

## **МОДУЛЬ ДЛЯ ЗАЩИТЫ АТС И АБОНЕНТСКИХ УСТРОЙСТВ ОТ НАВЕДЕННЫХ В ПРОВОДНЫХ ЛИНИЯХ СВЯЗИ ИЗБЫТОЧНЫХ ТОКОВ И ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ**

### **Введение**

При эксплуатации телекоммуникационных систем (ТКС) часто приходится сталкиваться с деструктивным влиянием перенапряжений и избыточных токов, вызванных воздействием различных электромагнитных факторов естественного и искусственного происхождения. Практика показывает, что при эксплуатации АТС и абонентских устройств (АУ) наиболее опасными по степени влияния и частоте воздействия являются перенапряжения и избыточные токи, которые наводятся в проводных линиях. В Рекомендациях МСЭ-Т К.20 они характеризуются как:

- импульсные высоковольтные напряжения, возникающие при грозовых разрядах (без прямого попадания молнии в линейно-кабельные сооружения);
- кратковременные переменные напряжения (при коротких замыканиях в ЛЭП или контактных сетях электрифицированных железных дорог);
- длительное воздействие переменного напряжения (при непосредственном электрическом контакте проводной линии связи с сетью электропитания 220В).

Применяемые методы и средства для защиты элементов АТС и АУ в большинстве случаев обеспечивают защиту от перенапряжений, вызванных грозой и атмосферным электричеством, авариями в сетях электропитания. Однако этих мер недостаточно в случае экстремальных аварийных ситуаций, а также при воздействии коротких электромагнитных импульсов (ЭМИ) высокой интенсивности. Современные источники мощных ЭМИ могут поражать системы телекоммуникаций как непосредственным воздействием направленных импульсных электромагнитных полей на электрические и радиотехнические цепи, так и наведенными в проводных линиях связи токов и напряжений [1, 2].

Статистика показывает, что число повреждений аппаратуры из-за бросков токов и напряжений удваивается каждые три-четыре года. Это связано, прежде всего, со сменой элементной базы. Плотность элементов на кристаллах микросхем за последние годы значительно увеличилась, что привело соответственно к уменьшению напряжения пробоя. Поэтому даже при внешнем небольшом электромагнитном воздействии может возникнуть ситуация, которая приведет к повреждению микросхем. Достаточно однократного воздействия напряжения, превышающего “допустимое значение статического потенциала”, чтобы вызывать деградацию параметров электронных элементов (увеличение обратного тока, изменение входной характеристики и т.д.), что приводит к снижению порога стойкости к воздействию последующих ЭМИ, снижению стойкости к воздействию климатических, механических и радиационных факторов, существенному уменьшению времени остаточного ресурса. Наиболее уязвимыми воздействию ЭМИ являются транзисторы, входящие в малошумящие усилители, интегральные микросхемы (микропроцессоры).

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

Для защиты элементов ТКС от перенапряжений применяют устройства защиты по напряжению. Устройство защиты по напряжению должно удовлетворять следующим основным требованиям:

- не допускать утечки через себя полезного сигнала, т. е. в диапазоне передаваемых частот иметь в идеале бесконечное сопротивление;

– при разности потенциалов, превышающей определенное значение, резко уменьшать свое сопротивление;

– время переключения элемента защиты  $t_{3y} \ll t_{3mn}$ ;

– многократно выдерживать прохождение импульсных токов.

Наиболее распространенными элементами схем защиты по напряжению являются газовые разрядники и варисторы. В последние годы на смену варисторам пришли TVS– (transient voltage suppressors) диоды, называемые в отечественной литературе «полупроводниковыми ограничителями напряжения (ПОН)». За рубежом TVS-диоды известны под торговыми марками Trans Zorb, Transil, Insel. В табл. 1 приведена сравнительная характеристика элементов схем защиты по напряжению [3].

Таблица 1

Элемент защиты	Преимущество	Недостатки	Примеры использования
Разрядник	Высокое значение допустимого тока. Низкая емкость. Высокое сопротивление изоляции	Высокое напряжение возникновения разряда. Низкая долговечность и надежность. Значительное время срабатывания. Защищаемая цепь шунтируется после прохождения импульса	Первичная защита телекоммуникационных и силовых цепей
Варистор	Высокое значение допустимого тока. Низкая цена. Широкий диапазон рабочих токов и напряжений	Ограниченный срок службы. Высокое напряжение ограничения. Высокая собственная емкость. Затруднительность поверхностного крепления	Вторичная защита. Защита силовых цепей и электронной аппаратуры. Защита электронных компонентов непосредственно на печатной плате
TVS-диод	Низкие уровни напряжения ограничения. Высокая долговечность и надежность. Широкий диапазон рабочих напряжений. Высокое быстродействие. Низкая собственная емкость.	Низкое значение номинального импульсного тока. Относительно высокая стоимость	Идеален для защиты полупроводниковых компонентов на печатной плате. Вторичная защита

Для защиты по напряжению АТС и АУ на коммуникационных линиях устанавливают трехвыводные газоразрядники с системой термозамыкания или размыкания. При общих равных условиях защита на трехэлектродном разряднике считается предпочтительней, чем на двухэлектродных, т.к. при наличии перенапряжения на двухпроводной линии пробой в одном промежутке разрядника инициирует пробой во втором промежутке, тем самым, уменьшая время срабатывания защиты, и снимает аварийный потенциал практически одновременно с обоих проводов.

Газовые разрядники не обладают очень высоким быстродействием, но способны подавлять разряды до нескольких десятков тысяч ампер, а за счет очень малой собственной емкости не влияют на работу высокоскоростных линий передачи данных. Газовые разрядники в состоянии отводить большое количество энергетических импульсов, не изменяя при этом своих электрических параметров.

Согласно рекомендациям МСЭ-Т К.12 защиту по напряжению на основе газонаполненных разрядников с номиналом 230В устанавливают на АТС со стационарным питанием 48В, а с номиналом 250В – для АТС со стационарным питанием 60В. Ниже приведены основные электрические параметры (табл. 2) и внешний вид (рис. 2) для разрядников типа Р-121К...Р-124К [4], которые применяются для защиты от опасных перенапряжений квазиэлектронных, электронных и цифровых АТС и абонентских устройств.

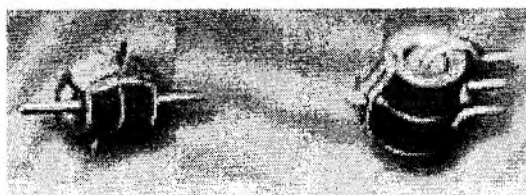


Рис. 1

Таблица 2

Типы разрядников	P121	P122	P123	P124	SL1026A27S
Статическое напряжение пробоя $U_{ст}$ , В	230	250	350	600	200-350
Динамическое напряжение пробоя $U_{дин}$ , кВ, не более	0,7	0,7	0,8	1,2	0,8
Сопротивление изоляции	не менее -100 МОм				
Межэлектродная статическая емкость	не более – 2 пФ				2,5 пФ
Напряжение дуги (при амплитуде синус. тока 10 А)	не более – 25В				
Напряжение погасания при 0,1А, В, не менее	150	150	150	150	

Для городских и сельских АТС выпускаются унифицированные модули защиты по напряжению (МЗН) на основе разрядников P121 – P123 [5]:

- защита на разрядниках с  $U_{ст} = 230(250)В$ , с термозамыкателем или терморазмыкателем линии и отводом перенапряжения на «землю». Эти два вида защиты приблизительно равнозначны по характеру защиты и различаются только тем, что в первом случае абонентский комплект станции остается подключенным к линии при срабатывании защиты, а во втором случае линия размыкается. Модули осуществляют защиту от грозовых импульсов и попадания переменного напряжения 220В. Использование термозащиты исключает возможность возгорания на кроссе, вызванное разогревом разрядников, а отвод опасного напряжения на «землю» снижает вероятность поражения им персонала станции. Недостатком данных вариантов защиты является возможность выхода из строя кабелей при протекании через них аварийных токов;

- защита на разрядниках  $U_{ст} = 230(250)В$  с термозащитой, обеспечивающей размыкание линии без отвода аварийного напряжения на «землю». Этот тип защиты, свободен от названного выше недостатка и обеспечивает как надежную защиту оборудования АТС, так и исключает вероятность выхода из строя линейных кабелей или возгорание на кроссе по вине защиты;

- защита на разрядниках с  $U_{ст} = 350В$ , не оснащенная дополнительными элементами термозащиты обеспечивает защиту от грозовых импульсов, однако уровень ее срабатывания несколько выше, чем у защиты с разрядниками 230, 250В, т.к.  $U_{дин}$  при крутизне нарастания 1 кВ/мкс для них 900В против 650В для 250-ти вольтовой защиты (данные фирмы «EPCOS» на разрядники серии T80).

Дополнительно с МЗН устанавливается модуль защиты по току (МЗТ), который оснащен двумя керамическими позисторами многофазового действия на рабочие токи 55, 60, 100 мА. Протекающий через позистор и разрядник ток вызывает срабатывание позистора. Ток при этом ограничивается единицами миллиампер, что не оказывает пагубного воздействия как на оборудование, так и на кабель. В табл. 3 приведены предельные значения тока и напряжения для некоторых типов АТС [5].

Величина напряжения пробоя разрядника в сильной степени зависит от крутизны фронта импульса. Чем больше скорость нарастания фронта импульса, тем выше динамическое напряжение пробоя разрядника. Это вызвано тем, что для ионизации газа внутри разрядника требуется определенное время. Поэтому часть ЭМИ всегда просачивается через МЗН. Огибающая просачивающегося импульса может иметь форму, аналогичную показанной на рис. 2.

Повреждение входных элементов, оборудования АТС и АУ может быть вызвано избыточной мощностью (энергией) просачивающегося импульса. Таким образом, применение МЗН на основе разрядника не гарантирует защиту оборудования от воздействия перенапряжения, вызванного воздействием короткого ЭМИ.

№ п/п	Наименование АТС	Напряжение питания, В	Вызывное напряжение, В	Номинальный ток линии, мА	Необходимая защита по напряжению, В	Необходимая защита по току, А
1	АТС-54 (ДШИ)	60	110±10	20-30 мА	250	0,055
2	«SAMSUNG» SDX-100, TDX-1B	60	90-110	40-45	250	0,06
3	«Алкатель» S-12	60	90-100	До 75	230	0,1
4	NEAX-61, 64 (NEC)	60	110	45	250	0,06
5	АТСК (АТСКУ)	60	90-120	35-45	250	0,06
6	АТСП (АТСК Польша)	60	110-120	20-30	250	0,055
7	А-204 (АТСК Швеция)	60	110	30-40	250	0,055
8	КМК-20Т (АТСК Финляндия)	60	110	20-35	250	0,055
9	ЭАТС М-200	60	80-100	30	230	0,055
10	Si-2000	60	90-100	35-40	230	0,055

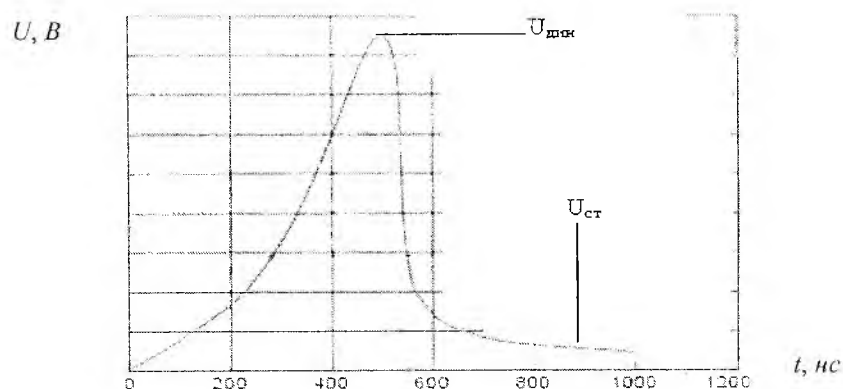


Рис. 2

Новым элементом для схем защиты по напряжению стал TVS-диод – полупроводниковый прибор с резко выраженной нелинейной вольт-амперной характеристикой, подавляющий импульсные электрические перенапряжения, амплитуда которых превышает напряжения лавинного пробоя диода. Время срабатывания  $t_{зy}$  для несимметричных TVS-диодов менее  $10^{-12}$  с а для симметричных – менее  $5 \cdot 10^{-9}$  с. Это позволяет использовать их для защиты различных электронных устройств, в состав которых входят чувствительные к переходным процессам полупроводниковые приборы и интегральные микросхемы. Для защиты от выбросов напряжения линий связи переменного тока с частотой до  $100 МГц$  применяются малоемкостные TVS-диоды ( $C=90-100 пФ$ ). Принцип работы TVS-диода показан на рис. 3. Во время действия импульса перенапряжения TVS-диод ограничивает выброс напряжения до безопасного уровня в то время как опасный ток протекает через диод на землю, минуя защищаемую цепь.

На рис. 4 приведена вольтамперная характеристика для несимметричного  $a$  и симметричного  $b$  TVS-диода.

Основные электрические параметры TVS-диодов:

$U_{\text{проб}}$ ,  $B$  – значение напряжения пробоя при заданном тестовом токе пробоя  $I_T$ ;  $I_{\text{обр}}$ ,  $мкА$  – значение постоянного обратного тока, протекающего через прибор в обратном направлении при напряжении, равном  $U_{\text{обр}}$ ;  $U_{\text{обр}}$ ,  $B$  – постоянное обратное напряжение (в соответствии с этим параметром выбирается тип ограничителя);  $U_{\text{огр.имп.мах}}$ ,  $B$  – максимальное импульсное напряжение ограничения при максимальном импульсном токе при заданных длительности, скважности, форме импульса и температуре окружающей среды;  $P_p$ ,  $Вт$  – максимально допустимая импульсная мощность, рассеиваемая прибором, при заданных форме, скважности, длительности импульса и температуре окружающей среды.

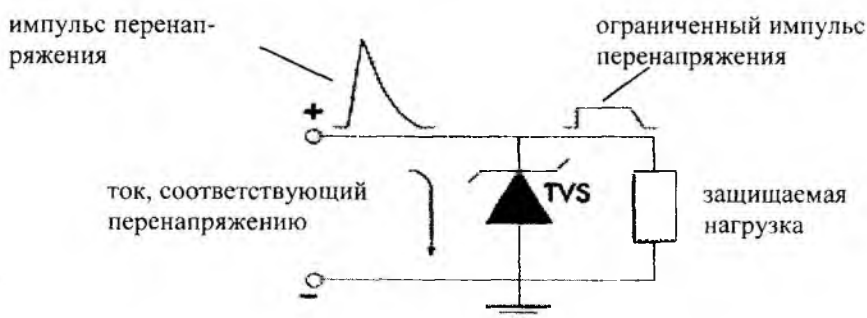


Рис. 3

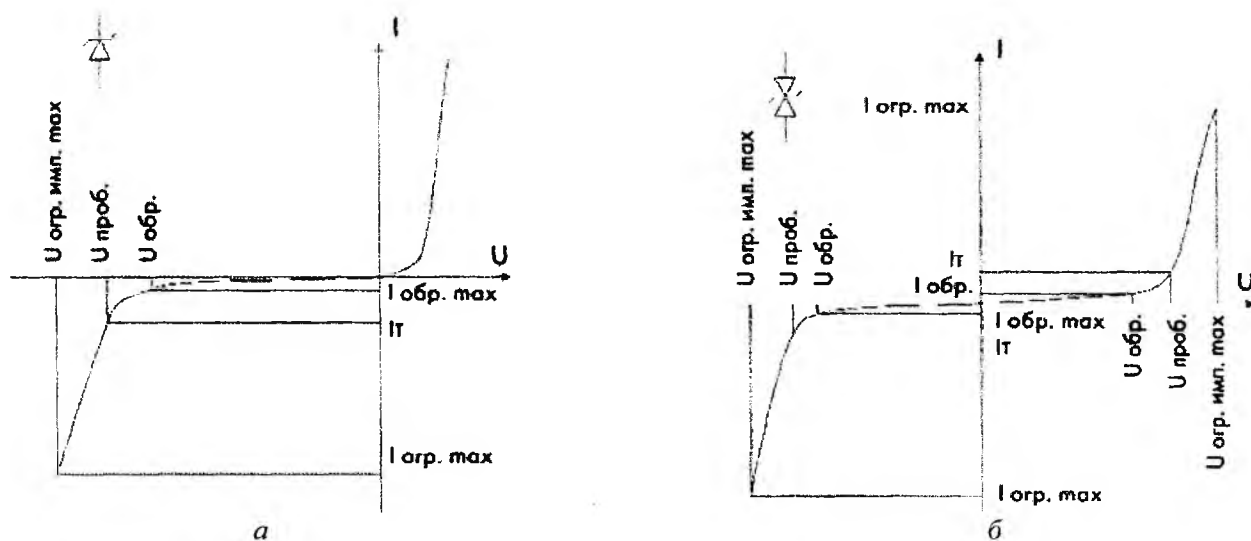


Рис. 4

TVS-диоды были разработаны фирмой GSI (General Semiconductor Industries) для защиты устройств связи от грозовых разрядов. В дальнейшем этой фирмой были созданы TVS-диоды с напряжением  $U_{\text{проб}}$  от 6,8 до 200  $B$  с импульсной мощностью 1,5  $кВт$  для защиты аппаратуры связи от воздействия ЭМИ искусственного происхождения, для защиты микросхем от внутренних электрических нагрузок по напряжению, от статического электричества, а также TVS-диоды с малой индуктивностью и емкостью. В настоящее время в мире выпускается около 3000 типонаименований TVS-диодов, с импульсной мощностью от 0,15 до 60  $кВт$ , на напряжение пробоя от 6,0 до 3000  $B$ .

Тип TVS-диода для защиты АТС и АУ выбирается, исходя из требуемого значения мощности  $P_p$ . При этом постоянное обратное напряжение  $U_{\text{обр}}$  должно соответствовать сумме напряжения питания АТС и напряжения вызова ~ 160 – 190  $B$ .

жения параметры импульса могут иметь другие значения. Рис. 5 иллюстрирует зависимость максимально допустимой импульсной мощности от длительности импульса перенапряжения для TVS-диода P4KE220A ( $P_p = 400 \text{ Вт}$ ) и 1.5KE220A ( $P_p = 1500 \text{ Вт}$ ) [6]. Обычно производители приводят подобные графики в спецификациях на все типы и серии TVS-диодов. На этом графике видно, что при снижении длительности импульса перенапряжения максимально допустимая мощность TVS-диода увеличивается. При воздействиях более коротких импульсов TVS-диод выдержит более высокий импульсный ток ( $I_{\text{огр.имп.мах}}$ ).

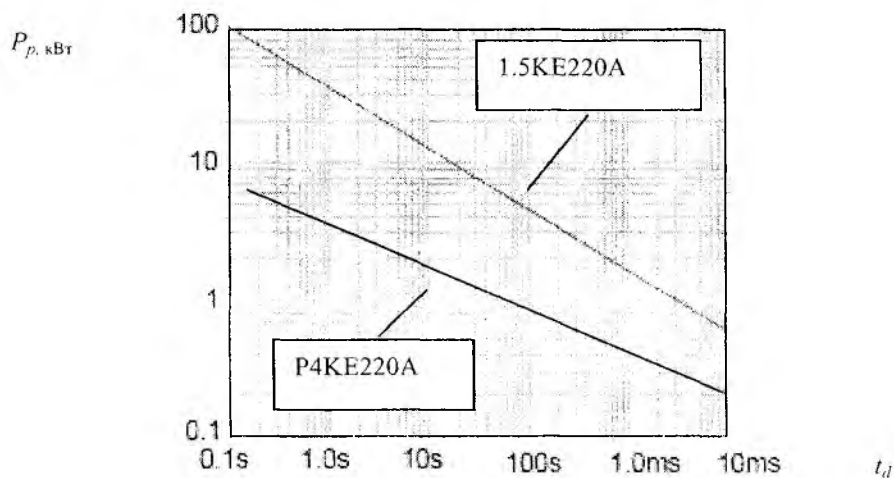


Рис. 5

Если мощность одного TVS-диода с номинальным значением  $P_p$  (400 Вт, 500 Вт, 1,5 кВт, 5 кВт) не удовлетворяет заданным требованиям по  $P_p$ , их соединяют последовательно. При двух последовательно соединенных TVS-диодах мощность удваивается и т. д. Допускается последовательное соединение любого числа TVS-диодов. При этом разброс по  $U_{\text{проб}}$  каждого прибора не должен превышать 5 %, что гарантирует равную нагрузку на последовательно соединенных приборах. Если невозможно достичь нужной мощности при последовательном соединении, допускается параллельное соединение. Для гарантированной загрузки приборов по мощности необходимо точное их согласование по  $U_{\text{огр.имп.мах}}$  (не более 20 мВ). Допускается также смешанное соединение TVS-диодов.

Электрические параметры TVS-диодов с разными значениями  $P_p$ , для ограничения перенапряжения на уровне максимально допустимом для входных цепей оборудования АТС и АУ ( $U_{\text{проб}} = 230 - 250 \text{ В}$ ), приведены в табл. 4 [6].

Таблица 4

Тип (General Semiconductor) (Тип JEDEC)	Максимально допустимая импульсная мощность $P_p$ Вт	Напряжение пробоя $U_{\text{проб}}$ (В)		Максимальный ток утечки $I_u$ (мкА)	Постоянное обратное напряжение $U_{\text{обр}}$ (В)	Максимальный импульсный ток ограничения $I_{\text{ррт}}$ (А)	Максимальное напряжение ограничения при $I_m$ $U_{\text{проб.мах}}$ (В)
		Мин.	Макс.				
P4KE220A	400	198	242	5	175	4,3	344
P6KE220A	600	198	242	5	175	4,3	344
SMBJ170	600	189	239,5	5	170	2	304
1.5KE220A	1500	198	242	5	175	4,3	344
5KP180	5000	198	230,4	5	180	17	292

Для защиты элементов АТС и АУ от любых вероятных воздействий естественных и искусственных ЭМИ необходимо использовать комбинированные модули защиты [7]. В качестве

первой ступени защиты по напряжению элементов электронного оборудования ТКС от мощных ЭМИ, необходимо применять газонаполненные разрядники (например, Р-123К). Вторая ступень защиты, на основе малоемкостных TVS-диодов, ограничивает перенапряжения любого вида на уровне максимально допустимом для входных цепей оборудования АТС и АУ. Для исключения развития аварийных токов, способных привести к разогреву элементов защиты по напряжению или жил кабеля, в состав модуля включается позистор. Возможный вариант построения комбинированного модуля защиты приведен на рис. 6.

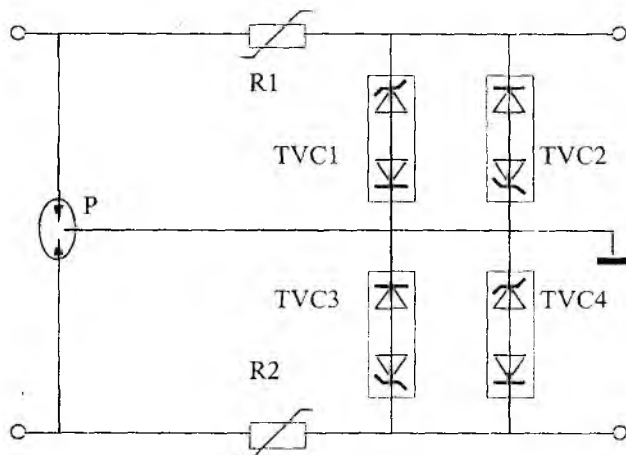


Рис. 6

Работа схемы выглядит следующим образом: начальный процесс срабатывания защиты одинаков для любого типа воздействия, будь то длительное воздействие напряжения сети или высоковольтное импульсное воздействие. В первую очередь сработают TVS-диоды и ограничат напряжение на выходе модуля, на уровне 230(250)В. Аварийное воздействие через внутреннее сопротивление TVS-диодов будет отведено на землю. В случае, если через TVS-диод способен развиться ток более  $I_T$ , то TVS-диод переходит в состояние пробоя. Из-за высокого быстродействия полупроводникового элемента пробой происходит практически мгновенно, еще на фронте нарастания импульса перенапряжения. В этом состоянии TVS-диода при наличии на входе напряжения  $U_{проб}$  все входное воздействие оказывается приложенным к позистору ( $R_1$  или  $R_2$ ) и способствует его быстрому разогреву и срабатыванию. При воздействии мощного ЭМИ, например, вызванного попаданием молнии, напряжение на позисторе продолжает расти до тех пор, пока не достигнет напряжения пробоя разрядника. Пробой разрядника обеспечивает окончательный отвод избыточного напряжения с линейного провода на шину заземления, тем самым снимая опасное напряжение с защищаемого оборудования. При непродолжительном воздействии разрядник не успевает разогреться до высокой температуры и после исчезновения опасного напряжения восстанавливает свои характеристики и линия возвращается в рабочее состояние.

В случае, когда на линию попало фазное напряжение сети 220В, срабатывает только защита на TVS -диоде, отводя аварийное напряжение с линейного провода на шину рабочего заземления, после чего ток, протекающий через элемент токовой защиты, приводит к разогреву позистора и переходу его в высокоомное состояние. После снятия аварийного напряжения элементы остывают и возвращаются в свое рабочее состояние.

Таким образом, комбинированный модуль защиты позволяет совместить достоинства разных элементов защиты. Газоразрядник с его способностью коммутировать большие токи и быстродействие TVS – диодов. Мощность просачивающегося через разрядник импульса перенапряжения в этом случае не представляет угрозы для оборудования АТС или АУ, так как TVS-диод срабатывает значительно раньше разрядника.

**Список литературы:** 1. Шостко С.Н., Шостко И.С. Анализ угроз радиолокационным средствам противовоздушной обороны при использовании электромагнитного оружия // Системи озброєння і військова техніка. Харків, 2005. №. 1(1). С. 105-107. 2. Шостко И.С. Нарушение функционирования телекоммуникационных систем в условиях преднамеренных электромагнитных воздействий // Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2007. Вып. 148. С. 65-71. 3. Кадуков А. TVS-диоды – полупроводниковые приборы для ограничения опасных перенапряжений. [Електр. ресурс]. Режим доступа: <http://kazus.ru/articles/369.html>. 4. Модули защиты кроссов [Електр. ресурс]. Режим доступа: [http://www.ats-servis.ru/cross\\_equip.htm](http://www.ats-servis.ru/cross_equip.htm). 5. Сайт компании "Рубатех" [Електр. ресурс]. Режим доступа: <http://www.rubatech.ru/node/460>. 6. [Електр. ресурс]. Режим доступа: <http://www.littelfuse>. 7. Федоров М.В. Рекомендации по выбору оптимальной защиты для городских и сельских АТС // Электро-связь. 2006. №12. С.28-30.

*Харьковский национальный  
университет радиоэлектроники*

*Поступила в редколлегию 05.09.2007*