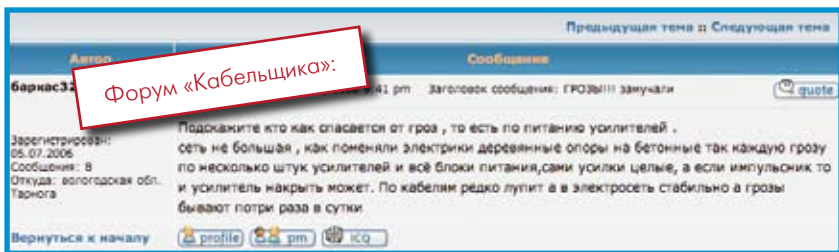


# Комплексная молниезащита элементов КСКТП



Владимир Людвиг

д. т. н., профессор



**КУ** По заявлениям кабельных операторов, в последнее время участились случаи выхода из строя магистральных ответвителей и усилителей от разных фирм-производителей при воздействии грозовых разрядов и ударов молний. В этой связи необходимо рассмотреть возможные меры защиты элементов кабельной сети коллективного телевизионного приема (КСКТП) от грозовых разрядов и ударов молний.

Актуальность защиты от предельных перенапряжений радиоэлектронного оборудования в составе телекоммуникационных и телевизионных кабельных сетей существенно возросла за последние годы. Это связано, в первую очередь, с высокой чувствительностью полупроводниковых приборов, используемых в аппаратуре КСКТП. Повышенная плотность размещения электронных компонентов, расширение диапазона входных/выходных уровней рабочих сигналов, переход на GaAs-технологии (высокая чувствительность к статическим зарядам электричества), понижение энергопотребления и множество других причин приводят к тому, что при разработке и эксплуатации элементов КСКТП (особенно широкополосных усилителей) необходимо принимать меры по их защите от перенапряжений.

Наиболее опасными видами перенапряжений является близкие и удаленные грозовые разряды, прямые удары молнии в оборудование антенно-фидерного тракта и сети первичного электропитания (как местного ~220 В, так и дистанционного ~25–65 В), электростатические разряды, а также различные аварийные ситуации (например, кратковременное попадание напряжения первичного электропитания в сигнальные цепи оборудования (т.е. на центральную жилу коаксиального кабеля). Около 2000 одновременно происходящих на земном шаре гроз каждую секунду разряжаются на землю около сотни молний. За исключением прямых попаданий разрядов молний (довольно редкое явление), наиболее катастрофическими для оборудования кабельных сетей являются последствия близких грозовых разрядов.

Основными видами воздействия грозовых разрядов на оборудование являются:

- Электростатическое – связано с влиянием электростатических полей предгрозового периода и незавершенного облачного грозового разряда;
- Электромагнитное – связано с индукционным влиянием канала молнии на оборудование при расстояниях, соизмеримых с длиной канала (теория электромагнитной индукции для длинных линий);
- Гальваническое – связано с растеканием в земле токов молнии и частичным их ответвлением в цепи кабельных сетей через систему заземления.

Очевидно, что для магистрального оборудования, установленного в подземных коммуникациях, наибольшую опасность представляет гальваническое воздействие (рис. 1).

Так, при токе канала молнии, ударившей в землю (заземленный предмет) в 20 кА (на рис. 2 представлено вероятностное распределение максимального тока канала молнии) и удельном сопротивлении почвы  $\rho = 60 \text{ Ом/м}$

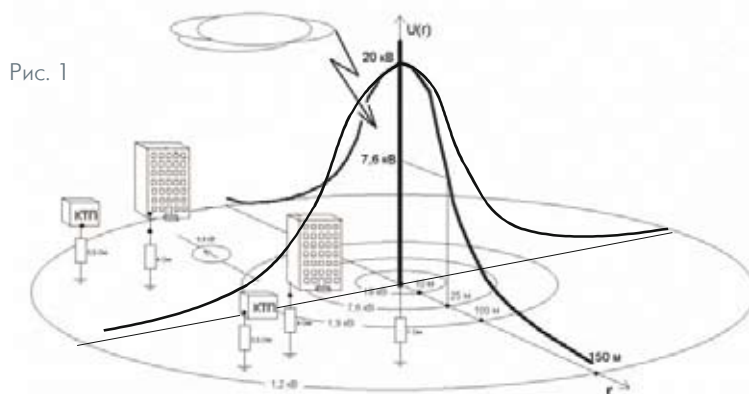


Рис. 1

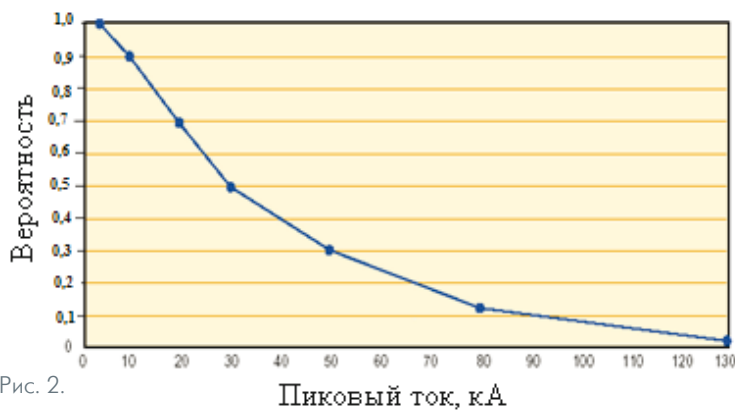


Рис. 2.

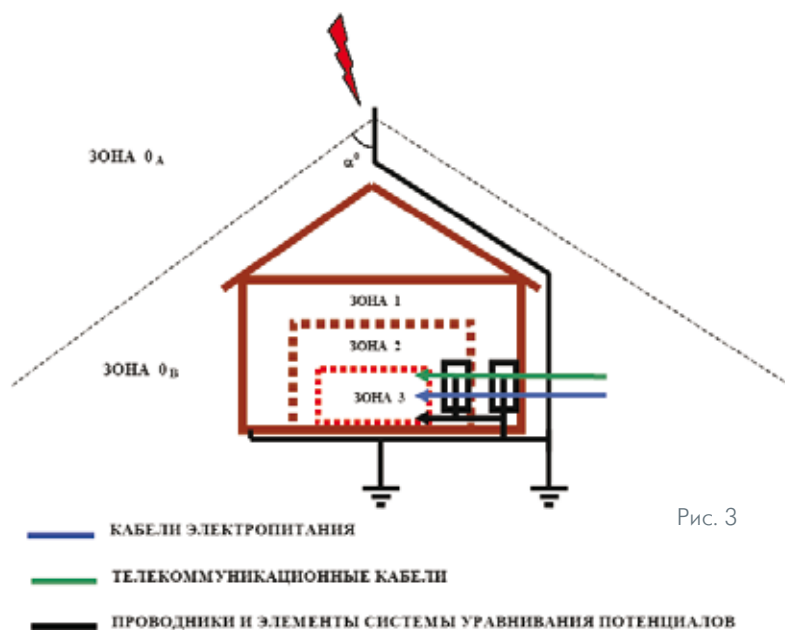


Рис. 3

(средняя полоса европейской части России), разность потенциалов на заземленных концах близко расположенного кабельного участка (до 200 м) может достигать 5–10 кВ.

Еще в худших условиях находятся домовые усилители. Это вызвано целым рядом причин:

- отсутствием эффективного заземления в большинстве домов (не путать: нулевая фаза силового первичного питания не является «землей»!);
- отсутствием системы молниезащиты на большинстве домов (как правило, одна система молниезащиты, устанавливаемая на высотном здании, обслуживает микрорайон, состоящую из группы домов);
- наличие воздушной подвески кабеля (антенна);
- отсутствие непосредственного заземления коаксиального кабеля при вводе в дом (на первом кабельном переходе);
- применение как магистральных, так и домовых разветвителей без должной развязки по постоянному току (или на частотах менее 1 МГц);
- использование немагистральных кабелей класса RG-11 (или ниже) с

большим погонным сопротивлением экранной оплетки по постоянному току;

- разные типы силового питания (заземление и зануление) и др.

Даже при наличии качественного заземления (менее 4 Ом согласно действующим нормативам [1,2,5]), ток, проходящий по заземленной экранной оплетке кабеля, будет индуцировать вторичный импульс в центральной (сигнальной) жиле кабеля, который и поступит на входные и выходные цепи усилителя.

Основными техническими мероприятиями в области защиты от импульсных перенапряжений, возникающих между различными элементами и составными частями КСКТП при прямом или близком ударе молнии, являются [3]:

- создание системы внешней молниезащиты;
- создание качественного заземляющего устройства для отвода на него импульсных токов молнии;
- экранирование оборудования и линий, входящих в него, от воздействия электромагнитных полей, возникающих при протекании токов

- молнии по металлическим элементам системы молниезащиты;
- создание системы уравнивания потенциалов внутри объекта путем присоединения к главной заземляющей шине;
- установка на всех линиях, входящих в КСКТП, устройств защиты от импульсных перенапряжений (УЗИП) с целью уравнивания потенциалов токоведущих или сигнальных проводников относительно заземленных элементов и конструкций объекта.

Из вышесказанного следует, что проблема защиты от импульсных грозовых перенапряжений может быть решена только комплексным путем при условии выполнения всех перечисленных технических мероприятий. Такой подход дает зонную концепцию защиты, изложенная в стандартах МЭК [6,7] серии 62305.

Стандарты МЭК определяют зоны молниезащиты с точки зрения прямого и непрямого воздействия молнии (рис. 3). Зона 0А – зона внешней среды объекта, все точки которой могут подвергаться воздействию прямого удара молнии и возникающего при этом электромагнитного поля.

Зона 0В – зона внешней среды объекта, точки которой не подвергаются воздействию прямого удара молнии, так как находятся в пространстве, защищенном системой внешней молниезащиты. Однако в данной зоне имеется воздействие неослабленного электромагнитного поля.

Зона 1 – внутренняя зона объекта, точки которой не подвергаются воздействию прямого удара молнии. В этой зоне токи во всех токоведущих частях имеют значительно меньшее значение по сравнению с зонами 0А и 0В. Электромагнитное поле также снижено по сравнению с зонами 0А и 0В за счет экранирующих свойств строительных конструкций.

Последующие зоны (Зона 2 и т.д.), если требуется дальнейшее снижение разрядных токов или электромагнитного поля в местах размещения чувствительного оборудования.

На рис. 3 рассмотрен пример разделения защищаемого объекта на несколько зон. Кабели электропитания, связи и другие металлические коммуникации должны входить в защитную Зону 1 в одной точке и своими экранными оболочками или металлическими частями подключаться к главной заземляющей шине на границе раздела Зон 0А – 0В и Зоны 1.

Описанное выше разделение объекта на условные зоны позволяет на практике эффективно решать вопросы защиты электропитающих сетей, а также линий связи, передачи данных, компьютерных сетей и других коммуникаций, входящих в объект, с помощью применения различного типа устройств защиты от импульсных перенапряжений (или так называемой внутренней системой молниезащиты).

При размещении элементов КСКТП непосредственно на крыше технического здания так же необходимо учитывать зоны защиты, создаваемые его строительными элементами и имеющимися элементами внешней системы молниезащиты. В некоторых случаях (установка антенн на козырьке крыши или на пристройке к зданию и т.п.) может появиться необходимость в доработке системы молниезащиты с целью создания дополнительной зоны защиты антенного оборудования головной станции КСКТП (рис. 4).

По временным (частотным) и энергетическим параметрам все перенапряжения можно разделить на два основных класса:

- перенапряжения большой энергии (микросекундные грозовые и коммуникационные перенапряжения);
- высокочастотные помехи малой энергии (наносекундные коммутационные импульсные помехи).

- 1 – штыревой молниеприемник системы внешней молниезащиты;
- 2 – трубостойка для крепления оборудования антенных устройств;
- 3 – элемент ограждения крыши, связанный с системой молниезащиты;
- 4 – металлоконструкция (арматура) крыши;
- 5 – устройство защиты от импульсных перенапряжений;
- 6 – линии от антенного оборудования к головной станции.

Второй класс напряжений не вызывает отказов усилителей КСКТП и может рассматриваться только как источник импульсных помех, наиболее сильно проявляющихся в диапазоне реверсного канала и на низкочастотных каналах прямого канала.

Таким образом, можно сделать вывод, что наиболее опасным видом перенапряжений для элементов КСКТП являются грозовые разряды. При этом частотный диапазон спектра импульсного перенапряжения от наведенного грозового разряда составляет 0–5 МГц (согласно обратному преобразованию Фурье, устанавлива-

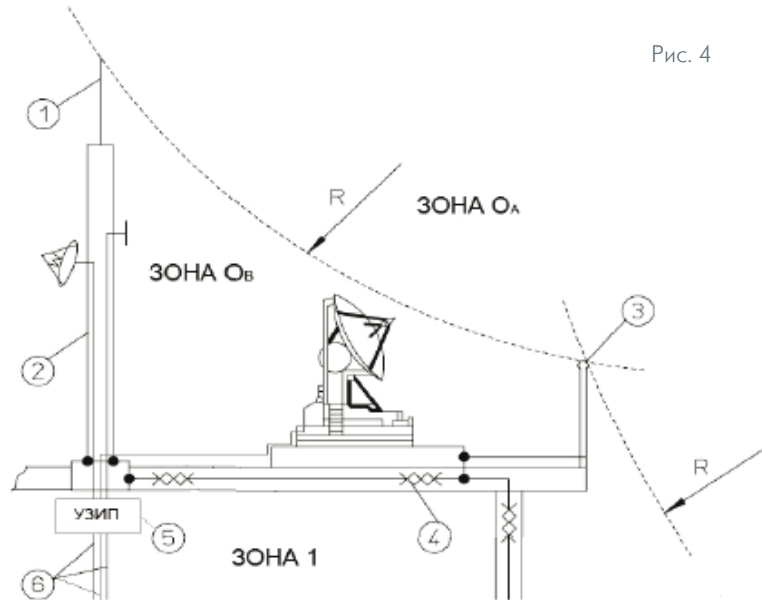


Рис. 4

ющего взаимосвязь длительности импульса и его частотного спектра). При этом на домовые усилители опять приходится большая энергетическая нагрузка в силу коротких отрезков кабелей (как правило, в пределах 15–30 м между разветвителями) и их значительно меньшего коэффициента радиоэкранной защиты. Так, например, магистральный кабель QR540 обладает коэффициентом радиоэкранной защиты не менее 120 дБ на частоте 5 МГц вместо 75 дБ у кабеля класса RG-11. Следует сделать также важное практическое замечание, что коэффициент радиоэкранной защиты (а, следовательно, и амплитуда импульса отрицательной полярности, наводимого на центральную жилу кабеля) кабелей классов RG-11 и RG-6 резко снижается при их изгибе (с 75–85 до 35–45 дБ).

Следует также акцентировать внимание, что если в хорошо согласованных цепях наводится однополярный импульс релаксационного типа (рис. 5б), то в несогласованных цепях будут наблюдаться переходные процессы, аналогичные процессам, наблюдаемым в контурах ударного возбуждения. Иными словами, возможно возникновение двухполярного наводимого импульса, защитит от которого труднее, чем от однополярного.

Как же защититься от возможных перенапряжений? Частично ответ был дан выше, когда использовался сложный комплекс технических мероприятий по грозозащите оборудования КСКТП. Вместе с тем не лишними будут мероприятия, связанные с введением в схемы усилительного оборудования узлов защиты от перенапряжений.

Внедряя комплекс технических мероприятий по грозозащите оборудования КСКТП необходимо обратить внимание на правильную организацию заземления, которая является первоочередной задачей монтажной организации. Если на вопрос «как заземлять?» довольно легко найти ответы в [1, 2, 5] и другой нормативной литературе, то на вопрос «куда заземлять?» ответ найти сложно. Как уже отмечалось, большинство жилых домов не оборудовано системой заземления. Вместе с тем, согласно отечественных нормативных документов, осуществлять заземление на газовые трубы, трубопроводы, системы отопления и водоснабжения запрещается. В то же время, согласно европейского стандарта CENELEC [4] и американского стандарта [8], такое заземление даже рекомендуется. Ведь реально водопроводные трубы надежно укладываются глубоко в землю и на большие расстояния.

Маловероятно, что монтажная организация будет прокладывать медный провод и стальную жилу (сечениями не менее 6 мм<sup>2</sup> и 40 мм<sup>2</sup> соответственно) с верхнего этажа (воздушная подвеска кабеля) до земли, приваривать ее в трех точках к металлическому листу значительной площади и закапывать его в землю на значительную глубину. Что же можно рекомендовать в этом случае?

Наиболее реальным является осуществление заземления первой точки ввода кабеля в дом (т.е. на входе первого магистрального разветвителя, после которого в непосредственной близости или на некотором расстоянии устанавливается домовый усилитель). Такое заземление проще всего осуществлять на несущую металлическую раму, используемую в электрощитовых.



В обязательном порядке должен быть заземлен и сам усилитель. Заземление надо осуществлять непосредственно через специальную земляную клемму, предусмотренную на усилителе (это нулевая «масса» усилителя), а не через входной или выходной F-коннектор, как это иногда практикуется. Такое «заземление» может принести больше вреда (за счет наводимых токов утечки), чем пользы.

На входах в домовую сеть целесообразно использовать гальванические изоляторы (рассчитанные на пробивное напряжение в не менее чем 5 кВ). Гальванические изоляторы не полностью защищают домовую сеть, но исключают воздействие длинных импульсов (амплитуд), наводимых в кабеле при его воздушной прокладке (рис. 5б). Таким образом, снижается энергия самого воздействующего импульса (энергия равна амплитуде импульса, умноженной на его длительность), что обеспечивает дальнейшую защиту входных цепей усилителя.

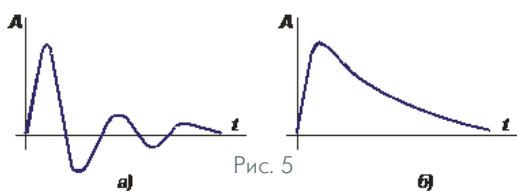


Рис. 5

Анализ отказов усилителей фирмы Hirschmann при воздействии разрядов молний показывает, что 85% из них приходится на выходную микросборку. В связи с этим ЗАО «СтандарТелеком» провело детальное изучение причин отказов данных широкополосных усилителей. Работа проводилась одновременно по двум направлениям:

- Имитация грозовых разрядов на лабораторном стенде ВЭИ (Всероссийский электротехнический институт им. В.И. Ленина). Лабораторный стенд состоит из генератора импульсного напряжения (ГИН), экранированный эхокамеры, в которой укладывались разные типы кабелей (RG-6, RG-11 и QR540) разной длины (от 10 до 100 метров), и специализированного высоковольтного осциллографа марки ОВ-1 с высоким собственным коэффициентом радиозащиты. ГИН способен накапливать напряжение в несколько мегавольт (использовались секционные блоки высоковольтных конденсаторов на 250 кВ). Во время разряда ГИН через разрядник и имитировалась молния с током разряда в 3,6 кА. Создаваемое при этом мощное электромагнитное поле наводило потенциал как на центральной жиле кабеля (до 75 В), так и на проводниках самого усилителя.

Испытаниям был подвержен полный модельный ряд усилителей серий GPV и GLV (по 3 экз. каждого типа). Испытания подтвердили высокую защищенность усилителей от электростатического электрического поля.

- Имитация мощного импульсного воздействия непосредственно на вход и выход усилителей. Испытательный стенд был разработан и создан в лаборатории «СтандарТелеком». Стенд универсален и позволяет формировать импульсы заданной амплитуды (до 2 кВ) и длительности (от 10 нс до 100 мс) при возможности корректировки его формы (приблизена к форме рис. 5б). Полярность импульсов – произвольная (положительная, отрицательная или колебательный процесс – рис. 5а).

## КАНАЛООБРАЗУЮЩЕЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ КАБЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

### Компактная модульная станция СМН3000



### РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ПЧ СТВ



**Центральный офис - Сервис центр:**  
**Москва, ул.Героев Панфиловцев, д.10 корп.1**  
**тел. (495) 495-71-04, 495-31-55**  
**E-mail: belka@belka.tv**

**Магазин-салон:**  
**Москва, ул.Чаянова, д.10 стр.1**  
**тел. (495) 251-07-32, 251-10-11**  
**E-mail: info@belka.tv**

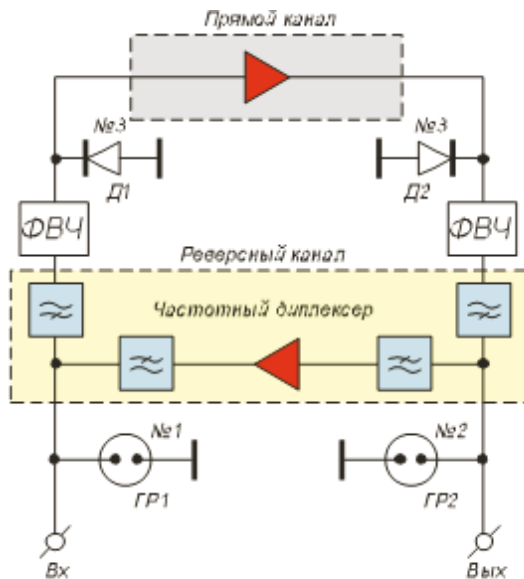


Рис. 6

Проведенные испытания и анализ схемотехнических решений усилителей от разных фирм-производителей показал:

1. Усилители, выполненные по кремниевой технологии (Si) более устойчивы к грозовым разрядам, чем новые перспективные усилители с повышенным выходным уровнем, выполненные по арсенид-галлиевой (GaAs) технологии.
2. В усилителях используются 3 степени защиты от грозовых разрядов (рис. 6).

Первая ступень (рис. 7а) – на входе и выходе устанавливаются грозоразрядники (как правило, с пробивным напряжением в 230 В). Разрядники обладают достаточной инерционностью (десять и сотни наносекунд) и не способны защитить усилитель от коротких передних фронтов импульса грозового разряда (такие импульсы в основном формируются на коротких отрезках кабеля, т.е. в домовых сетях).

Вторая ступень (рис. 7б) – это собственно частотный диплексер, делящий сигналы по направлениям (прямое и реверсное). Важной особенностью такого диплексера должно являться его свойство обладать бесконечным затуханием на нулевой частоте (т.е. по постоянному току). Это очень важная ступень защиты, так как именно она осуществляет основное подавление импульсной наводки от разряда молнии. Напомним, что верхняя частота спектра импульсного сигнала связана с его длительностью формулой:

$$f_a \leq 1,5/\tau.$$

Так, для типового импульса длиной 0,5–1,0 мкс, верхняя частота не превышает 1,5–3 МГц.

Третья ступень (рис. 7в) – диодная или транзисторная защита. Сравнительно редко устанавливается в усилители. Обладает очень высоким быстродействием (до долей наносекунд) и надежно защищает электронные цепи при амплитудах, не превышающих 5–15 В.

Что же сейчас наблюдается в усилителях серий GLV и GPV фирмы Hirschmann? Надо признать, что в поставках до 2003 г. усилители данной серии обладали невысокой грозозащищенностью в силу следующих причин:

- а) использовалась единственная первая ступень грозозащиты (грозоразрядники по входу и выходу с напряжением пробоя более 230 В);
- б) усилители приобретаются без вставки частотного диплексера (функциональное достоинство усилителей, т.к. позволяет установить любой частотный диапазон реверсного канала по мере необходимости). Вместо частотного диплексера (пассивная вставка или с усилителем реверсного канала) в штатной (базовой) поставке предусмотрены коммутируемые переключки, формирующие полосу диапазона 5–862 МГц. Именно это обстоятельство является определяющим;
- в) в усилителях использованы Power Doubler или Push-Pull GaAs – выходные микросборки повышенной линейности японской компании NEC. А именно GaAs-транзисторы обладают высокой чувствительностью к статическим зарядам электричества и грозовым разрядам.

Предпринятые действия.

1. С середины 2004 г. компания Hirschmann осуществляет поставки усилителей указанных серий с грозоразрядниками пониженного напряжения (с 230 В на 90 В). Это не только повышает защищенность выходной микросборки, но и несколько увеличивает быстродействие срабатывания защиты.
2. В настоящее время ЗАО «Стандарт Телеком» уже приступило к выпуску усилителей этих модификации (YM-GPV-, YM-GLV-, [www.st-telecom.ru](http://www.st-telecom.ru)) с низковольтными грозоразрядниками.

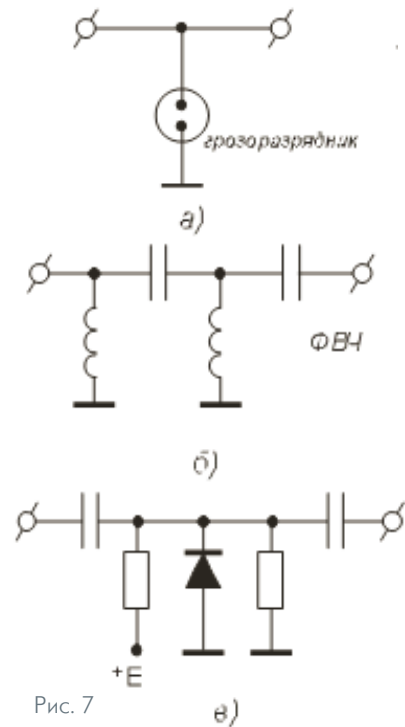


Рис. 7

3. В усилители рекомендуется устанавливать частотные диплексеры серии GRM-P (вторая ступень защиты). Это достаточно эффективная защита. Вместо частотных диплексеров возможна установка дешевых частотных вставок ФГЗ-1 (на входе) и ФГЗ-2 (на выходе). Такие вставки разработаны «Стандарт Телеком» специально для эффективной грозозащиты и надежно защищают усилитель.

Проведение испытаний показали их высокую эффективность (грозовые импульсы до 1,2 кВ длительностью от 0,2 мкс до 200 мс).

Лабораторные и полевые испытания также показали, что в большинстве случаев (с вероятностью 0,9) достаточно установка только выходной вставки (ФГЗ-2). При этом не требуется проведения каких-либо регулировок, а коэффициент передачи усилителя понижается не более, чем на 0,5 дБ (0,3 дБ тип.). ■

#### Литература

1. ГОСТ Р 50571.19-2000 (МЭК 60364-4-443-95). Защита электроустановок от грозовых и коммутационных перенапряжений.
2. ГОСТ 27049-88. Защита оборудования проводной связи и обслуживающего персонала от атмосферных разрядов.
3. Зоричев А.Л., Лещинский В.Г. Молниезащита объектов связи. ЗАО «Хакель Рос».
4. CENELEC EN 50083-2 (2002): Cable networks for television signals, sound signals and interactive services – Part 2: Electromagnetic compatibility for equipment.
5. РД 34.21.122-87. Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений.
6. МЭК (IEC) -1024. Protection of structures against lightning.
7. МЭК (IEC) -1312. Surge Protective Device Coordination.
8. ANSI/IEEE C62.41 и ANSI/IEEE C62.45