.Д.С.  $E_{NUL}$  (единицы вольт) будет иметь очень низкое выходное сопротивление, равное сопротивлению участка нулевого провода (доли Ом). Уравновешивающий ток через общий провод интерфейса

$$I_{INT} = \frac{E_{NUL}}{R_{NUL} + R_{INT}}$$

где  $E_{NUL} = I_{NUL} \cdot R_{NUL}$ ;  $I_{NUL} = \frac{P}{U_{ПИТ}}$ ;  $R_{NUL}$  – сопротивление ну-

левого провода (и соединительных контактов розеток),  $R_{INT}$  – сопротивление общего провода интерфейса,  $P$  – мощность, потребляемая устройствами, расположенными на рисунке 2.4 справа ( $P=P_2+P_3$ ). Поскольку сопротивление интерфейсного кабеля выше, чем питающего, через общий провод интерфейса потечет ток, меньший, чем силовой. Но при нарушении контакта в нулевом проводе питания через интерфейсный провод может протекать и весь ток, потребляемый устройством. Он может достигать единиц ампер.

Невыровненные потенциалы корпусов устройств являются и источником помех в интерфейсах. Если оба соединяемых устройства не заземлены, то в случае их питания от одной фазы сети разность потенциалов между ними будет относительно небольшой (вызванной только разбросом емкостей конденсаторов в разных фильтрах). Уравнивающий ток через общий провод интерфейса будет совсем малым, и, следовательно, разность потенциалов между схемными землями устройств (падение напряжения на этом проводе) будет тоже малой. Но если незаземленные устройства подключены к разным фазам, то эта разность потенциалов между их несоединенными корпусами будет близка к  $U_{\text{пит}}$ , порядка 190 В, при этом уравнивающий ток через интерфейс может достигать десятков миллиампер. Когда все соединения (и разъединения) выполняются при отключенном питании, для интерфейсных схем такая ситуация почти безопасна. Но при коммутациях при включенном питании возможны крупные неприятности: если контакты общего провода интерфейса соединяются позже (или разъединяются раньше) сигнальных, то разность потенциалов между схемными землями (корпусами устройств) прикладывается к сигнальным цепям, и они, как правило, пробиваются. Самый тяжелый случай для интерфейсных схем — соединение заземленного устройства с незаземленным, особенно когда последнее характеризуется большой потребляемой мощностью. Бывали случаи когда после подобного подключения "в живых" у компьютера оставались только видеокарта и блок питания ("виновник торжества" — незаземленное устройство с большим энергопотреблением обычно выживает). Для устройств, блоки питания которых имеют шнуры с двухполюсной вилкой, эти проблемы тоже актуальны. Такие блоки питания обычно тоже имеют сетевой фильтр, но, как правило, с конденсаторами малой емкости. В этом отношении весьма коварны, сетевые шнуры устройств с двухполюсной вилкой, которыми подключаются блоки питания с трехполюсным разъемом.

## 2.3 Основные причины выхода из строя оборудования во время грозы

### 1 Образование статического электричества на кабелях и аппаратуре в результате влияния неподвижных зарядов, накопленных в грозовом облаке.

Наиболее подвержены влиянию статических зарядов воздушные линии. Причем значительный заряд может также накапливаться в сухую погоду зимой во время снегопада и летом во время так называемых "песчаных метелей". Основным методом защиты – обеспечение отвода статического электричества с помощью заземления экрана и (или) проводящей траверсы и установки на обоих концах кабеля разрядников. Здесь на первое место выходит правильность выполнения заземления и надежность разрядников, к которым предъявляются высокие требования по отводу значительного тока.

### 2 Наведение в кабельной системе импульсов высокого напряжения, которые возникают в результате воздействия мощного электромагнитного поля, порождаемого грозовыми разрядами.

Если применяемая линия связи не экранирована, в результате воздействия мощной электромагнитной волны на каждом шаге скрутки наводится небольшое напряжение, в пределах нескольких милливольт. Если линия связи на основе витой пары изготовлена идеально и площадь контуров одинакова, суммарная наведенная ЭДС близка к нулю. Реально же шаг скрутки далеко не одинаков, поэтому полной взаимной компенсации элементарных ЭДС не происходит, и чем длиннее кабель, тем выше может быть напряжение между проводниками одной пары в результате электромагнитного импульса, создаваемого молнией. Это напряжение может достигать нескольких сотен вольт.

Основной метод защиты – экранирование, установка на концах кабеля устройств защиты, выравнивающих потенциалы, при которых максимальное напряжение между любыми двумя проводами в кабеле не превышает 7... 10 В. Потенциал, превышающий сотни вольт относительно земли, снижает разрядник.

### **3 Броски напряжения питающей сети.**

Это довольно часто встречающаяся причина выхода из строя оборудования "целиком". В сети 220 В нередко происходят броски напряжения до нескольких тысяч вольт. Причины тому – срабатывание предохранителей на подстанции, разряд молнии, помеха от других мощных потребителей энергии.

Традиционные методы защиты – повышение надежности штатных источников питания, применение источников бесперебойного питания и устройств защиты от повышения напряжения в сети.

### **4 Изменение потенциала заземляющих устройств.**

Оно возникает при близком разряде молнии в поверхность земли. Основная причина выхода из строя аппаратуры – большая разность потенциалов на заземляющих шинах оборудования, установленного на значительном расстоянии друг от друга. В этом случае по кабельным линиям и цепям входов/выходов протекает очень большой уравнивающий ток, который разрушает электронное или электрическое оборудование. Минимизировать потери в этом случае можно, строго соблюдая правила монтажа заземляющих устройств.

### 3 ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ЗАЩИТЫ.

Непременным требованием к элементам грозозащиты оборудования является отсутствие влияния на качество сигнала, передаваемого по защищаемой линии, и срабатывание защиты при напряжении ниже того, которое может быть выдержано оборудованием, включенным в линию после устройства защиты.

Защита цепей распределенных систем, в частности СОР, от электрических перегрузок производится следующими способами:

- шунтирование входных цепей РЭА (параллельная защита) осуществляется ограничителями напряжения с Г-образными ВАХ (стабилитроны, диоды Шоттки, варисторы ...); разновидность способа – глубокое шунтирование с использованием газовых разрядников, но они имеют относительно высокое напряжение срабатывания
- отключение защищаемых цепей от источника электрических перегрузок (последовательная защита) осуществляется элементами защиты с  $\Lambda$ -образными ВАХ, плавкими или биметаллическими размыкателями, сгораемыми резисторами. Недостатками плавких размыкателей являются низкое быстродействие и одноразовость. Увеличение числа защитных операций достигается путем объединения плавких перемычек в матрицы с автоматическим замещением израсходованных элементов
- совместное применение параллельной и последовательной защиты (комбинированная защита)

Эквивалентная схема защищаемого блока РЭА  $Z_H$  и линии связи при воздействии импульса перегрузки  $E$  приведена на рисунке 3.1.

Для внутриблочных соединений типичные значения параметров эквивалентной схемы (рисунок 3.1):

$$R = 0,1 \text{ Ом}$$

$$L = 10^{-5} \text{ Гн}$$

$$C = 10^3 \text{ пФ}$$

При этом включение источника импульса перегрузки, например, при подключении схемы к источнику питания постоянного тока, приведет к появлению в системе затухающих гармонических колебаний с круговой частотой

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \approx 10^7 \text{ рад/с}$$

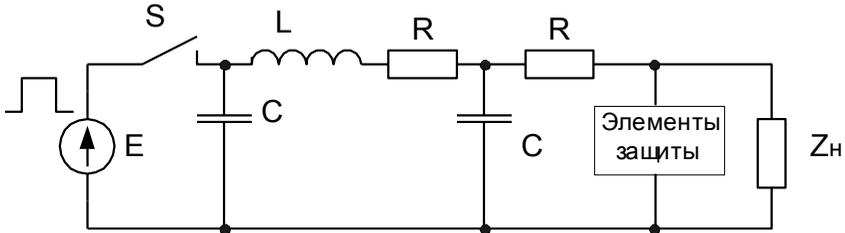


Рис. 3.1. Эквивалентная схема цепи защиты

Напряжение на емкости достигнет своего максимального значения при достижении фазы процесса величины  $\omega t = \pi$  и через время  $T/2$  практически удвоится:  $U_C \approx 2E_0$ . Энергия перегрузки, накопленная на конденсаторе =  $C \cdot \Delta U^2 / 2$

Уровень защитного напряжения  $U_p$  – напряжение, сохраняющееся на устройстве защиты от перенапряжений во время замыкания импульса тока перегрузки на землю. Величина  $U_p$  не должна превышать напряжения, которое может быть выдержано оборудованием, включенным в линию после устройства защиты (рисунок 3.2).

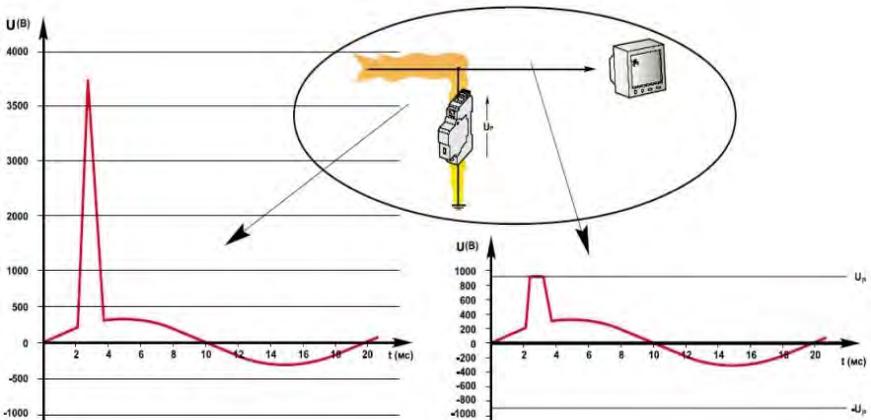


Рис. 3.2. Уровень защитного напряжения

### 3.1. Сравнительная оценка ограничителей напряжения.

Основным назначением ограничителей напряжения (ОН) является защита цепей аппаратуры и ее элементов от воздействия различного рода перегрузок по напряжению. В качестве специализированных ограничителей напряжения [6] используются:

- разрядники (газоразрядные),
- варисторы (нелинейные резисторы)
- полупроводниковые ограничители.

Кроме специализированных ограничителей напряжения в качестве элементов защиты могут быть использованы полупроводниковые приборы общего применения: импульсные диоды, диоды с барьером Шоттки,  $p-i-n$  диоды, импульсные стабилитроны, высоковольтные выпрямительные столбы, диоды с низкоомной базой, диоды на основе арсенида галлия и др. Полупроводниковые элементы защиты, а также варисторы и разрядники благодаря особенностям вольт-амперной характеристики (ВАХ), ее большой нелинейности, при отсутствии импульса напряжения практически не потребляют энергии в цепи. Их сопротивление очень велико (0,1 – 100 МОм) и, следовательно, практически не рассеивают дополнительной мощности. При возникновении импульса напряжения с амплитудой, превышающей пороговое значение для данного элемента защиты, его сопротивление резко уменьшается (0,01 – 10 Ом). В результате импульсное напряжение на защищаемой цепи ограничивается до заданного уровня. При этом ток протекает в основном через элемент защиты, минуя нагрузку, и достигает в ряде случаев сотни ампер. Однако средняя рассеиваемая мощность, выделяемая в ограничителе, невелика, так как длительность импульсов напряжения, возникающих в цепях при действии – искусственного и естественного происхождения, обычно не превышает десятков микросекунд. Поэтому элементы защиты, обладая большой импульсной рассеиваемой мощностью, могут иметь малые габариты и массу. Для защиты цепей РЭА от различного рода перегрузок по напряжению используют газоразрядные и полупроводниковые ограничители. К газоразрядным ограничителям относятся разрядники, к полупроводниковым – полупроводниковые ограничители напряжения, металлооксидные варисторы и полупроводниковые приборы обще-

го применения. Газоразрядные ограничители имеют весьма высокие рабочие напряжения, большое значение допустимого тока и малые межэлектродные емкости, что позволяет использовать их для защиты цепей аппаратуры от ЭМИ искусственного и естественного происхождения, когда энергия, выделяемая в ограничителе, достаточно велика. Но применение только одних разрядников из-за значительного времени их срабатывания и высоких значений напряжений пробоя не решает проблемы защиты многих полупроводниковых приборов и микросхем, поскольку для них недопустимы начальные выбросы напряжений, пропускаемые разрядником.

**Разрядники** – безнакальные двух- или трехэлектродные газоразрядные приборы, способные под воздействием приложенного напряжения, с величиной более определенного значения, резко изменять свою проводимость и пропускать большие токи. По сравнению с другими приборами аналогичного назначения (полупроводниковыми ограничителями напряжения, варисторами) они имеют ряд преимуществ: высокий КПД при больших уровнях коммутируемых энергий; высокие рабочие напряжения и токи коммутации при малых габаритных размерах и массе прибора; способность работать в широком интервале изменения температуры окружающей среды; устойчивость к значительным токовым перегрузкам; простота конструкции и технологии производства.

В зависимости от назначения, условий работы и конструкции разрядника в нем могут использоваться свойства импульсного искрового разряда, дугового разряда и реже тлеющего разряда.

Разрядник представляет собой систему из двух или трех электродов, помещенных в герметизированную оболочку (баллон), которая заполняется либо чистым инертным газом, либо смесями инертных газов, либо водородом, кислородом в смеси с водяными парами, углекислым газом. Давление газа в искровом разряднике составляет от нескольких десятков до нескольких тысяч мм рт. ст. В разряднике наиболее часто используются активированные электроды: оксидированный или торированный вольфрам; никель, покрытый калием или барием; сплавы вольфрама, никеля и окиси бария. Применяются также чистые металлы: вольфрам, нержавеющая сталь, молибден, алюминий.

Наиболее широко в разрядниках применяется искровой разряд, характеризующийся низким падением напряжения в разрядном

промежутке и большими токами. В низковольтных разрядниках (до 500 В), предназначенных для коммутации токов в несколько ампер, при приложении напряжения свыше напряжения пробоя возникает сначала тлеющий разряд, который при дальнейшем повышении напряжения быстро переходит в дуговой. В высоковольтных разрядниках, предназначенных для коммутации токов в несколько сотен ампер, возникает импульсный искровой разряд. Искровой разряд возникает при большой разнице потенциалов на электродах и при больших давлениях газа в баллоне разрядника. В искровом канале возникают высокие температуры (более 10 000 К) и большие токи, достигающие тысяч ампер. Если мощность источника питания и время прохождения тока недостаточны для возникновения и поддержания стационарного дугового разряда, то искра является и конечной стадией развития разряда при переходе из несамостоятельного в самостоятельный. Если на электроды двухэлектродного неуправляемого разрядника подать напряжение, достаточное для его пробоя, т.е. создать в межэлектродном промежутке такую напряженность электрического поля, которая обеспечит условие перехода разряда из несамостоятельной формы в самостоятельную, разрядник пробьется. Сопротивление межэлектродного промежутка при этом изменится практически до десятых или сотых долей ома. В момент пробоя напряжение на нем резко падает, а через разрядник протекает ток короткого замыкания, величина и форма которого зависят от величины и характера нагрузки. Ток в межэлектродном промежутке будет проходить через высокоионизированный канал разряда до тех пор, пока энергия, поступающая от источника питания в канал разряда в единицу времени, не станет меньше мощности потерь разряда. Как только это происходит, разряд прекращается. Наступает деионизация межэлектродного промежутка, и разрядник возвращается в первоначальное состояние.

Величина пропускаемого выброса напряжения у газовых разрядников в значительной степени зависит от скорости нарастания фронта воздействующего импульса. При больших скоростях нарастания фронта импульса (ЭМИ искусственного происхождения) величина выброса напряжения может возрасти в 5 – 6 раз по сравнению со статическим напряжением возникновения разряда. Этот недостаток разрядников в меньшей степени проявляется у варисторов и практически отсутствует у полупроводниковых ограничителей

напряжения. При применении полупроводниковых ограничителей защищаемые ими цепи не шунтируются после прохождения импульса тока переходного процесса, как это имеет место у разрядников. Наличие низкого напряжения поддержания разряда у разрядников ограничивает их применение для защиты цепей постоянного тока, в которых напряжение источника питания или сигнала выше напряжения поддержания разряда.

**Полупроводниковые ограничители и варисторы** имеют диапазон напряжений 0,7...2000 В (до 6 кВ), что позволяет использовать их для защиты различных по назначению радиотехнических цепей, в состав которых входят чувствительные к переходным процессам полупроводниковые приборы и интегральные микросхемы. Эффективность ограничения переходных процессов с помощью полупроводниковых ограничителей и варисторов определяется их динамическим сопротивлением на рабочем участке вольт - амперной характеристики.

Относительно низкие значения рабочего напряжения полупроводниковых ограничителей напряжения и варисторов по сравнению с напряжением пробоя разрядников существенно снижают значения импульсной коммутируемой мощности. Этот недостаток полупроводниковых ограничителей напряжения и варисторов может быть в ряде случаев устранен путем последовательного и параллельного их соединения. Другим недостатком полупроводниковых элементов защиты и варисторов является большая межэлектродная емкость (от 100 до 20000 пФ), что ограничивает их применение в цепях высокой частоты. Полупроводниковые ограничители напряжения и варисторы на высоких частотах шунтируют входное (выходное) сопротивление усилителя, увеличивают коэффициент отражения и искажают амплитудно- частотную характеристику (АЧХ) усилителя. Импульсные диоды Шоттки имеют очень малые значения времени переключения ( $\approx 100$  пс) и емкости (3 пФ), что позволяет эффективно ограничивать импульсные помехи с временем нарастания до 1 нс. Собственное внутреннее сопротивление импульсных диодов Шоттки находится в диапазоне (0,6 – 3 Ом). Недостатком разрядников является большое время срабатывания (больше 0,15 мкс), что ограничивает их применение для защиты многих полупроводниковых приборов и интегральных микросхем. Полупроводниковые ограничители напряжения и варисторы по сравнению с разрядниками

имеют значительно меньшее время срабатывания (рисунок 3.3), но меньшие предельно допустимые напряжения.



Рис. 3.3. Вольт- временные характеристики ограничителей напряжения

Существующие ограничители напряжения в отдельности не позволяют надежно защищать цепи, в состав которых входят полупроводниковые приборы и интегральные микросхемы, от ЭМИ искусственного и естественного происхождения. Выходом из этого положения является комбинированное использование ограничителей напряжения, т.е. сочетание полупроводниковых ограничителей напряжения с разрядниками.

### 3.2 Области применения ограничителей напряжения

Сравнительный анализ ограничителей напряжения на различных физических принципах действия [6] позволяет определить их основные области применения:

- полупроводниковые ограничители напряжения – защита интегральных микросхем от внутренних перегрузок по напряжению и статического электричества (полупроводниковые ограничители напряжения с импульсной мощностью 0,6 кВт); защита

низковольтных цепей (до 700 В) постоянного и переменного тока с частотой до 1 МГц от внутренних перегрузок по напряжению и статического электричества (полупроводниковые ограничители напряжения с импульсной мощностью 1,5 и 5 кВт, импульсные стабилитроны, диоды с барьером Шоттки); защита силовых кабелей от ЭМИ естественного и искусственного происхождения (полупроводниковые ограничители напряжения с импульсной мощностью 15 и 60 кВт);

- варисторы – защита силовых кабелей и информационных цепей с частотой до 1 МГц от воздействия ЭМИ естественного и искусственного происхождения;
- разрядники – защита цепей аппаратуры (антенн, высокочастотных линий связи, входных и выходных ВЧ цепей передающих устройств РЛС, вторичных источников питания и преобразователей с напряжением свыше 2000 В), где отсутствуют полупроводниковые приборы и интегральные микросхемы, от ЭМИ естественного и искусственного происхождения и внутренних перегрузок по напряжению);
- разрядники в сочетании с полупроводниковыми ограничителями напряжения с малой межэлектродной емкостью – защита антенно- фидерных устройств, входных и выходных высокочастотных цепей приемных и передающих устройств, кабельных линий связи с дистанционным источником питания, высокочастотных кабельных линий связи от ЭМИ естественного и искусственного происхождения и внутренних перегрузок по напряжению);
- разрядники в сочетании с импульсными малоемкостными полупроводниковыми диодами – защита высокочастотных цепей от ЭМИ естественного и искусственного происхождения и внутренних перегрузок по напряжению.

### 3.3. Элементы защиты по току

а) Простейший вариант защиты по току это резистор. Он не обеспечивает полного отсоединения потребителя. Броски тока, вызванные импульсами напряжения, приводят к падению напряжения

на резисторе, что уменьшает их вредное воздействие. Чаще всего они используются в комбинации с другими элементами защиты. Защитное действие резисторов в таких схемах зависит от того насколько велико их значение. Чаще всего схема чувствительна к вносимому сопротивлению, поэтому резисторы в качестве защитных элементов используются редко. В подобных ситуациях рекомендуется использовать индуктивности.

б) Плавкие вставки самый распространенный токоограничивающий элемент. Они устанавливаются последовательно в цепи перед нагрузкой. Нагреваемый элемент в плавких вставках имеет определенное сопротивление, поэтому при повышении тока он нагревается, и, в зависимости от его теплоемкости, излучающей способности и возможности рассеивания тепла, при пороговом значении тока перегорает. Таким образом, нагрузка цепи отключается от линии. Недостатком плавкой вставки является невозможность его повторного использования.

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

г) Наиболее перспективным элементом токовой защиты являются позисторы (резистор с положительным термокоэффициентом). Они освобождают операторов от многих проблем связанных с заменой сгоревших предохранителей. При превышении током через позистор некоторого порогового значения, позисторы переходят из низкоомного состояния в высокоомное. Таким образом, они ограничивают протекающий через них ток. После прекращения воздействия позистор остывает и автоматически восстанавливает малое внутреннее сопротивление.

### 3.4 Схемы защиты узлов РЭА

В качестве универсальных элементов защиты широко используются варисторы, характеризующиеся высокой нелинейностью и симметричностью ВАХ, хорошей перегрузочной способностью.

Надежность полупроводниковых приборов гарантируется изготовителем только в интервале допустимых выпрямленных токов и обратных напряжений. В схемах с индуктивностями, например узлов исполнительных устройств, напряжение самоиндукции в сумме с напряжением питания может превысить предельно допустимое для транзистора значение и вызвать пробой транзистора, поэтому импульс первичного напряжения необходимо ограничить безопасным уровнем. Поэтому в схемах с индуктивными элементами, в которых возможно возникновение периодических или аварийных перегрузок по напряжению, целесообразно параллельно полупроводниковому прибору включить варистор, который будет ограничивать возникающие перегрузки по напряжению (рисунок 3.4).

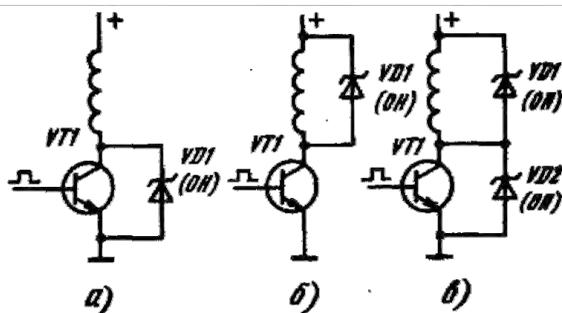


Рис. 3.4. Защита цепей с индуктивной нагрузкой (наивысшая надежность защиты у схемы в)

Один из вариантов включения варистора показан на рисунке 3.5. Принцип использования нелинейных свойств варистора, включенного параллельно участку коллектор – база транзистора, заключается не в поглощении избыточной энергии катушки индуктивности, как это имеет место в схемах, где варистор включен параллельно первичной обмотке катушки трансформатора или параллельно участку коллектор – эмиттер транзистора, а во введении отрицательной обратной связи. Когда транзистор открыт, напряжение  $U_{К-Б}$  мало – варистор шунтирован. После размыкания контактов на первичной обмотке катушки возникает импульс напряжения. При некотором значении этого напряжения ток варистора резко увеличивается; одновременно возрастает ток базы и транзистор открывает-

ся. Через открытый транзистор происходит разряд накопленной в индуктивности избыточной энергии и таким образом напряжение на участке эмиттер – коллектор ограничивается заданным значением.

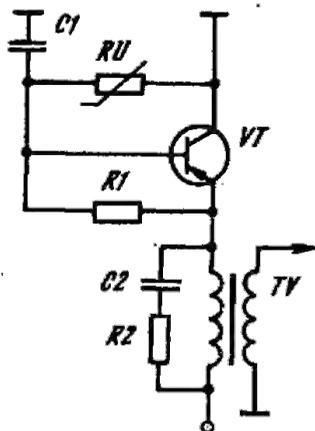


Рис. 3.5. Защита цепей с индуктивной нагрузкой с включением варистора в цепь обратной связи

Наряду с защитой от перегрузок по напряжению часто бывает необходимо защитить транзистор от импульсной перегрузки по току. На рисунке 3.6 приведена схема, обеспечивающая такую защиту. При увеличении тока в цепи коллектора увеличивается падение напряжения на резисторе  $R_1$  ( $\approx 0,1$  Ом). При этом происходит отпирание тиристора, который шунтирует, транзистор. Варистор обеспечивает отпирание тиристора при чрезмерном возрастании напряжения.

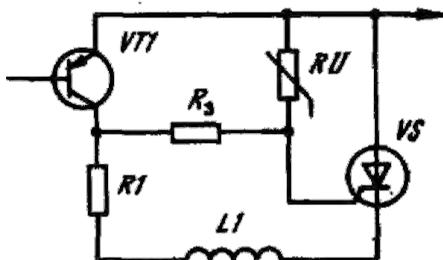


Рис. 3.6. Защита транзистора от импульсной перегрузки по току

При эксплуатации тиристоров в тяжелых режимах (индуктивно-емкостные нагрузки и др.), когда в схеме возможно возникновение напряжения, приложенного к прибору в обратном направлении и превышающего предельно допустимое значение, параллельно с тиристором можно включить варистор. Из-за нелинейности ВАХ варисторов напряжение на варисторе мало изменяется при значительном изменении протекающего тока.

Для защиты цепей постоянного тока используются полупроводниковые ограничители с несимметричными ВАХ.

**Защита информационных цепей.** Специфическим требованием к элементам защиты линий связи является минимальное значение емкости, вносимое ограничителем напряжения. Для уменьшения емкости ограничителей напряжения (стабилитронов) последовательно с ними включают малоемкостные импульсные диоды (Шоттки), например, как в схеме на рисунке 3.7.

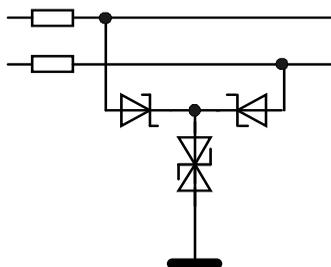


Рис. 3.7. Защита линии связи от ЭМИ диодным ограничителем

Для исключения отказа интегральных схем (ИС) при появлении электрических перенапряжений на линиях передачи входные каскады обеспечиваются специальными средствами защиты. Ограничение отрицательных входных напряжений производится антизвонными диодами ( $VD1$ ), обычно диодами Шоттки (рисунок 3.8). Включением диодов ( $VD2$ ) между входами и выводом напряжения питания защищаются также от перенапряжений на уровне  $U^* \approx U_D + U_{CC}$ . Недостатком схемы является невозможность использования в двунаправленных магистралях, т.к. при отключении напряжения питания на ИС напряжение высокого уровня на магистрали шунти-

руется диодом  $VD2$  через выключенный источник питания на общую шину.

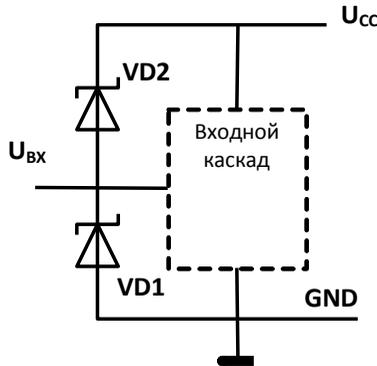


Рис. 3.8. Защита входа ИС диодным ограничителем

Эффективным методом защиты входов ИС является использование транзисторных структур. В схеме на рисунке 3.9 а при появлении электрической перегрузки через резистор  $R$  протекает ток достаточный для создания падения напряжения для открывания защитного транзистора и шунтирования входа ИС. В схеме на рисунке 3.9 б при достижении определенного уровня перегрузки происходит лавинный пробой транзистора, что также приводит к ограничению напряжения на входе ИС (рисунок 3.10).

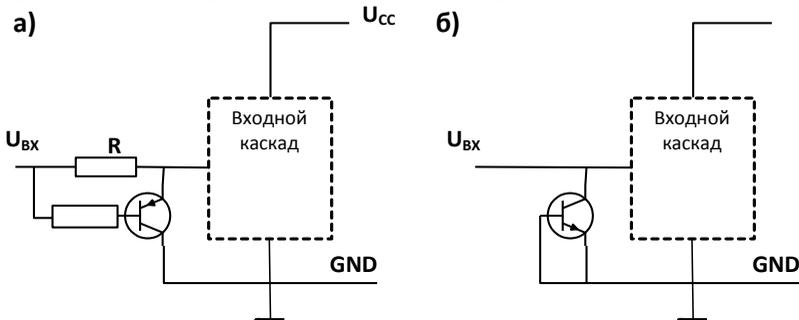


Рис. 3.9. Защита входа ИС транзисторными ограничителями

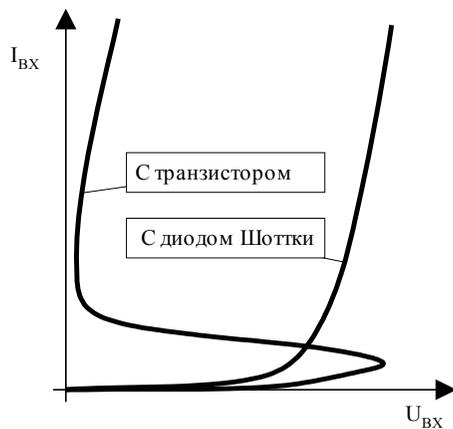


Рис. 3.10. Вольт-амперная характеристика защищаемого транзисторными ограничителями входа ИС

Транзисторные схемы обеспечивают защиту входов ИС при перенапряжениях величиной до 3 кВ.

## 4 УСТРОЙСТВА ЗАЩИТЫ ОТ ИМПУЛЬСНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОМЕХ

### 4.1 Устройства грозозащиты линий связи

Основным свойством устройства защиты является его способность при воздействии перегрузки замыкать большие токи на "землю" и ограничивать напряжение в защищаемой цепи на безопасном уровне.

При защите электронного оборудования со стороны линии связи, как правило, подразумевают, что эти линии выполнены из симметричного кабеля. Каждая пара такого кабеля может быть защищена как по 3-х так и 5-точечной схеме. Каждое устройство защиты от перенапряжений имеет вход (точки A и B), выход (точки A\* и B\*) и точку подключения земли Gnd (рисунок 4.1).

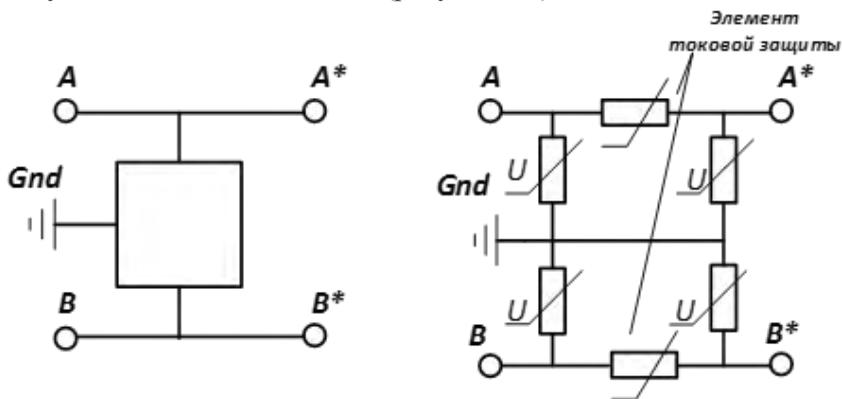


Рис. 4.1. Включение элементов защиты по 3-х так и 5-точечной схеме

Необходимое условия для создания защиты от перенапряжений – наличие качественного заземления. В случае трехточечной защиты точки A и A\*, B и B\* непосредственно соединены. Такая схема защиты позволяет защищать аппаратуру только от импульсов напряжений. Эта схема не предусматривает защиту по току (длительные воздействия) и не имеет второго каскада защиты. Типичным примером устройства такого типа может послужить 3-электродный разрядник. 3-х точечная схема имеет ряд серьезных недостатков. Во-

первых, при попадании в линию сетевого напряжения могут возникнуть две ситуации:

- при значении напряжения помехи ниже порога срабатывания защитного элемента все это напряжение поступит без какого-либо ослабления на вход защищаемой аппаратуры и выведет его из строя;
- если элемент все же сработает, то через очень короткое время он выйдет строя (если он не оборудован термозащитой) и опять пропустит опасное напряжение. Наличие термозащиты не всегда может быть решением всех проблем, потому что ток в кабеле и через разрядник будет ограничен лишь внутренним сопротивлением источника постороннего воздействия.

Вторым недостатком этой схемы является то, что она содержит лишь один каскад защиты. Поэтому приходится жертвовать либо мощностью элемента, либо его быстродействием.

5-точечная схема позволяет более гибко подходить к этим проблемам. Здесь можно применить разнотипные элементы защиты от перенапряжения с различными свойствами. Между мощным элементом (разрядник или варистор) и вторым более быстродействующим элементом находится развязывающий элемент, который обеспечивает токовую защиту. Такой подход обеспечивает необходимое сочетание характеристик входящих в него элементов. Разрядник способен защищать от импульсов напряжений очень больших значений, его быстродействия не всегда достаточно и какая-то часть импульса все равно будет пропущена. Для защиты от оставшегося импульса и предназначен второй каскад. Сочетая элементы с различным быстродействием и мощностью, можно создать устройство, которое до минимума снизит вероятность повреждения аппаратуры. При необходимости можно использовать не два, а три и более каскадов.

Промышленные устройства защиты от импульсных электромагнитных помех (устройства грозозащиты) предназначены для защиты аппаратуры от импульсных электромагнитных наводок на длинную проводную линию связи. Устройства грозозащиты являются комбинированными, содержат несколько разнотипных элементов с нелинейными ВАХ (рисунок 4.3), не требуют дополнительного питания и легко монтируются в разрыв линии связи. В отсутствие

электромагнитной помехи устройства грозозащиты не вносят значительных затуханий в линию связи, если спектр передаваемого сигнала лежит в пределах 50 МГц. Амплитуда передаваемых сигналов в зависимости от типа устройства может быть в пределах от 1 до 60 В.

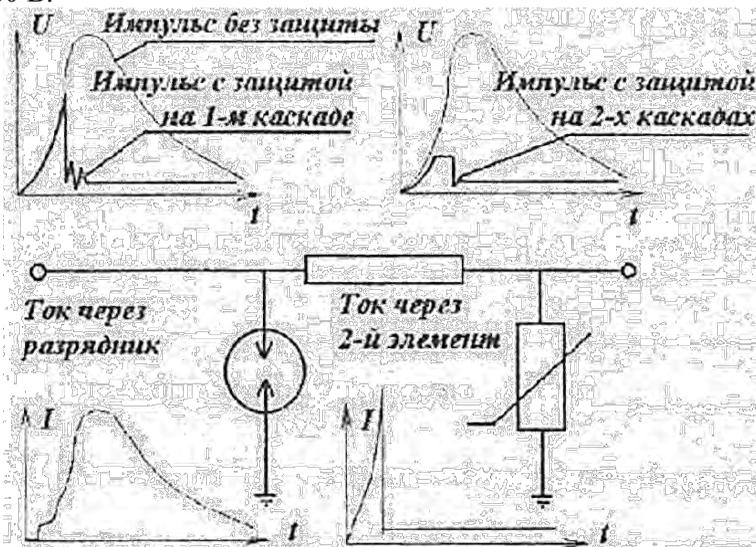


Рис. 4.2. Работа двухкаскадной 5-точечной схемы защиты от перегрузок



Рис. 4.3. Конструкция устройства защиты от импульсных электромагнитных помех

Устройства грозозащиты серий "УЗТВ" предназначены для защиты аппаратуры от импульсных электромагнитных наводок на длинную проводную линию связи. Устройства "УЗТВ" обеспечивают защиту

аппаратуры от наведенной импульсной помехи мощностью не более 1500 Вт. В отсутствие электромагнитной помехи устройства грозозащиты "УЗТВ" не вносят значительных затуханий в линию связи, если спектр передаваемого сигнала лежит в пределах 45-50 МГц. Амплитуда передаваемых сигналов в зависимости от типа устройства может быть в пределах от 1 до 60 В.

Устройства грозозащиты серии "УЗТВ-ВИДЕО" ориентированы на применение в линиях связи использующих для передачи видео сигнала коаксиальный кабель. Устройства содержат входные - выходные разъемы «под винт». Устройства грозозащиты серии "УЗТВ-ВИДЕО- BNC" содержат входные - выходные разъемы BNC. Устройства имеют оптимальный порог защиты для стандартного видео сигнала и оснащены встроенным газонаполненным разрядником.

Устройства грозозащиты серии "УЗТВ-1" ориентированы на применение в линиях связи использующих для передачи сигнала коаксиальный кабель и оснащены входным - выходным разъемами типа BNC ("УЗТВ-1В") или винтовым клеммником ("УЗТВ-1А").

Устройство грозозащиты серии "УЗТВ-2" ориентировано на применение в двухпроводных линиях связи для передачи сигналов телеметрии, управления, видеосигналов и т.п. и оснащены входным - выходным разъемами "под винт". В отличие от устройства грозозащиты "УЗТВ-1", устройство "УЗТВ-2" имеет дополнительную точку "заземление". Провод заземления должен быть подсоединен к общему для системы проводу заземления или должен подсоединяться к "нулевой" точке аппаратуры, которую данное устройство предохраняет от импульсной помехи.

Устройства грозозащиты «УЗТВ-3», «УЗТВ-4», «УЗТВ-5» обеспечивают комплексную защиту видеокамер от паразитных импульсных наводок. Комплексное устройство защиты «УЗТВ-3» предназначено для ограничения паразитных импульсных помех воздействующих от линии связи на выход видеокамеры, а так же и ограничению или прерыванию завышенных питающих данную видеокамеру напряжений.

Часто устройства грозозащиты выполняются многоканальными. Так устройство защиты "УЗТВ-IN8" (рисунок 4.4) – восьмиканальный блок защиты аппаратуры от импульсных электромагнитных

наводок на линию связи имеет три уровня защиты и обеспечивает по каждому из восьми каналов:

- частотный спектр сигналов в линии связи не выше – 7 МГц;
- вносимое затухание в линию связи не более – 0,8 ДБ;
- прохождение сигналов постоянного тока – ДА;
- дополнительное питание – НЕТ;
- время срабатывания – 0 нс;
- паразитный «выброс» напряжения помехи, обусловленный временем включения схемы ограничения уровня напряжения в линии связи – отсутствует.
- мощность рассеиваемой импульсной помехи – не более 500 Вт;
- напряжение порога срабатывания газонаполненного разрядника – 350В
- уровень постоянного тока в сигналах не более 0,5А;
- температурный диапазон эксплуатации – 40 ... + 50 С<sup>0</sup>.

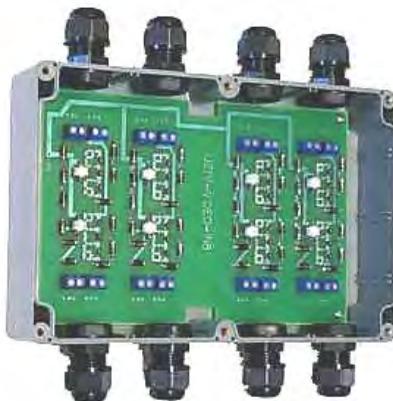


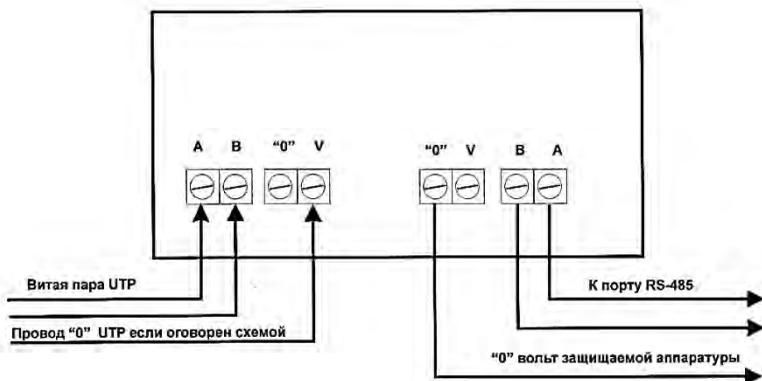
Рис. 4.4. Восьмиканальный блок грозозащиты

Устройство грозозащиты «УЗ-2А-П-RS485» предназначено для проводной аппаратуры передачи телеметрической информации, использующей порт RS485 [7] и обеспечивает:

- частотный спектр сигналов в линии связи не выше 40 МГц;
- вносимое затухание в линию связи не более 0,3 ДБ;



### Схема подключения "УЗТВ Ф RS-485 -1"



### Схема подключения "УЗТВ Ф RS-485 -2"

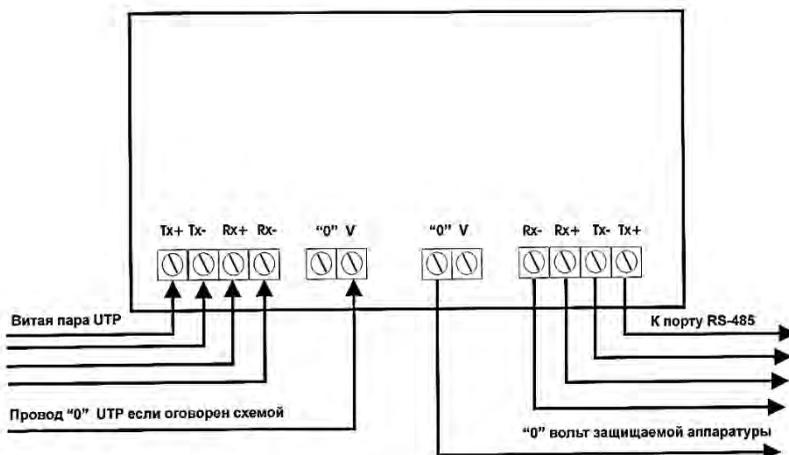


Рис. 4.5. Схемы подключения устройств грозозащиты

## 4.2 Организация электропитания видеокамер

Помимо защиты линий связи и цепей питания видеокамер необходимо на стадии проектирования обеспечить надежное питание камер и при отсутствии помех. Каждый блок питания видеокамер необходимо нагружать током не более 75 % максимально допустимого. Причем необходимо развязать все линии питания. Это нужно для того, чтобы короткое замыкание по линии питания вызвало минимальный отказ оборудования. Если мы напрямую подключим, например, по 18 камер на каждый блок, то в случае короткого замыкания на линии у нас погаснут сразу 18 камер. Такая низкая отказоустойчивость недопустима! Видеокамеры по питанию можно развязать при помощи БЗК – Блока защитного коммутационного. Это устройство подключается к блоку питания (рисунок 4.6) и имеет 8 выходов по 1 А на каждый.

Например, от точки питания № 1 запитывается основная часть внутренних камер, а от точки питания № 2 питаются уличные камеры, расположенные на парковке.

Принятые меры обеспечивают не только защиту подсистемы питания от электрических перегрузок, но и снижают риск отказа системы охранного телевидения в случае саботажа, например, при попытках вывода из строя СОР сотрудниками охраны.

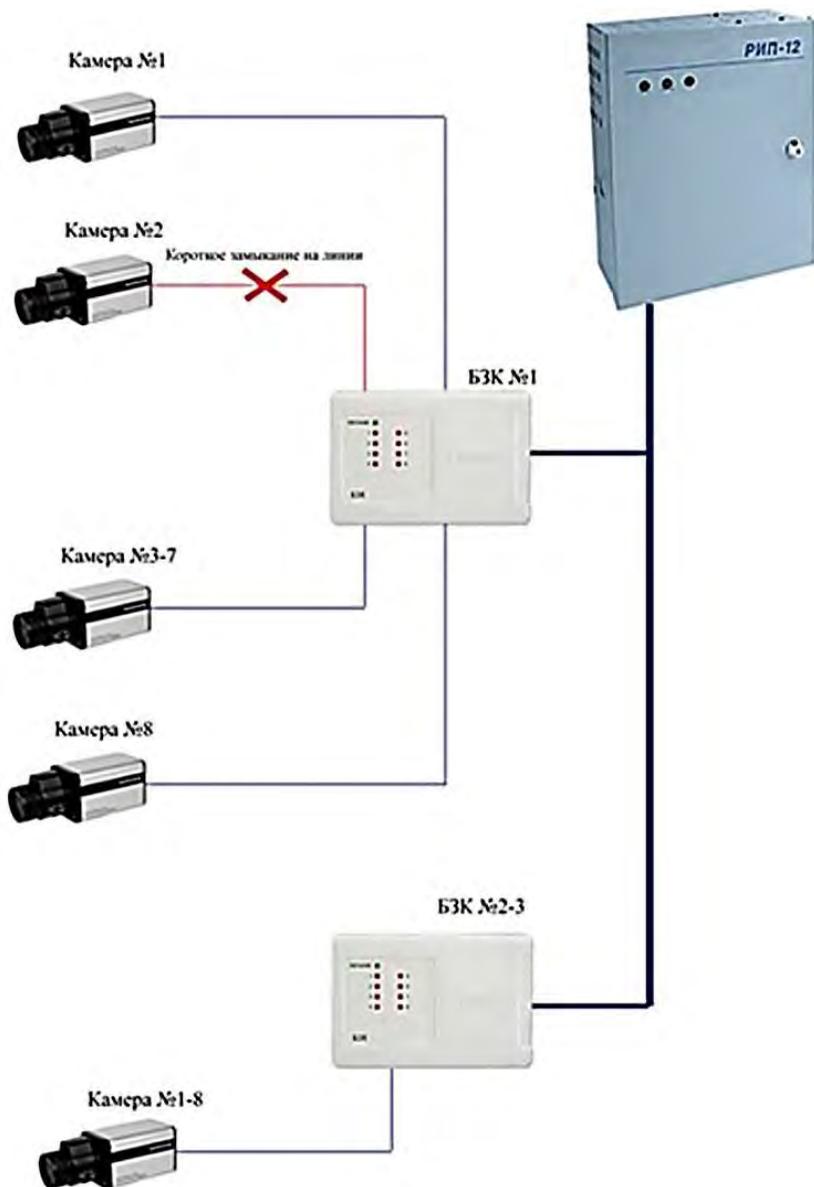


Рис. 4.6. Организация электропитания с использованием БЗК

## 5 РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ УСТРОЙСТВ ГРОЗОЗАЩИТЫ

Меры грозозащиты обязательно должны применяться, если какая-либо часть линий связи системы находится вне здания или проложена на внешней стене здания. Защите подлежат как собственно линии передачи информационных сигналов, так и цепи питания и вспомогательные линии управления периферийных устройств.

Устройства грозозащиты также рекомендуется применять и внутри помещений в случаях инсталляции систем охранного телевидения на промышленных объектах с большим уровнем промышленных помех искусственного происхождения. Для наиболее ответственных каналов связи рекомендуется применять линии связи с гальванической развязкой, например, волоконно-оптические линии связи.

Линии связи монтируются в защитных коробах или трубах, причем запрещается располагать в одном защитном коробе и линии передачи сигналов и кабель питания. Недопустимо использовать в качестве линий питания свободные провода в кабеле витой пары.

При разработке схемы зонной защиты, необходимо определить какие устройства или зоны размещения оборудования с одинаковой степенью стойкости к перенапряжениям, следует защищать. Затем следует оценить уровень защиты для каждой группы оборудования. Выполнение требований по обеспечению зонной защиты происходит лишь в том случае, если все электрические цепи (электропитание, связь, передача данных и др.) входящие в зону или выходящие из нее снабжены соответствующими этой зоне защитными устройствами. Главный контур защитного заземления служит границей перехода от зоны подверженной электромагнитным влияниям перегрузки к внутренней зоне. Подключение заземления к контуру целесообразно осуществить в месте ввода кабелей связи и электропитания. В этом месте организуется так называемая "единая точка заземления" с заземлением всех токопроводящих предметов. Здесь же необходимо установить первичные защитные устройства. В каждой защитной зоне создаются свои заземляющие щиты, к которым подключается заземление аппаратуры и заземление защитных устройств входящих в данную зону. Шины заземления должны

быть проложены, по возможности, по прямой и самой короткой трассе создавая эквипотенциальную сеть. Необходимо учитывать, что при разряде молнии в защитное заземление объекта связи через его заземление проходит лишь 50% тока молнии. Оставшаяся половина растекается по всем токопроводящим предметам соединенным с землей.

Каждая защищаемая линия должна быть оснащена элементами защиты с двух сторон (рисунок 5.1). Один элемент защиты устанавливается непосредственно у периферийного устройства (видеокамеры), второй – на границе между зонами (вводе в здание). Между защитными устройствами различных зон обязательно должна быть развязка (индуктивная или омическая). Естественным элементом развязки может послужить кабель, как элемент с распределёнными параметрами, соединяющий эти устройства. Длина кабеля для осуществления развязки должна быть не менее 5-10 метров. Если расстояние между защитными устройствами меньше, то устанавливаются специальные элементы развязки. Все металлические токопроводящие конструкции (водопровод, вентиляция и др.) должны быть присоединены к заземляющему контуру.

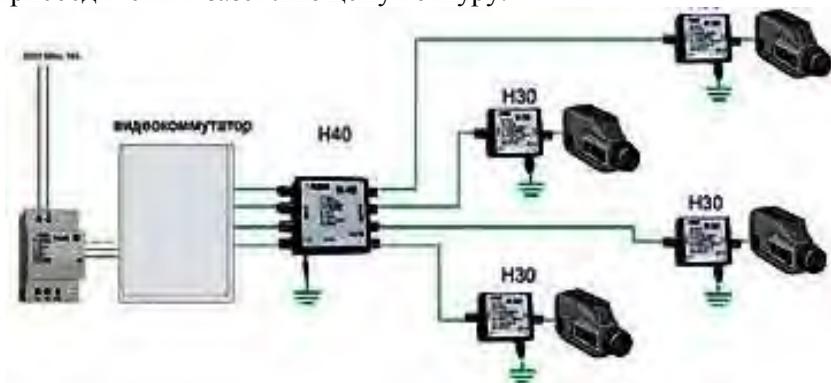


Рис. 5.1. Включение элементов защиты от перенапряжения на линиях связи с телевизионными видеокамерами

Таким образом, необходимо проделать два важных шага: во первых, в зависимости от чувствительности аппаратуры выбрать подходящий тип защитного устройства; во вторых, установить защитное устройство в оптимальном месте, исходя из концепции зонной защиты.

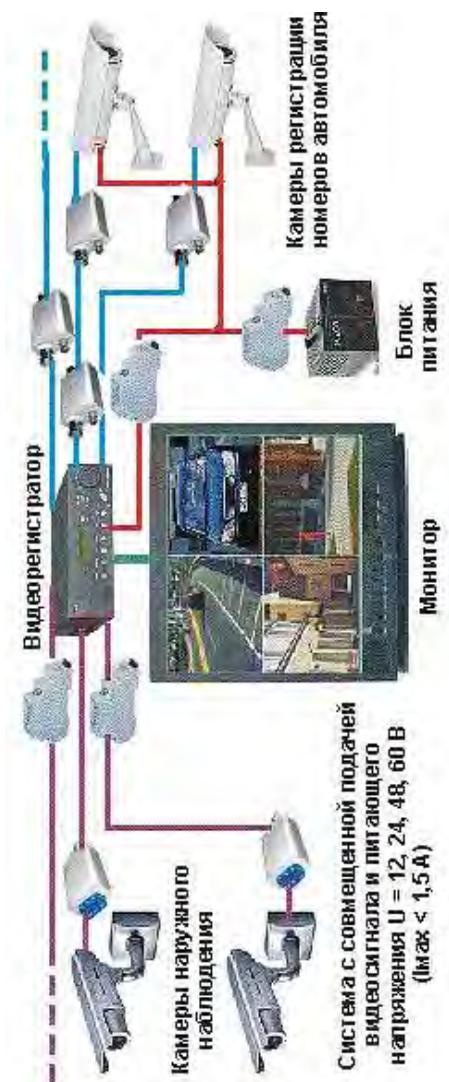


Рис. 5.2. Включение элементов защиты от перенапряжения в линиях связи и цепях питания в системе охранного телевидения

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. РД 34.21.122-87 Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений.
2. ГОСТ 12.1.019-79 Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
3. ГОСТ Р МЭК 60065-2002 Аудио-, видео- и аналогичная электронная аппаратура. Требования безопасности.
4. ГОСТ Р 50009-2000 Технические средства охранной сигнализации. Требования и методы испытаний.
5. ГОСТ 13109-97 Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
6. Черепанов В.П. и др. Электронные приборы для защиты РЭА от электрических перегрузок: Справочник. / В.П. Черепанов, А.К. Хрулев, И.П. Блудов. – М.: Радио и связь, 1994. – 224 с.
7. Гук М. Аппаратные интерфейсы ПК. Энциклопедия. - СПб.: Питер, 2002. – 528 с.
8. Волхонский, В. В. Телевизионные системы наблюдения: учеб. пособие. – СПб. : Экополис и культура, 2005. – 167 с.
9. Гедзберг, Ю. М. Охранное телевидение. – М. : Горячая линия – Телеком, 2005. – 312 с.
10. Клюев, Л. Л. Теория электрической связи. – Минск : Дизайн ПРО, 1998, – 336 с.
11. Гвоздек Михаэль. Справочник по технике для видеонаблюдения. Планирование, проектирование, монтаж – Техносфера, 2010. – 552 с.
12. Тявловский К. Л., Владимирова Т. Л., Воробей Р. И. Системы телевизионного наблюдения. Основы проектирования: метод. пособие. – Минск : БНТУ, 2010. – 85 с.
13. Руководящий документ: Технические средства и системы охраны. Телевизионные системы видеонаблюдения (системы охраняемые телевизионные). Правила производства и приемки работ. – РД 28/3. 005 – 2001. – Минск: МВД Республики Беларусь – 2001
14. Системы охраняемые телевизионные. Общие технические требования и методы испытаний: ГОСТ Р 51558-2000– М. : Изд-во стандартов, 2000.

15. European Standart En 501132-2-1. July 1997 Alarm Systems – CCTV Surveillance Systems for use in Security Applications. Part 2-1: Black and White Cameras.
16. **Тявловский К. Л., Тявловский А.К., Воробей Р. И. Каналы связи систем охранного телевидения: метод. пособие. – Минск : БНТУ, 2013. – 53 с.**

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	3
1 ВИДЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПЕРЕГРУЗОК .....	5
2 ВЛИЯНИЕ ПЕРЕГРУЗОК ПО НАПРЯЖЕНИЮ НА ЭЛЕМЕНТЫ АППАРАТУРЫ. ....	18
3 ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ЗАЩИТЫ. ....	27
4 УСТРОЙСТВА ЗАЩИТЫ ОТ ИМПУЛЬСНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОМЕХ. ....	41
5 РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ УСТРОЙСТВ ГРОЗОЗАЩИТЫ .....	50
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	53

Учебное издание

**ТЯВЛОВСКИЙ** Константин Леонидович  
**ТЯВЛОВСКИЙ** Андрей Константинович  
**ВОРОБЕЙ** Роман Иванович и др.

**ЗАЩИТА КАНАЛОВ СВЯЗИ  
СИСТЕМ ОХРАННОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ  
ОТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПЕРЕГРУЗОК**

Учебно-методическое пособие  
для студентов специальности  
1-38 02 03 «Техническое обеспечение безопасности»

Технический редактор *О. В. Песенько*

Подписано в печать 25.02.2015. Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная. Ризография.

Усл. печ. л. 3,26. Уч.-изд. л. 2,54. Тираж 200. Заказ 864.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя  
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.