

Элементы защиты по току и напряжению Raychem Circuit Protection в телекоммуникационных цепях.

Пьеса о защите с оптимистическим финалом

Линии связи регулярно подвергаются опасным воздействиям электромагнитных импульсов как искусственного (силовых сетей, мощного радиоизлучения), так и природного происхождения (грозовые разряды). Все это способно вывести из строя телекоммуникационное оборудование, если оно не защищено должным образом. В этой статье мы рассмотрим основную элементную базу, применяемую в телекоммуникациях для защиты, на примере компонентов, выпускаемых компанией Raychem Circuit Protection.

Константин Курышев

kurishev@konkurel.ru

Raychem Circuit Protection известна уже на протяжении 25 лет в первую очередь как пионер и лидер в разработке и производстве PolySwitch — полимерных элементов защиты электронных устройств от перегрузок по току и по температуре. В настоящее время Raychem Circuit Protection и PolySwitch являются зарегистрированными торговыми марками компании Tyco Electronics Power Components. За последние годы фирма существенно обогатила спектр продукции за счет новых защитных устройств, таких как тиристорные элементы защиты по напряжению SiBar, варисторы, защищенные силовые ключи для портов USB, газонаполненные разрядники, быстродействующие SMD-предохранители.

Существует система международных отраслевых стандартов, которая жестко регламентирует требования к защите телекоммуникационного оборудования. В частности, ИТУ-Т (Международный телекоммуникационный союз — телекоммуникационный сектор) выработал набор рекомендаций по защите от электрических воздействий, принятый в большинстве стран мира, исключая Северную Америку (см. табл. 1).

Различают первичную и вторичную защиту телекоммуникационного оборудования. Первичная рас-

Пролог

полагается ближе всего к «окружающему миру», чаще всего в вынесенном кроссовом оборудовании; вторичная, как правило, находится в составе защищаемого устройства связи. Она должна срабатывать быстрее первичной, хотя и не приспособлена к гашению мощных импульсов. Поэтому тестовые воздействия на нее по требованиям ИТУ-Т слабее, чем на первичную защиту.

Конфигурация защиты бывает двух видов — схемы незаземленные и с заземлением (рис. 3). Незаземленным является в большинстве случаев конечное оборудование — телефонные и факс-аппараты, модемы, приставки для кабельного и спутникового телевидения, системы безопасности. Заземляется кроссовое оборудование, абонентские комплекты АТС, базовые станции мобильной связи, DSL-сплиттеры,

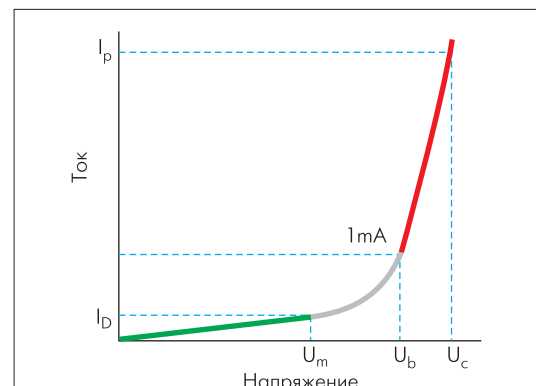
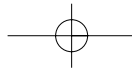


Рис. 1. Вольт-амперная характеристика варистора и ее характерные точки
 U_m — макс. напряжение (DC и AC заданы)
 I_D — ток при U_m (соответствует худшему значению тока утечки)
 U_b — напряжение варистора (обычно измеряется на 1 мА)
 U_c — напряжение удержания
 I_p — пиковый ток, при котором измеряется напряжение удержания

Таблица 1. Рекомендации ИТУ-Т по защите телекоммуникационного оборудования

Рекомендация	Название
K.11	Принципы защиты от избыточных напряжений и избыточных токов
K.12	Характеристики газонаполненных разрядников для защиты телекоммуникационных установок
K.20	Стойкость коммутационного оборудования связи к избыточным напряжениям и избыточным токам
K.21	Стойкость абонентского оборудования связи к избыточным напряжениям и избыточным токам
K.28	Характеристики полупроводниковых приборов для защиты телекоммуникационных установок
K.30	Характеристики самовосстанавливающихся устройств ограничения тока
K.36	Выбор защитных устройств
K.44	Стойкость телекоммуникационного оборудования к избыточным напряжениям и избыточным токам
K.45	Стойкость сетевого оборудования к избыточным напряжениям и избыточным токам



мультиплексоры и другое оборудование высшего уровня.

Итак, электромагнитные импульсы против телекоммуникационных устройств. Кто в этой коллизии станет на защиту оборудования?

Действующие лица и исполнители

В роли защиты по току — PolySwitch

Защита по току в большинстве случаев бывает реализована на основе элементов с положительным температурным коэффициентом (ПТК). В частности, производимые Raychem Circuit Protection полимерные элементы (ППТК) PolySwitch функционируют как многократные (самовосстанавливающиеся) предохранители, которые не нуждаются в замене и при этом предохраняют от токовой (тепловой) перегрузки защищаемое устройство. В рабочем состоянии, то есть до возникновения или после снятия избыточного тока, PolySwitch телекоммуникационных серий имеет сопротивление от нескольких Ом до примерно 20 Ом (R_{min} , R_{max} в табл. 2, 3) и потому не препятствует работе оборудования связи. К другим важным параметрам следует отнести рабочий ток I_H , ток срабатывания I_T , время срабатывания при заданном токе, максимальное рабочее напряжение U_{max} , сопротивление элемента с ПТК через час после срабатывания R_{1max} .

Помимо своего прямого назначения как элемента токовой защиты, PolySwitch еще успешно справляется и с ролью координирующего элемента в схеме защиты по напряжению (об этом — ниже).

Защита по напряжению — несколько претендентов на одну роль

Элемент защиты по напряжению (ЭЗН), размещаясь параллельно с нагрузкой, призван активироваться при возникновении чрезмерного напряжения, а именно менять за счет своей нелинейной характеристики состояние таким образом, чтобы ограничить напряжение до безопасного уровня. При этом избыточную энергию защитный элемент берет на себя. Важными особенностями ЭЗН являются:

- 1) «прозрачность» для полезного сигнала в режиме «до» и «после» перегрузки;
- 2) обратимость, то есть возможность выполнять защитную роль многократно.

Для выполнения требования «прозрачности» необходимо так подбирать ЭЗН, чтобы его номинальное напряжение было бы выше максимального рабочего напряжения в цепи. Тогда ЭЗН не будет мешать работе потребителя.

В телекоммуникационном оборудовании применяются несколько видов ЭЗН, удовлетворяющих принципам прозрачности и обратимости. В первую очередь это варисторы, TVS-диоды, тиристорные элементы защиты и газонаполненные разрядники.

Металл-оксидные варисторы

Варистор (англ. varistor, от VARiable — переменный и resISTOR — резистор) — полупроводниковый резистор, электрическое сопротивление которого изменяется нелинейно и одинаково под действием как положительного, так и отрицательного напряжения. Металл-оксидные варисторы Raychem Circuit Protection

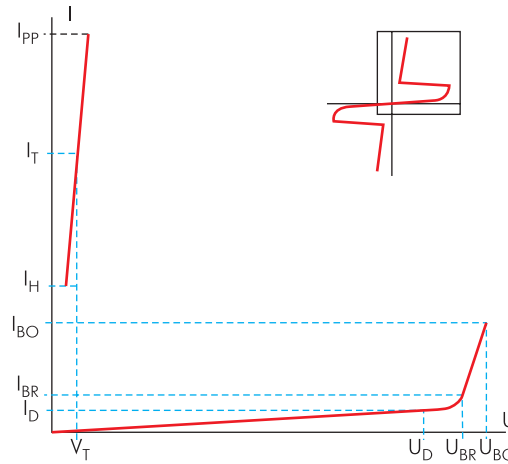


Рис. 2. Типовая вольт-амперная характеристика SiBar

Таблица 2. Параметры PolySwitch серии TR

Тип PolySwitch	I_H (А)	I_T (А)	U_{max} (В)	I_{max} (А)	PD (Вт)	Время срабатывания		R_{min} (Ом)	R_{max} (Ом)	R_{1max} (Ом)
						при I (А)	с			
TR250-080T	0,080	0,160	60	3	1,0	0,35	3,00	15,0	22,0	33,0
TR250-080U	0,080	0,160	60	3	1,0	0,35	3,00	14,0	20,0	33,0
TR250-110U	0,110	0,220	60	3	1,0	1,00	0,75	5,0	9,0	16,0
TR250-120	0,120	0,240	60	3	1,0	1,00	1,50	4,0	8,0	16,0
TR250-120T	0,120	0,240	60	3	1,0	1,00	0,70	7,0	12,0	16,0
TR250-120T-RA	0,120	0,240	60	3	1,0	1,00	0,70	7,0	9,0	16,0
TR250-120T-RF	0,120	0,240	60	3	1,0	1,00	0,70	6,0	10,5	16,0
TR250-120T-R1	0,120	0,240	60	3	1,0	1,00	0,75	6,0	9,0	16,0
TR250-120U	0,120	0,240	60	3	1,0	1,00	1,00	6,0	10,0	16,0
TR250-145	0,145	0,290	60	3	1,0	1,00	2,50	3,0	6,0	14,0
TR250-145-RA	0,145	0,290	60	3	1,0	1,00	2,50	3,0	5,5	12,0
TR250-145-RB	0,145	0,290	60	3	1,0	1,00	2,00	4,5	6,0	14,0
TR250-145T	0,145	0,290	60	3	1,0	1,00	1,00	5,4	7,5	14,0
TR250-145U	0,145	0,290	60	3	1,0	1,00	2,00	3,5	6,5	12,0
TR600-150	0,150	0,300	60	3	1,0	1,00	1,40	6,0	10,0	17,0
TR600-150-RA	0,150	0,300	60	3	1,0	1,00	5,00	7,0	10,0	20,0
TR600-150-RB	0,150	0,300	60	3	1,0	1,00	4,50	9,0	12,0	22,0
TR600-160	0,160	0,320	250	3	1,0	1,00	7,50	4,0	10,0	18,0
TR600-160-RA	0,160	0,320	250	3	1,0	1,00	9,50	4,0	7,0	16,0
TR600-160-R1	0,160	0,320	250	3	1,0	1,00	9,00	4,0	8,0	17,0
TRF250-180	0,180	0,650	100	10	1,5	3,00	0,50	0,8	2,2	4,0
TRF600-150	0,150	0,300	60	3	1,0	1,00	1,40	6,0	10,0	17,0

Таблица 3. Параметры PolySwitch серии TS

Тип PolySwitch	I_H (А)	I_T (А)	U_{max} (В)	I_{max} (А)	PD (Вт)	Время срабатывания		R_{min} (Ом)	R_{1max} (Ом)
						при I (А)	с		
TS250-130	0,130	0,26	60	3,0	1,1	1,0	0,9	6,5	20,0
TS250-130-RA	0,130	0,26	60	3,0	1,1	1,0	1,4	6,5	15,0
TS250-130-RB	0,130	0,26	60	3,0	1,1	1,0	0,7	9,0	20,0
TS250-130-RC	0,130	0,26	60	3,0	1,1	1,0	1,1	7,0	17,0
TS600-170	0,170	0,40	60	3,0	2,5	1,0	10,0	4,0	18,0
TSL250-080	0,080	0,16	80	3,0	1,2	1,0	0,8	5,0	20,0
TSM600-250	0,250	0,86	250	3,0	2,0	3,0	0,8	1,0	7,0
TSM600-250-RA	0,250	0,86	250	3,0	2,0	3,0	1,0	1,0	5,0
TSV250-130	0,130	0,26	60	3,0	1,5	1,0	2,0	4,0	12,0

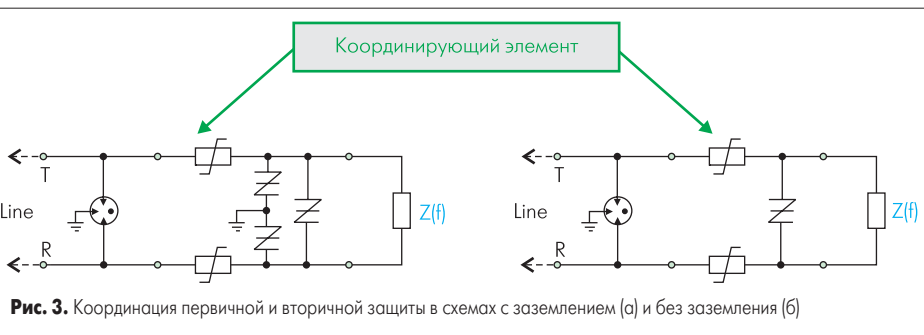
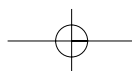


Рис. 3. Координация первичной и вторичной защиты в схемах с заземлением (а) и без заземления (б)



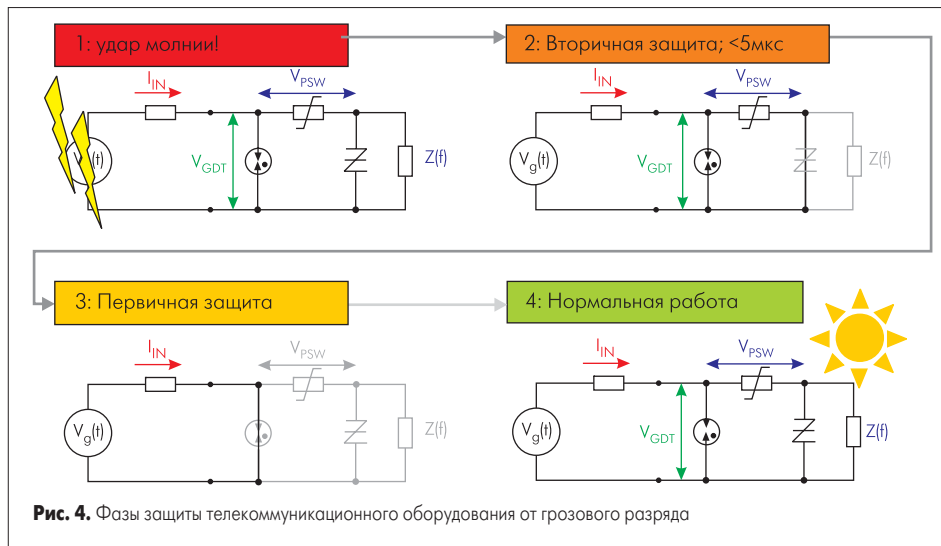


Рис. 4. Фазы защиты телекоммуникационного оборудования от грозового разряда

производятся с применением порошка окиси цинка (ZnO), смешанного с керамическим материалом. Данное сочетание обеспечивает нелинейную вольт-амперную характеристику (рис. 1). Таким образом, варистор можно отнести к ЭЗН с фиксацией напряжения на уровне U_c . При этом варистор берет на себя энергию импульса избыточного напряжения, снижая напряжение на нагрузке до безопасного уровня. Уровень поглощаемой энергии зависит от количества частиц окиси цинка в элементе, то есть, в конечном счете, от объема варистора, в то время как его номинальное напряжение — от толщины элемента. Raychem Circuit Protection, в частности, выпускает варисторы диаметром 5, 7, 10, 14 и 20 мм на напряжение от 18 до 1800 В, а также трех уровней стойкости к пиковым напряжениям.

TVS-диоды

TVS-диоды (Transient Voltage Suppressor), или диоды для подавления переходных процессов (ППН), подобно варисторам, относятся к ЭЗН с фиксацией напряжения, так как их вольт-амперная характеристика также является нелинейной, но без режима перехода, характеризующегося отрицательным участком ВАХ. При этом TVS-диод является активным прибором с высоким быстродействием и низкой емкостью, что важно с точки передачи высокочастотных сигналов. К ограни-

чениям можно отнести то, что, как и варистор, TVS-диод вынужден выдерживать на себе приложенную в результате аварийного события энергию, равную произведению пикового тока на напряжение удержания и длительность импульса. TVS-диод не в состоянии справиться с мощными импульсами и годится, главным образом, для вторичной защиты телекоммуникационных устройств.

В качестве элементов первичной защиты предпочтительнее использовать элементы, имеющие режим перехода в своей вольт-амперной характеристике. При превышении напряжения срабатывания такой элемент переходит в состояние, когда на нем и, следовательно, на защищаемой нагрузке остается очень низкое напряжение. При тех же физических размерах, что и ЭЗН с фиксацией напряжения, защитный элемент с переходной характеристикой способен «гасить» большую энергию. Рассмотрим два типа элементов, работающих в режиме перехода.

Тиристорные элементы защиты по напряжению SiBar

Тиристорные элементы защиты SiBar являются двунаправленными полупроводниковыми элементами, разработанными Raychem Circuit Protection для защиты чувствительного электронного оборудования от всплесков напряжения, вызванного попаданием молнии, линейного напряжения или силовой индук-

цией. Эти устройства имеют высокое (свыше 1 ГОм) сопротивление в рабочем состоянии, и, таким образом, не препятствуют функционированию цепи.

Когда превышено напряжение открывания V_{BO} (рис. 2), устройство SiBar переходит в низкоомное состояние, чтобы отвести опасный импульс от полезной нагрузки, как бы становясь шунтом для нее. SiBar остается в состоянии низкого сопротивления до тех пор, пока ток, протекающий через устройство, не станет ниже номинального значения, при котором элемент возвращается к высокому сопротивлению.

Обладая высоким быстродействием, тиристорные защитные устройства SiBar способны предотвратить повреждение электронных систем и обеспечить длительное бесперебойное функционирование защищаемого оборудования. Существующая в настоящее время линейка SiBar (табл. 4) «закрывает» по рабочему напряжению несколько сегментов телекоммуникационного оборудования — от 58 В для трактов E1/T1 и SHDSL до 270–300 В для кроссового и абонентского оборудования.

Газоразрядники

Принцип работы разрядника основан на возникновении дугового разряда в газе, заполняющем герметичный корпус, при достижении напряжения пробоя на выводах прибора. Уровень напряжения срабатывания зависит от скорости нарастания напряжения, поэтому в параметрах прибора указывают статическое и динамическое напряжение разряда. Статическое напряжение — минимальное напряжение постоянного тока, которое, нарастая со скоростью не более 100 В/с, вызывает разряд. Динамическим называют максимальное напряжение, достигнутое импульсом определенной формы — 100 В/мкс или 1 кВ/мкс. Статическое напряжение разряда меньше динамического.

Разряд (или пробой) разрядника означает как раз тот самый переход ЭЗН в состояние, когда он шунтирует нагрузку на период аварийного воздействия. В безаварийном режиме разрядник, как высокоимпедансный элемент, не оказывает влияния на работу схемы. Благодаря своей малой емкости разрядники также вносят минимальные искажения в полезный сигнал (по сравнению с другими тех-

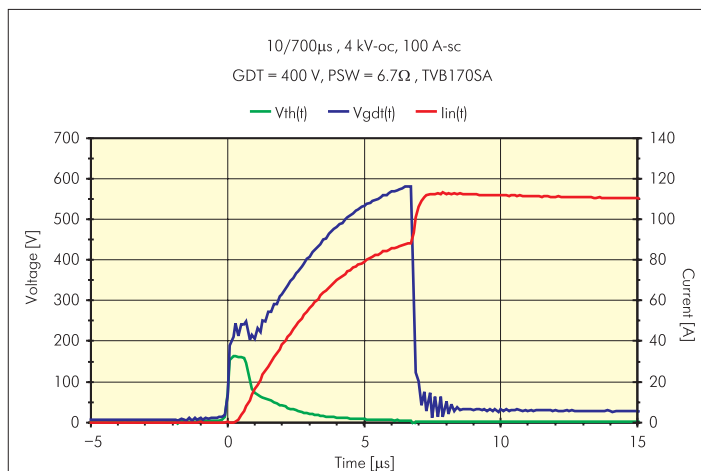


Рис. 5. Динамика отклика на импульс напряжения 10/700 мкс, 4000 В защитной цепи: разрядник (номинал — 400 В), SiBar (номинал — 170 В) и ППТК PolySwitch (номинал сопротивления — 6,7 Ом)

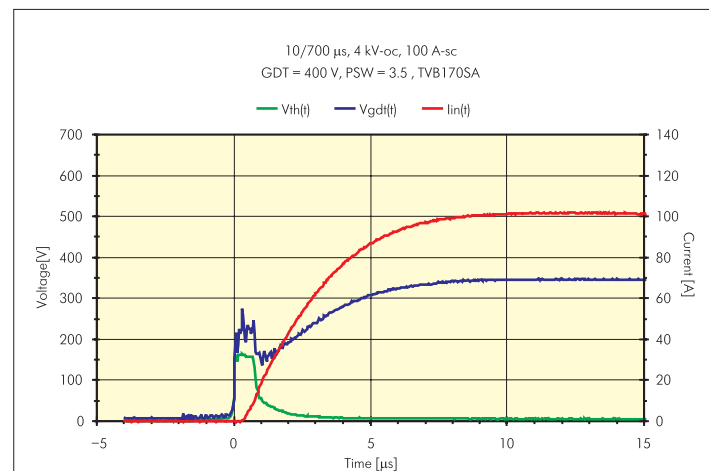


Рис. 6. Динамика отклика на импульс напряжения 10/700 мкс, 4000 В защитной цепи: разрядник (номинал — 400 В), SiBar (номинал — 170 В) и PolySwitch (номинал сопротивления — 3,5 Ом)

Таблица 4. Параметры тиристорных элементов защиты по напряжению SiBar

Тип SiBar	Максимальное рабочее напряжение, $U_{DM} \text{ Max}$ (В)	Напряжение открывания, $U_{BO} \text{ Max}$ (В)	Минимальный ток открытого состояния, $I_H \text{ Min}$ (мА)	Напряжение в открытом состоянии, $U_T \text{ Max}$ (В)	Емкость, $C1 \text{ Typ}$ (пФ)
TVA270SA-L	270	365	150	3,0	22
TVB058SA-L	58	78	150	4,0	43
TVB170SA/ TVB170SA-L	170	265	150	4,0	20
TVB200SA/ TVB200SA-L	200	320	150	4,0	20
TVB270SA/ TVB270SA-L	270	365	150	4,0	20
TVB300SA-L	300	400	150	4,0	20
TVB200SB-L	200	320	150	4,0	25
TVB270SB-L	270	365	150	4,0	25
TVB300SB-L	300	400	150	4,0	25
TVB170SC/ TVB170SC-L	170	265	150	4,0	50
TVB200SC/ TVB200SC-L	200	320	150	4,0	50
TVB270SC/ TVB270SC-L	270	365	150	4,0	50
TVB300SC-L	300	400	150	4,0	50

Таблица 5. Параметры и система кодировки разрядников Raychem Circuit Protection GTCR38-231M-P10-FS

Серия	Количество выводов	Размеры, мм (диаметр×длина)	Напряжение срабатывания, В	Импульсный ток разряда, кА (10 импульсов 8×20 мкс)
GTCx26	2-электродный	6,0×4,3	от 100 до 350	2,5/5,0
GTCx28-xxxx-P05	2-электродный	8,0×6,0	от 75 до 800	5,0
GTCx28-xxxx-P15	2-электродный	8,0×6,0	от 72 до 420	15,0
GTCx28-xxxx-P0x	2-электродный	8,0×8,0/8,5/8,8	от 1000 до 4000	3,0/1,0
GTCx36	3-электродный	6,0×8,6	от 90 до 350	5,0/10,0
GTCx37	3-электродный	7,5×12,0	от 90 до 550	10,0
GTCx38	3-электродный	8,0×10,0	от 184 до 420	10,0/20,0

GT = Газоразрядник; C = Керамический разрядник;

R = Радиальные выводы (A — аксиальные, N — без выводов, T-образные);

3 = 3 электрода; 8 = 8 мм диаметр; 231 = Напряжение разряда 230 В;

M = Допуск по напряжению разряда 20%; P = Механизм термической защиты сверху; Q — снизу;

10 = 10 кА (амплитуда тестового воздействия, 10 импульсов 8×20 мкс);

FS = Механизм термической защиты (Fail-Short)

Таблица 6. Сравнительные характеристики элементов защиты по напряжению

Характеристика	Разрядник	Варистор	ТЭЗН	TVS-диод
Тип ВАХ по реакции на избыточное напряжение	переход	фиксация	переход	фиксация
Уровень гасимой энергии	очень высокий	высокий	высокий	низкий
Точность напряжения срабатывания $V(BO)$	низкая	низкая	высокая	высокая
Время активации	медленно	быстро	среднее	быстро
Емкость	очень низкая	высокая	средняя	низкая
Размеры	большие	средние	малые	малые
Стоимость	сравнительно высокая	низкая	средняя	средняя

нологиями защиты по напряжению). Обладая способностью пропускать большой ток и поглощать большое количество энергии, разрядники используются не только для защиты в телекоммуникационном оборудовании — кроссах, системах скоростной передачи данных (в том числе ADSL, VDSL), цифровых и аналоговых телефонных станциях, но и в устройствах помехозащиты, в блоках питания, источниках бесперебойного электропитания, системах ирригации.

В настоящее время в линейке продукции Raychem Circuit Protection имеются керамические газонаполненные разрядники с двумя и тремя электродами (табл. 5).

Завязка

На роль защиты по напряжению у нас имеются несколько кандидатов. Сравнительные особенности каждого сведены в таблице 6.

Если исходить из точности, быстродействия и малых размеров, наибольшие шансы каче-

ственно выполнить работу вторичного ЭЗН имеют полупроводниковые элементы, либо варистор, если есть возможность пренебречь точностью напряжения удержания и относительно высокой собственной емкостью.

Если же говорить о «первом рубеже обороны», то на эту роль следует утвердить либо SiBar, либо разрядник. По уровню поглощаемой энергии равных разряднику нет. А как же быстродействие? Ведь за несколько десятков микросекунд, требующихся на активацию разрядника, может пострадать защищаемое оборудование.

Вот тут-то на сцену выходит PolySwitch, призванный связать воедино работу вторичной и первичной защиты. Иными словами, координировать.

Кульминация с участием координации

Рекомендации ИТУ-Т К.44 определяют понятия «координация» и «координирующий элемент» следующим образом.

Координация — функция, при выполнении которой все защитные элементы (внутренние и внешние по отношению к оборудованию), реагируют таким образом, чтобы ограничить величину энергии, напряжения или тока до уровней, безопасных как для самих элементов защиты, так и для защищаемого оборудования.

Координирующий элемент — элемент, находящийся между первичной и вторичной защитой для нормализации влияния вторичной защиты на срабатывание первичной.

Координирующим элементом могут являться резисторы, индуктивные и емкостные элементы, а также участки длинной линии или кабеля. И, конечно, элементы с ПТК. Последний вариант представляется наиболее естественным (рис. 3), поскольку PolySwitch играет здесь двойную роль.

Как же происходит сама защита?

Рассмотрим поведение простейшей защитной цепочки (рис. 4), состоящей из разрядника с номинальным напряжением 400 В в качестве первичной защиты по напряжению; PolySwitch с начальным сопротивлением 6,7 Ом и SiBar — тиристорного ЭЗН с напряжением срабатывания 170 В — в роли вторичной защиты по напряжению. Допустим, данная цепочка подвергается грозовому разряду (фаза 1). Такое воздействие, согласно Рекомендациям ИТУ-Т К.20, моделируется импульсом напряжения амплитудой 4000 В и длительностью 700 мкс (с фронтом нарастания 10 мкс). Первым — за время порядка 1 мкс — на такое воздействие среагирует вторичный ЭЗН (фаза 2), а через 5 мкс SiBar будет полностью открыт (рис. 5). Все это время будет возрастать и ток через PolySwitch. Тем самым элемент защиты по току и выполняет свою координирующую миссию: нарастание напряжения на нем в течение нескольких микросекунд приводит к «поджигу» разрядника — срабатывает уже первичная защита (фаза 3).

Следует заметить, что важно правильно подбирать параметры разрядника и элемента ПТК: чем выше напряжение разряда, тем большее сопротивление должен иметь PolySwitch. Если, например, в той же схеме поменять PolySwitch на другой, с сопротивлением 3,5 Ом (рис. 6), пробой разрядника в нужное время не состоится. Классические схемы защиты спроектированы в расчете на активацию разрядника по фронту импульса напряжения; однако, принимая во внимание длительность импульса, можно использовать и ПТК с меньшим сопротивлением. В результате газонаполненный разрядник гасит опасную энергию грозового разряда и схема возвращается к нормальной работе (рис. 4, фаза 4).

Это, собственно, уже развязка нашей пьесы.

Финал — выход на аплодисменты

Поаплодируем артистам за удачно проведенный спектакль! Грамотно подобранная группа — залог успеха представления. Конечно, состав и количество участников, их расстановка и мизансцены могли быть и другими. Главное, что у режиссера, простите, разработчика, есть из чего выбирать.