

Варисторы фирмы EPCOS для защиты от перенапряжений.

Частой причиной выхода из строя оборудования, например блоков питания, является наличие в сети импульсов перенапряжения. Они могут быть вызваны различными электромагнитными помехами, связанными, скажем, с грозовыми разрядами, либо с коммутацией и разрядами индуктивных и емкостных элементов цепи, а также соответствующими переходными процессами.

На практике для защиты элементов цепи от импульсных перенапряжений используют RC-цепочки, LC-фильтры, а также специальные устройства, называемые разрядниками. Разрядники обычно подключаются параллельно защищаемому оборудованию и представляют собой нелинейные резисторы с высоким сопротивлением в обычном состоянии (рабочее, открытое состояние), и резко уменьшенным после приложения импульсного напряжения.

К числу разрядников обычно относят:

- газонаполненные (искровые) разрядники (Surge Arresters);
- кремниевые лавинные (ограничительные) диоды. Например, стабилитроны (Zener diodes) или, так называемые, высокоскоростные ограничители напряжения (Transient Voltage Suppressors, TVS);
- варисторы.

Газонаполненные разрядники характеризуются наиболее широким диапазоном напряжений срабатывания. Однако, к их недостаткам следует отнести

1) недопустимо большое падение напряжения на разряднике, которое может возникать перед его срабатыванием и приводить к повреждению защищаемого элемента

2) в некоторых случаях, из-за малого напряжения горения газоразрядника, в цепях постоянного тока, он не гасится.

Поэтому возможен тепловой перегрев и разрушение разрядника за счет остаточного тока.

Кремниевые ограничительные диоды обычно имеют свойство однополярности. Их вольт-амперная характеристика [ВАХ], хотя и обладает обычно большой крутизной, но не является симметричной относительно напряжения.

Конечно, допускается возможность встречного включения двух диодов (в комбинации с резисторами для ограничения тока через диод, и конденсатором для фильтрации), однако альтернативный вариант с одним варистором является более дешевым (ввиду низкой стоимости варисторов) и более простым конструктивно, с учетом малых¹ размеров варисторов. Соответственно, экономится необходимая площадь монтажа на плате, затраты по монтажу и снижается общая вероятность сбоев в данном узле схемы.

С другой стороны, малый объем р-п перехода ограничительного диода значительно ограничивает величину допустимого импульсного тока. Варисторы за счет рассеивания тока в объеме кристалла допускают значительно большие токи (измеряемые в кА).

Ввиду указанных недостатков остальных разрядников, часто наиболее целесообразным решением является использование *варисторов*.

Варистор - резистивный элемент с резко выраженной нелинейной ВАХ и поликристаллической структурой.

Фирма Epcos производит варисторы марки S10V из наиболее популярного для этих целей оксида цинка ZnO.

Симметричность ВАХ варистора является одним из его преимуществ перед ограничительными диодами.

По конструкции корпуса варисторы фирмы Epcos можно условно разделить на 4 основные группы:

1. поверхностного монтажа (SMD), размеры от 0402 до 4032 (включая 0805 и 2220).
2. дисковые выводные (плоский круглый или прямоугольный корпус с выводами)
3. силовые (различных типов), например, так называемого *блочного* типа, рассчитанные на большую мощность
4. гибридные (варисторные разрядники)

Важное свойство варистора, обеспечивающее безопасность защищаемых объектов от импульсных помех и быстрых переходных процессов, - его быстроедействие (безинерционность). Время срабатывания варистора, например, существенно меньше постоянной времени термисторов (которая измеряется в единицах секунд). Высокое быстроедействие варистора производитель можно реализовать, только обеспечив достаточно малую индуктивность выводов изделия.

Наименьшей индуктивностью обладают безвыводные (т.е. SMD) варисторы. Время срабатывания варисторов EPCOS:

1. дисковых выводных стандартных серий - весьма низкое (25 нс);
2. SMD-варисторов - исключительно низкое (от 0,5 нс до единиц нс).

Являясь разрядником, варистор, в простейшем случае, устанавливается параллельно защищаемой схеме, последовательно с внутренним сопротивлением источника помех (имеется ввиду сопротивление линии передачи данных с учетом омического импеданса кабеля). При отсутствии перенапряжения ток через варистор очень мал.

Принцип защиты схемы варистором (рис. 1) состоит в резком уменьшении его внутреннего сопротивления до долей Ом при возникновении импульса напряжения, и соответствующее шунтирование защищаемого объекта. Результатом является резкое увеличение тока, протекающего через варистор.

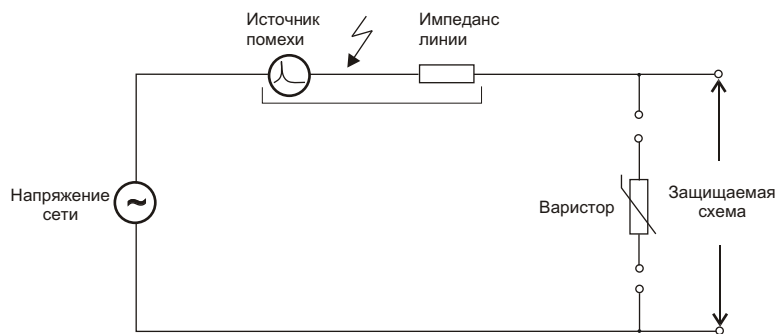


Рис.1

¹ Наименьшими размерами обладают SMD-варисторы (например, серия S10V-CN0402 с типоразмером 0402 стандарта EIA). Также очень малы размеры дисковых варисторов EPCOS : серия S10V-S05 обладает диаметром корпуса (диска) 5 мм

В каталогах EPCOS на каждый варистор представлены две таблицы параметров:

- 1) так называемые Максимальные значения параметров (Maximum Ratings), к которым отнесены $V_{RMS}, V_{DC}, i_{MAX}, W_{MAX}, P_{MAX}$
- 2) так называемые Электрические параметры (Characteristics), к которым отнесены $V_V, V_V(1mA), V, C_{тип}$

Основными параметрами, которых достаточно, чтобы, в основном, охарактеризовать варистор EPCOS, можно считать:

1. Номинальное (рабочее) напряжение V_n (постоянное V_{DC} или переменное V_{RMS})
2. Так называемые ток перегрузки (импульсный) i_{max} или энергия абсорбции W_{max} .
3. Средняя рассеиваемая мощность P_{max}
4. Макс. напряжение ограничения V (Maximum Clamping Voltage)

Что определяют данные параметры?

1. Номинальное напряжение (V_{RMS} или V_{DC}) - максимальное напряжение, которое должно быть приложено к варистору (в постоянном, рабочем режиме). Оно может быть превышено только (кратковременным) импульсом перенапряжения.
2. Величина тока перегрузки i_{MAX} 8/20 (см. рис. 2) характеризует амплитуду, длительность и число импульсов тока стандартной формы (символ "8/20" определяет параметры отдельного импульса - см. рис. 3), которые могут быть приложены к варистору в течение всего его срока эксплуатации.

$i_{MAX}=f(t_r)$ - одна из двух графических характеристик варистора EPCOS.

Энергия абсорбции (поглощения) варистора EPCOS $W_{MAX}(2мс)$ - величина, пропорциональная $i_{MAX}8/20$.

$W_{MAX}(2мс)$ - энергия, поглощаемая (рассеиваемая) варистором при протекании через него импульса тока прямоугольной формы длительностью 2 мс:

$$W_{MAX}(2мс) = \int_0^{2мс} v(t) \times i(t) dt \quad (\text{в пределах } t=0\dots2мс), \quad v(t) - \text{мгновенное падение напряжения на варисторе}$$

Обычно при выборе конкретного варистора используют именно величину W_{MAX} (а не $i_{MAX}8/20$).

3. Параметр P_{max} необходимо учитывать, когда варистор не успевает рассеивать тепло в промежутках между приложенными импульсами тока и значительно нагревается. P_{max} , в основном, определяется геометрическими размерами варистора и конструкцией выводов.

В остальных случаях для выбора варистора достаточно знать V_n .

4. Максимальное напряжение ограничения V - максимальное кратковременное (пороговое) напряжение (т.е. перенапряжение), которое может быть приложено к варистору.

Параметр $V_V(1mA)$ определяет падение напряжения (постоянное) на варисторе при протекании через него тока в 1mA. В российской терминологии эта же величина называется классификационным напряжением $U_{кл}$ (соответственно, $i=1mA$ - классификационный ток). В западной литературе величине $V_V(1mA)$ порой не придают особого смысла. Но она удобна при подборе импортных варисторов в качестве замены отечественным, в частности, варисторами EPCOS.

В большинстве случаев, выбор конкретного варистора осуществляют по следующим параметрам цепи:

1. по номинальному (рабочему) напряжению цепи определяют V_{RMS} (или V_{DC}) (с учетом допуска сетевого напряжения, скажем +10% к номинальному).
2. уточняют необходимую энергию абсорбции W_{MAX} варистора
3. выбирают максимальное напряжение ограничения V варистора (величину перенапряжения)

Выбранные значения пп. 2 и 3 могут быть больше либо равны реальным значениям/требованиям цепи.

Но, например, выбор завышенного значения перенапряжения V влечет за собой увеличение тока утечки варистора.

В качестве графических характеристик, на каждую серию варисторов в каталогах EPCOS приводятся:

- 1) уровень максимально допустимого периодического импульсного тока $i_{max}=f(t_r)$ при различном количестве импульсов и их длительности (Рис.2: характеристика $i_{max}=f(t_r)$).
- 2) ВАХ варистора

Эти характеристики имеют один и тот же вид для варисторов EPCOS различного исполнения (SMD, дисковые, силовые...).

Рассмотрим подробнее каждую из характеристик.

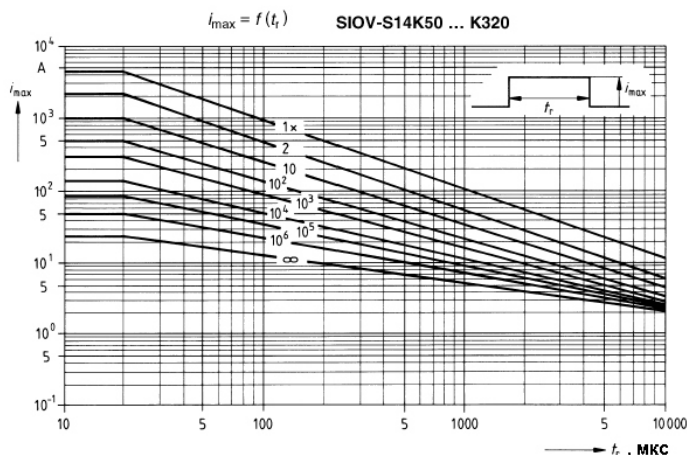


Рис. 2.
Характеристика $i_{max}=f(t_r)$
для варисторов серии
SIOV-S14K50...K320

² Необходимо подчеркнуть, что величина $V_V(1mA)$ указана в каталогах EPCOS для каждого варистора, что упрощает процедуру подбора варистора EPCOS для замены отечественного изделия.

1) Характеристика $i_{max}=f(t)$ (см. Рис.2)

Множители "1x", "2", "10"... на графике Рис.2 соответствуют максимальному количеству импульсов, приложенных к варистору. Кривая $i_{max}=f(t)$ - кусочно-линейная, с постоянным значением i_{max} в пределах до 20 мкс, и линейным спаданием i_{max} при увеличении длительности импульса более 20 мкс. Масштаб графика - логарифмический, цифрами "5" обозначена середина для каждого из подинтервалов степени 10. Зависимость $i_{max}=f(t)$ определяется (в первую очередь) размером диска варистора, а также, его номинальным напряжением.

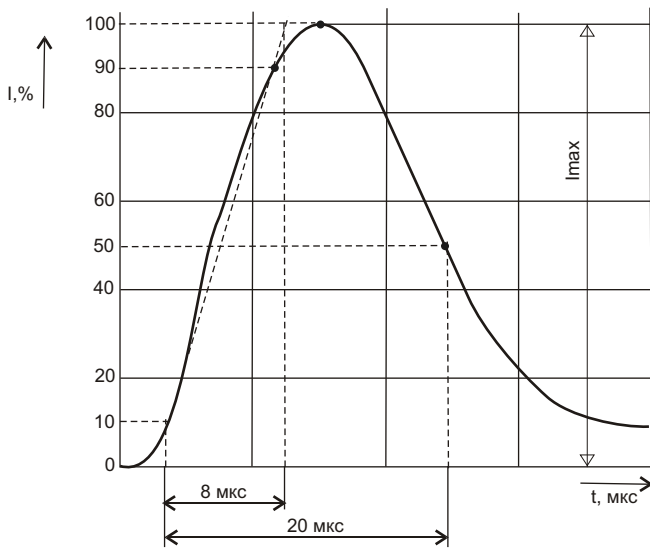


Рис. 3. Форма одиночного тестового импульса тока, воздействующего на варистор. Стандартное представление (импульс грозового разряда) в виде кривой с длительностью переднего фронта 8 мкс и временем полуспада 20 мкс от максимума импульса (обозначают " $i_{max} 8/20$ ")

2) ВАХ варистора

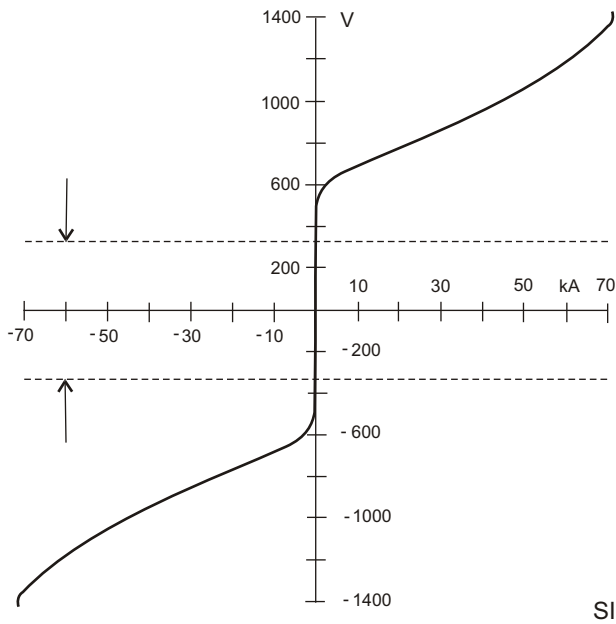


Рис.4. ВАХ варистора SIOV-B60K250 (варистор блочного типа). Выделенный интервал соответствует рабочему диапазону напряжений

Участок резкого роста тока на ВАХ варистора аппроксимируется его экспоненциальной зависимостью от напряжения $i = k V^a$, где k - керамическая постоянная (материала), V - напряжение, приложенное к варистору, a - коэффициент нелинейности.

Для варисторов EPCOS³ коэффициент a можно рассчитать по ВАХ в пределах изменения тока от значения $i_1=1mA$ до $i_2=1A$ по формуле: $a = \log(i_2/i_1)/\log(V_2/V_1)$

³ Для отечественных варисторов при определении коэффициента часто выбирают другие значения тока, например 10mA и 1A и т. п.

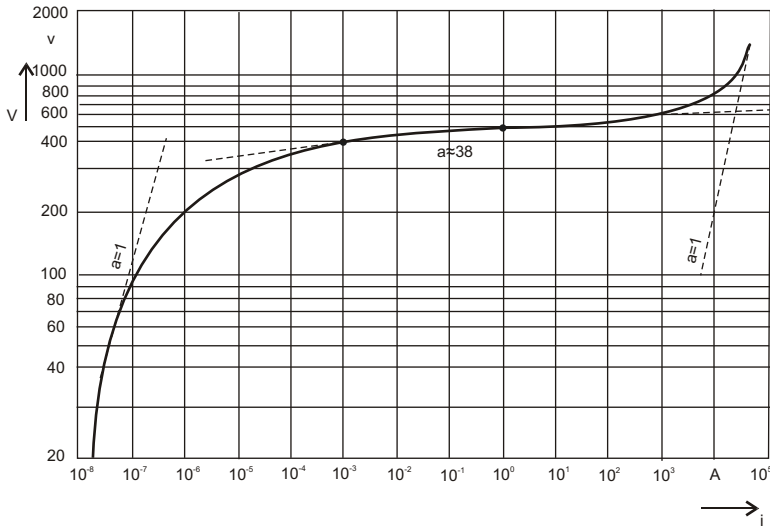


Рис.5
Участок ВАХ (первый квадрант рисунка 4), по которому рассчитывается коэффициент нелинейности a . (В данном случае $a = 38$).

Сопротивление варистора: $R = V/i = 1/k \times V^{1-a}$

ВАХ-характеристики рис.4 и рис.5 служат лишь наглядной иллюстрацией функционирования варистора и не учитывают допуска по напряжению ΔV_v варистора (а также, допуска по току). Наличие некоторого допуска (разброса) связано, в частности, с определенной точностью процесса производства варисторов. Допуск напряжения варистора EPCOS определяется по его ВАХ при токе 1мА (точка 3, рис.6а). Стандартный допуск - 10%.

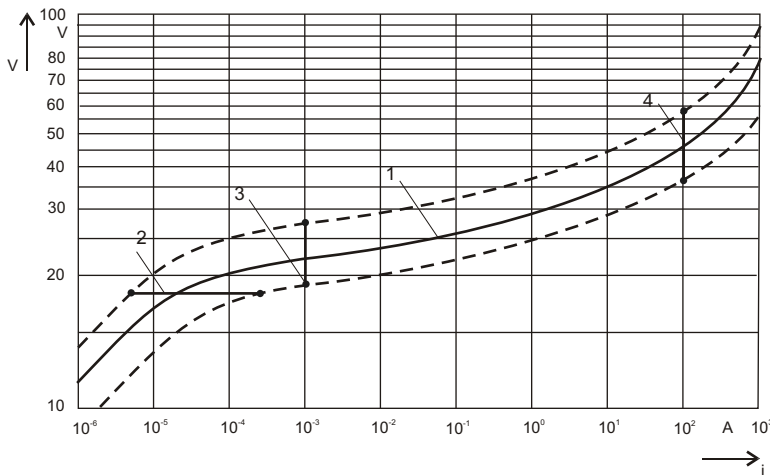


Рис.6а. ВАХ SIOV-S14K14 (дисковый варистор) с учетом допуска (10%). Пунктиром обозначены границы допуска, цифрой 1 - среднее значение функции $i = k V^a$

На практике, в целях удобства расчета предельного режима работы варистора, его ВАХ с учетом допуска разделяют (условно) на 2 части (рис.6б):

- 1) при токе ниже 1мА (левая часть)
- 2) при токе выше 1мА (правая часть)

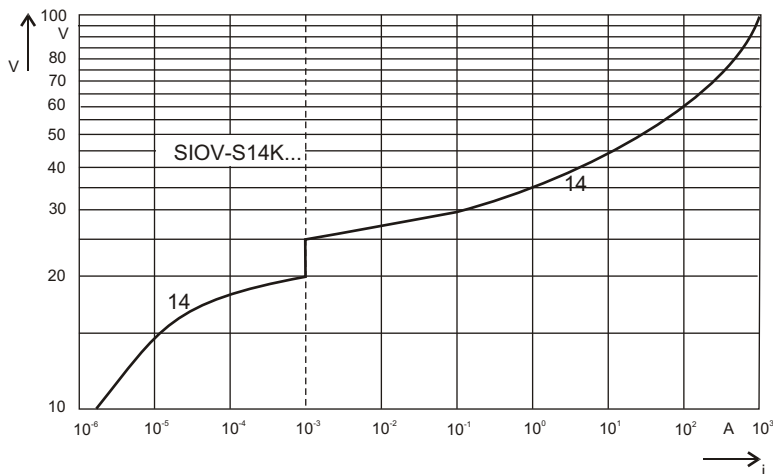


Рис.6б. ВАХ варистора SIOV-S14K14 ВАХ такого вида (т.е. с учетом допуска по току утечки и падению напряжения) приводятся в каталогах EPCOS на каждый варистор.

Левая часть (она же, нижняя) кривой ВАХ (рис.6) указывает на максимальный ток утечки варистора (существенный при эксплуатации варистора в рабочем состоянии, т.е. при отсутствии помехи). Эту часть кривой также условно называют высокоомным состоянием варистора.

Линия, соединяющая значения напряжения 20В и 25В не имеет особого физического смысла и служит лишь для соединения ("сшития") двух частей ВАХ. При этом точке 3, рис.6 соответствует $V_v = U_{кл} = 22В$ (с учетом среднего значения функции, обратной функции $i = k V^a$, при $i = 1мА$).

Правая часть (она же, верхняя) кривой ВАХ указывает на максимальное падение напряжения на варисторе (в этом низкоомном состоянии именно падение напряжения является определяющим параметром ВАХ варистора).

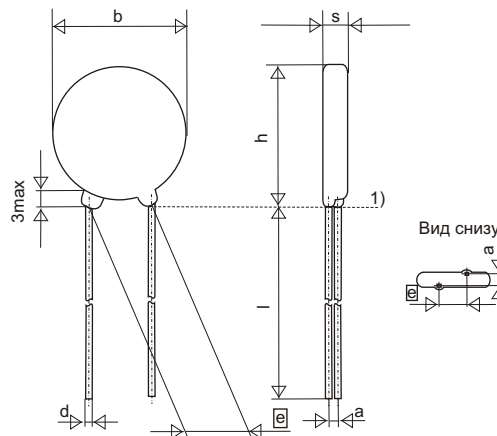
Таким образом, для каждого варистора EPCOS, с учетом его конкретного диаметра и номинального напряжения, в каталоге EPCOS⁴ представлена его ВАХ, с учетом допуска.

Причем разработчику предоставлена возможность непосредственного выбора варистора с заданным током утечки (в высокоомном состоянии) и максимальным падением напряжения на варисторе (в низкоомном состоянии).

Параметры стандартной серии SIOV-S дисковых варисторов фирмы EPCOS, предназначенной для ограничения тока на входе блока питания:

- диаметр диска 5, 7, 10, 14, 20 мм (размер "b" на рис.7)
- номинальное рабочее напряжение V_{RMS} : 11В...1100В,
- импульсный ток I_{MAX} - до 10 кА,
- импульсное (предельное) напряжение V : 36В... 3кВ,
- рабочий температурный диапазон -40°...+85° С.

Рис. 7 . Внешний вид дискового варистора (серия SIOV-S) фирмы EPCOS.



Хотя варисторы EPCOS имеют широкий диапазон номинальных напряжений с малым шагом, на практике точный подбор напряжения может быть обеспечен комбинированным соединением варисторов (результат - более надежная защита схемы при известном рабочем напряжении).

Достаточно легко рассчитать режим работы варисторов при их последовательном включении⁵: падение напряжения на каждом варисторе пропорционально его сопротивлению (приблизительно - пропорционально номинальному напряжению). Поглощаемая энергия находится в той же пропорции.

Например, необходимо получить номинальное (переменное) рабочее напряжение 350В для варистора EPCOS с диаметром диска 14мм. Ближайшие модели EPCOS: S14K320 (номинальное напряжение 320В) и S14K320385В (385В). Поэтому, следует использовать последовательно два варистора по S14K320175В (175В).

При параллельном включении варисторов необходимо обеспечить совпадение их ВАХ.

Некоторым недостатком варистора является его обычно высокая собственная емкость, ограничивающая возможность применения изделий на высоких частотах (из-за соответствующего шунтирования линии малым импедансом). В линиях передачи данных варисторы используют тогда, когда вносимая ими емкость не оказывает существенного влияния на передаваемую информацию. В каталогах EPCOS значение емкости C_{typ} указано для каждого варистора (для частоты 1кГц) оно составляет:

- от сотен пФ до примерно 20 000 пФ (дисковые варисторы, емкость растет с увеличением диаметра диска, но уменьшается с повышением уровня максимального напряжения ограничения)
- от десятков пФ до нескольких тысяч пФ (SMD варисторы).
Емкостной фактор существенен только в отсутствии тока через варистор, т.к. с увеличением приложенного напряжения емкость варистора падает (по нелинейному закону). При максимально допустимом падении напряжения на варисторе, его емкость близка к нулю.

В коаксиальных линиях и высокоскоростных линиях передачи данных (интерфейсах), где требуется малая емкость ограничителя, может быть использованы упомянутые выше⁶ TVS-ограничители или многослойные SMD-варисторы.

Наоборот, варисторы с повышенной емкостью, например серия SHCV EPCOS (емкость 0,47...4,7мкФ), могут быть использованы для шумопоглощения. Эта серия применяется также в автомобильной промышленности.

Кроме перечисленных функций, варисторы (промежуточной емкости) могут применяться, например, в фильтрах - для замены конденсаторов и преобразования частоты сигнала (преимущество перед конденсатором - защита от импульсных воздействий, сокращение общего количества необходимых элементов фильтра).

В целом, варисторы также могут использоваться для стабилизации и преобразования напряжения (в отличие от газоразрядников и ограничительных диодов, рассчитанных только на защиту оборудования от перенапряжения).

⁴ Полная техническая информация размещается на сайте EPCOS в интернете: www.epcos.com

⁵ Последовательно следует соединять варисторы с одинаковым диаметром диска.

⁶ Термин TVS используется, в основном, в западной литературе. Он иногда относится к конкретной подгруппе разрядников (с определенными параметрами: в частности, малой емкостью), а иногда - ко всем устройствам защиты от перенапряжения, включая стабилитроны и проч.

Не секрет, что близкими по своим (заявленным⁷) параметрам к основным параметрам варисторов EPCOS, можно рассматривать российские серии дисковых (и шайбовых) варисторов:

- 1) СН2-1-х, (в соответствии с ГОСТ, именуемые шайбовыми)
- 2) ВР-1-х, ВР-4-х

1) Шайбовые варисторы СН2-1-х отличаются от дисковых варисторов EPCOS в среднем большими габаритными размерами:

- а) значительная толщина шайбы (минимальная - 4мм) относительно диска (минимальная толщина диска варистора EPCOS - 3,3мм).
- б) при том же номинальном (или классификационном) напряжении, варисторы EPCOS обладают существенно меньшим диаметром диска, практически для всего ряда напряжений. С другой стороны, при том же диаметре, варистор EPCOS обеспечивает большую мощность поглощения.

Кроме того, только для стандартной SIOV-S серии варисторов EPCOS предусмотрено 6 различных диаметров диска (5, 7, 10, 14, 20 мм), не считая специализированных групп (автомобильные, телефонные, повышенной емкости и др.). В то же время отечественные выводные дисковые варисторы представлены практически только группой СН2-1-х с четырьмя (заявленными) номиналами диаметра. При этом серия СН2-1-х перекрывает в лучшем случае половину всего диапазона номинальных напряжений, на которые рассчитаны варисторы SIOV-S.

Варисторы SIOV-S заменяют СН2-1-х, при равенстве $V_v(1mA)$ первых и $U_{кл}$ вторых, и соответствии поглощаемой мощности (практически, варистор заменяют аналогом с соответствующим напряжением и близким размером диаметра), например:

- (D=19мм) СН2-1а-430В → SIOV- S20K275 (D=20мм)
- (D=19мм) СН2-1а-680В → SIOV- S20K420 (D=20мм)
- (D=12мм) СН2-1б-430В → SIOV- S10K95 (D=10мм)

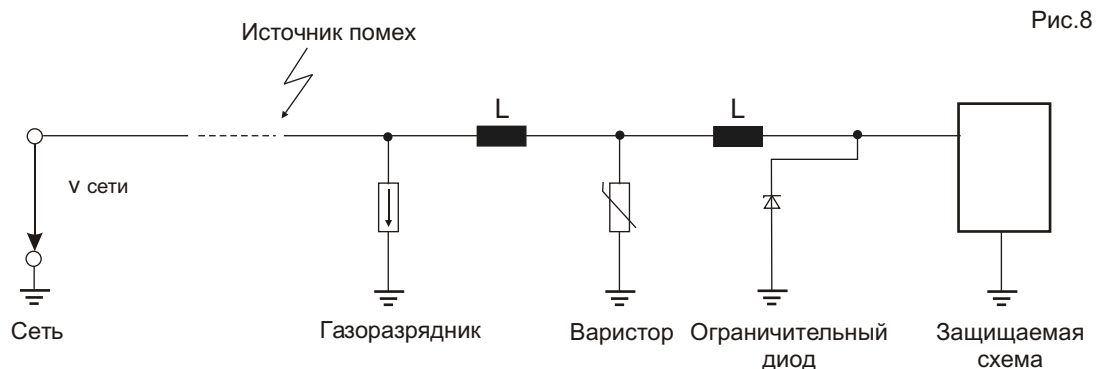
2) Варисторы ВР-1-х, ВР-4-х являются (особенно ВР-4-х) являются менее распространенными, чем, например, СН2-1-х. При этом, серия ВР-1-х охватывает весьма ограниченный диапазон номинальных напряжений (в лучшем случае, соответствующий $U_{кл} = 10...220В$).

Иногда, к использованию также предлагаются варисторы серии СН2-2-х. Однако они отличаются весьма громоздкими габаритами и специализированным типом корпуса, менее удобным при широком использовании.

Можно было бы указать также на малую доступность технической информации по отечественным варисторам, ее достоверность и, порой - сравнительно низкое качество самих изделий, но это - отдельная тема... Здесь следует отметить высокое качество технологического процесса производства изделий EPCOS.

После рассмотренного круга вопросов, связанных с особенностями варисторов EPCOS, заметим, что кроме перечисленных основных типов разрядников, существуют также комбинированные устройства. Например, варисторные разрядники, обладающие свойствами варисторов, но рассчитанные на работу в менее характерном для варисторов диапазоне напряжений. Таковы варисторные разрядники фирмы EPCOS, с высоким номинальным напряжением (3кВ и 6кВ) и исключительно высоким импульсным током (65кА, 100кА).

Перегрев варистора, за счет протекания через него тока с чрезмерной длительностью, может приводить к необратимым изменениям его ВАХ. Для обеспечения надежной защиты устройства, когда помеха проявляется в виде быстрых перепадов напряжения с большой амплитудой, при частом следовании таких перепадов, следует применять комбинацию⁸ из несколько защитных элементов. Например, варистор, установленный параллельно газоразряднику, защищает его от остаточного тока. Далее, параллельно можно установить стабилитрон. Для развязки каждого фильтрующего элемента от последующего, между ними устанавливают дроссели (Рис.7).



В заключении можно подчеркнуть, что применение варисторов EPCOS в составе защитного (по перенапряжению) оборудования позволяет:

- обеспечить необходимую защищенность от электромагнитных помех (ЭМП)
- эффективно и просто реализовать функции защиты
- сократить габаритные размеры устройства в целом
- обеспечить малый пусковой ток и потери мощности
- в результате обеспечить долгий гарантированный срок эксплуатации оборудования с исключением сбоев в работе

⁷ Как известно, не всегда можно реально и в необходимом количестве (с учетом, скажем, периодической потребности) приобрести отечественные комплектующие, проходящие по номенклатуре, с учетом конкретных номиналов и заданными параметрами.

⁸ С учетом указанных в начале статьи особенностей каждого типа разрядников.