

ЕРСОС: ПАССИВНЫЕ КОМПОНЕНТЫ СИЛОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

СОДЕРЖАНИЕ

ВАРИСТОРЫ	18
СВОДНАЯ ТАБЛИЦА ВАРИСТОРОВ	3
ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ВАРИСТОРАХ	4
ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ВАРИСТОРОВ	6
ПРИМЕНЕНИЕ ВАРИСТОРОВ В СИСТЕМЕ ЗАЩИТЫ	7
БЛОЧНЫЕ ВАРИСТОРЫ	14
НАКЛАДНЫЕ ВАРИСТОРЫ	16
СИЛОВЫЕ ДИСКОВЫЕ ВАРИСТОРЫ	17
БЛОЧНЫЕ ВАРИСТОРНЫЕ РАЗРЯДНИКИ	17
ИОНИСТОРЫ	18
КОНДЕНСАТОРЫ	22
ВВЕДЕНИЕ	22
ОСНОВНЫЕ ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ	22
ОСНОВНЫЕ ТИПЫ КОНДЕНСАТОРОВ	25
ТАБЛИЦА ВЫБОРА КОНДЕНСАТОРОВ	26
ОПИСАНИЕ ПАРАМЕТРОВ	27
ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИМВОЛОВ	29
В 25 353 МР DC-КОНДЕНСАТОРЫ ДЛЯ СГЛАЖИВАЮЩИХ, ПИТАЮЩИХ ЦЕПЕЙ И ЦЕПЕЙ РАЗРЯДА	30
В 25 355 МР DC-КОНДЕНСАТОРЫ ДЛЯ СГЛАЖИВАЮЩИХ, ПИТАЮЩИХ ЦЕПЕЙ И ЦЕПЕЙ РАЗРЯДА	31
В 25 556 МРК DC-КОНДЕНСАТОРЫ ДЛЯ ФИКСАЦИИ УРОВНЯ GTO-ИНВЕРТОРОВ	36
В 25 650 МКК DC-КОНДЕНСАТОРЫ ДЛЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ РЕЗОНАНСНЫХ КОНТУРОВ, ЦЕПЕЙ РАЗРЯДА	37
В 25 832 МКВ AC-КОНДЕНСАТОРЫ ОБЩЕГО ПРИМЕНЕНИЯ	39
В 25 834 МКВ AC-КОНДЕНСАТОРЫ ДЛЯ ДЕМПИРУЮЩИХ И КОММУТИРУЮЩИХ ЦЕПЕЙ	42
В 25 835 МКВ AC-КОНДЕНСАТОРЫ ДЛЯ ДЕМПИРУЮЩИХ ЦЕПЕЙ	47
В 25 838 МКВ AC-КОНДЕНСАТОРЫ ДЛЯ ДЕМПИРУЮЩИХ И КОММУТИРУЮЩИХ ЦЕПЕЙ	49
В 25 839 МКВ AC-КОНДЕНСАТОРЫ ДЛЯ ПЕРЕХОДНЫХ И ДЕМПИРУЮЩИХ ЦЕПЕЙ	51
В 25 855 МКВ AC-КОНДЕНСАТОРЫ ДЛЯ ДЕМПИРОВАНИЯ И ФИКСАЦИИ УРОВНЯ GTO-ИНВЕРТОРОВ	53
В 25 856 МКВ AC-КОНДЕНСАТОРЫ ДЛЯ ДЕМПИРОВАНИЯ И ФИКСАЦИИ УРОВНЯ GTO-ИНВЕРТОРОВ	56
В 25 667 МКК AC-КОНДЕНСАТОРЫ ДЛЯ СХЕМ ФИЛЬТРОВ И КОРРЕКЦИИ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ («PHASECAP™»)	58
НОВЫЕ СИЛОВЫЕ КОНДЕНСАТОРЫ	60



Москва

Издательский дом «Додэка-XXI»

ВАРИСТОРЫ

СВОДНАЯ ТАБЛИЦА ВАРИСТОРОВ

Варисторы для поверхностного монтажа*

Прибор	Рабочее напряжение V_{RMS}	Ток перегрузки I_{MAX}	Энергия поглощения W_{MAX}
	[В]	[кА]	[Дж]
Стандартные			
CN0603	4...14	0.03	0.1...0.2
CN0805	4...25	0.08...0.12	0.1...0.3
CN1206	4...60	0.15...0.2	0.3...1.1
CN1210	4...60	0.25...0.4	0.4...2.3
CN1812	4...60	0.5...0.8	0.8...5.8
CN2220	4...60	0.8...1.2	1.4...12.0
CU3225	11...300	0.1...0.4	0.3...9.6
CU4032	11...300	0.25...1.2	0.8...23.0
Автомобильные			
CN0805	14	0.12	1
CN1206	14	0.2	1.5
CN1210	14	0.4	3
CN1812	14	0.8	6
CN2220	14...30	1.2	12.0...25.0
CU3225	14...30	0.1	6
CU4032	14...30	0.25	12
Для техники связи			
CN1812	0.25...0.4	5.0...6.0	60...95
CU4032	1.2	4.8...7.6	60...95

Блочные варисторы

Прибор	Рабочее напряжение V_{RMS}	Ток перегрузки I_{MAX}	Энергия поглощения W_{MAX}	Страница
	[В]	[кА]	[Дж]	
B32	130...750	25	210...800	14
B40	75...750	40	190...1200	
B60	130...1100	70	490...3000	
B800	130...1100	100	660...6000	

Накладные варисторы

Прибор	Рабочее напряжение V_{RMS}	Ток перегрузки I_{MAX}	Энергия поглощения W_{MAX}	Страница
	[В]	[кА]	[Дж]	
LS40	130...750	40	310...1200	16

Дисковые варисторы*

Прибор	Рабочее напряжение V_{RMS}	Ток перегрузки I_{MAX}	Энергия поглощения W_{MAX}
	[В]	[кА]	[Дж]
Стандартные			
SR1210	4...8	0.25...0.4	0.4...1.0
SR2220	4...8	1.0...1.2	1.4...4.2
S05	11...460	0.1...0.4	0.3...1.8
S07	11...460	0.25...1.2	0.8...36
S10	4...60	0.8...1.2	1.4...12
S14	11...300	0.1...0.4	0.3...9.6
S20	11...300	0.25...1.2	0.8...23.0
Автомобильные			
SR1210	14	0.4	3
SR1812	14	0.8	6
SR2220	14	1.2	12
S07	14	0.25	12
S10	14...17	0.5	25
S14	14...30	1	50
S20	14...30	2	100
Для техники связи			
S07	60...95	1.2	4.8...7.6

Мощные варисторы

Прибор	Рабочее напряжение V_{RMS}	Ток перегрузки I_{MAX}	Энергия поглощения W_{MAX}	Страница
	[В]	[кА]	[Дж]	
PD80	1100	100	6000	17

Блочные разрядники

Прибор	Номинальное напряжение V_R	Ток перегрузки I_{MAX}	Страница
	[В]	[А]	
E32	3; 6	65	17

* Более подробная информация по варисторам фирмы «Epcos» представлена в издании «Варисторы и разрядники фирмы «Siemens&Matsushita», БЭК, вып. 12.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ВАРИСТОРАХ

Источники перегрузок энергосистем

Основное предназначение варисторов — защита электронных и электроэнергетических систем от воздействия различного вида помех: бросков напряжения в сети, сильных электромагнитных полей, молний, электростатических разрядов. Помимо защиты от внешних воздействий, варисторы предохраняют системы от внутренних перегрузок, возникающих, например, при индуктивных типах нагрузки, искрении, непосредственном подсоединении к высокому напряжению, при взаимоиндукции или взаимном влиянии емкостей.

Механизм функционирования варисторов

Защита с помощью варистора базируется на свойствах его вольт-амперной характеристики (Рис. 1).

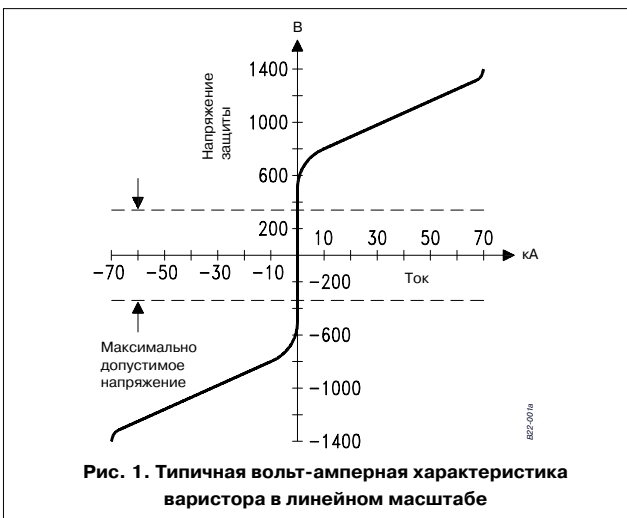


Рис. 1. Типичная вольт-амперная характеристика варистора в линейном масштабе

В области допустимых напряжений сопротивление варистора велико, и его подключение параллельно электронной схеме на ее работу практически не влияет. Когда же входное напряжение по каким-либо причинам превышает максимально допустимое, сопротивление варистора резко падает, и таким образом он выполняет роль низкоомного шунта, защищая электронное устройство от разрушения.

Такие свойства варистора определяются его внутренней структурой, состоящей из поликристаллической керамики, полученной высокотемпературным отжигом окиси цинка с добавками оксидов металлов.

На Рис. 2 в упрощенном виде представлен механизм проводимости варистора.

Рабочее тело варистора содержит кристаллы окиси цинка, обладающие высокой проводимостью, и аморфные оксиды металлов, заполняющие промежутки между кристаллами и имеющие высокое сопротивление. Образующиеся при спекании контакты между кристаллами окиси цинка имеют характеристики, подобные характеристикам симметричных зенеровских диодов с пробивным напряжением 3.5 В. Приведенная на Рис. 2 зависимость тока от напряжения иллюстрирует характер поведения одного такого микроваристора, а вольт-амперная характеристика (Рис. 1) является результатом последовательно-параллельного соединения всех микроваристоров.

Изменяя соответствующие геометрические размеры керамического слоя и размеры зерен, можно влиять на электрические параметры варистора. Так, например, увеличение вдвое толщины или пло-

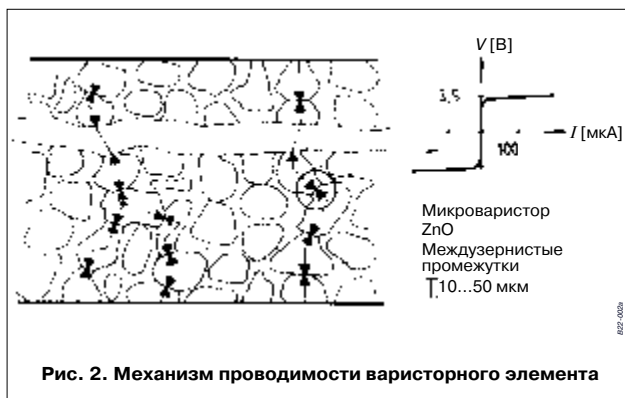


Рис. 2. Механизм проводимости варисторного элемента

щади рабочего слоя поликристаллической керамики приводит к увеличению в два раза, соответственно, максимально допустимого напряжения или допустимой нагрузки по току, поскольку добавленные микроваристоры соединены последовательно в первом случае и параллельно во втором. В обоих случаях вдвое возрастает энергия поглощения вследствие соответствующего увеличения числа кристаллов окиси цинка.

Управляя процессом спекания при производстве варисторов, можно изменять размеры кристаллов от 15 до 100 мкм, что позволяет получить набор варисторов одинаковой геометрии с изменяющимся максимально допустимым напряжением в соответствии с градиентом 30...200 В/мм.

Эквивалентная схема

На Рис. 3а представлена упрощенная эквивалентная схема металлоокисного варистора, включающая конденсатор, катушку индуктивности и резисторы R_{IG} и R_B , характеризующие соответственно, ем-

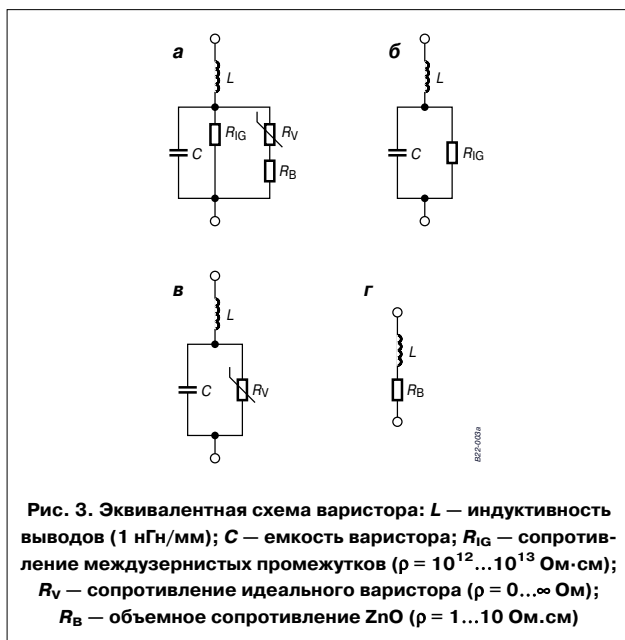


Рис. 3. Эквивалентная схема варистора: L — индуктивность выводов (1 нГн/мм); C — емкость варистора; R_{IG} — сопротивление междузернистых промежутков ($\rho = 10^{12} \dots 10^{13}$ Ом·см); R_V — сопротивление идеального варистора ($\rho = 0 \dots \infty$ Ом); R_B — объемное сопротивление ZnO ($\rho = 1 \dots 10$ Ом·см)

кость варистора, индуктивность выводов, сопротивление межкристаллических промежутков и объемное сопротивление зерен окиси цинка.

Резистор R_V символизирует сопротивление идеального варистора.

Конденсатор, входящий в состав эквивалентной схемы, отражает емкостные свойства варистора. Его конструкция по сути представляет собой конденсатор, емкость которого пропорциональна площади электродов и обратно пропорциональна расстоянию между ними.

Катушка индуктивности в составе эквивалентной схемы характеризует индуктивность собственно варистора и индуктивность корпуса с выводами.

Область допустимых токов варистора можно разделить на три части: область токов утечки ($<10^{-5}$ А), область рабочих токов ($10^{-4} \dots 10^3$ А) и область больших токов ($>10^3$ А). В области токов утечки сопротивление варистора (R_V) бесконечно велико, поэтому сопротивлениями R_V и R_B можно пренебречь. В этом случае эквивалентная схема принимает вид, изображенный на **Рис. 3б**. Такая схема справедлива для напряжений, находящихся ниже максимально допустимого уровня, а вольт-амперная характеристика варистора в этой области линейна, и ее наклон определяется сопротивлением межзернистых промежутков (R_{IG}). Следует заметить, что сопротивление R_{IG} имеет ярко выраженную зависимость от температуры, с ее ростом ток утечки увеличивается, соответственно увеличивается и наклон вольт-амперной характеристики.

Парадокс варистора заключается в том, что область его рабочих токов начинается там, где заканчивается область допустимых напряжений защищаемой системы. Здесь сопротивление идеального варистора заметно уменьшается, и соотношение резисторов изменяется: $R_B \ll R_V \ll R_{IG}$. Эквивалентная схема принимает вид, представленный на **Рис. 3в**, а вольт-амперная характеристика хорошо аппроксимируется экспоненциальной зависимостью с показателем степени $\alpha > 30$.

В области больших токов сопротивление идеального варистора очень мало и соотношение резисторов снова меняется: $R_V \ll R_{IG}$, $R_V \ll R_B$. Эквивалентная схема в этом случае принимает вид, показанный на **Рис. 3г**, а омическое сопротивление объема зерен окиси цинка (R_B) определяет линейный характер вольт-амперной характеристики.

Вольт-амперная характеристика

Вольт-амперная характеристика варистора в области рабочих токов определяется степенной зависимостью:

$$I = K \times V^\alpha, \quad (1)$$

где I — ток через варистор;

V — напряжение на варисторе;

K — коэффициент (константа керамического материала, зависящая от типа варистора);

$\alpha > 1$ — показатель степени.

Чтобы определить α , прологарифмируем выражение (1):

$$\lg I = \lg K + \alpha \times \lg V. \quad (2)$$

Зная две пары близлежащих величин «напряжение/ток» (V_1/I_1 и V_2/I_2), из выражения (2) можно определить показатель степени α :

$$\alpha = \frac{\lg I_2 - \lg I_1}{\lg V_2 - \lg V_1}. \quad (3)$$

На **Рис. 4** показана реальная вольт-амперная характеристика прибора SIOV-B60K250.

Зависимость сопротивления варистора от напряжения можно выявить из простых соотношений:

$$I = \frac{V}{R}, \quad (4)$$

или, учитывая формулу (1), получаем:

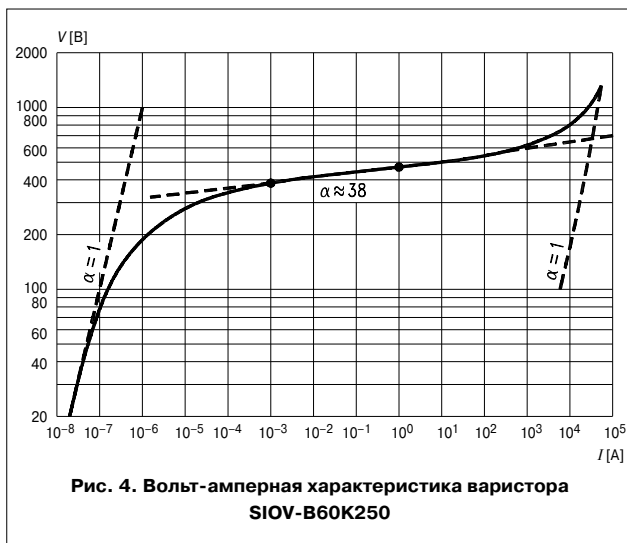


Рис. 4. Вольт-амперная характеристика варистора SIOV-B60K250

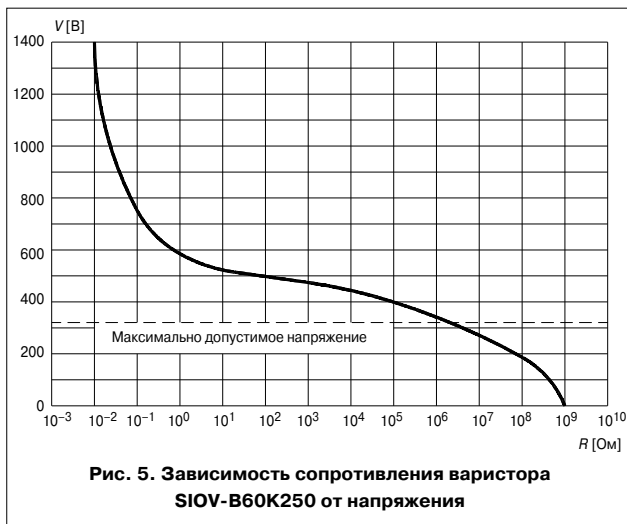


Рис. 5. Зависимость сопротивления варистора SIOV-B60K250 от напряжения

$$K \times V^\alpha = \frac{V}{R}, \quad (5)$$

откуда

$$R = \frac{V^{1-\alpha}}{K}. \quad (6)$$

Зависимость сопротивления реального варистора (SIOV-B60K250) от напряжения приведена на **Рис. 5**.

Типы варисторов

Тип варистора определяется его конструкцией, которую разрабатывают с учетом предназначения прибора и требуемых параметров.

Блочные варисторы — мощные приборы на токи от 10 до 100 кА в пластмассовом корпусе и с винтовым креплением, обеспечивающим электрическое и механическое подключение;

Накладные варисторы — керамические приборы, покрытые эпоксидной смолой, со специальными винтовыми отверстиями для крепления;

Силовые дисковые варисторы — мощные приборы в дисковом диодном корпусе;

Блочные варисторные разрядники — варисторы цилиндрической формы с поверхностью, пассивированной стеклом и напыленными электродами для прижимного контакта.

Области применения силовых варисторов

Широкий выбор варисторов фирмы «Ercos» позволяет сделать выбор компонентов соответствующей мощности для различных уровней защиты электронных и электроэнергетических систем как от внешних воздействий, так и от внутренних перегрузок. Ниже приводятся области техники, где целесообразно применение варисторов.

Системы промышленного контроля	Телеметрические системы; системы дистанционного управления; системы управления станком; системы аварийной сигнализации; бесконтактные переключатели; светотехническая аппаратура; источники питания; устройства защитного отключения (УЗО); электронные блоки газового отопления; электронные балласты
Силовая электроника	Мостовые выпрямители; электросварка; электромобили; импульсные источники питания; мощные преобразователи; DC/AC-преобразователи
Электроэнергетика	Трансформаторы; дроссели; обмотки моторов и генераторов; защита линий электропередачи от атмосферных перенапряжений
Автомобильная электроника	Центральная защита электрической системы автомобиля; защита при снятии нагрузки; антиблокировочные системы торможения; радио; системы управления двигателем; генераторные выпрямители; системы центральной блокировки; автомобильные компьютеры; мотор стеклоочистителя; электростеклоподъемники; электроника подушки безопасности (системы пассивной безопасности автомобиля); автомобильные радио- и сотовые телефоны
Светосигнальное оборудование	Дорожные знаки и светофоры; светосигнальное оборудование взлетно-посадочной полосы; сигнальные маячные огни

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ВАРИСТОРОВ

Определение символов

- $C_{\text{ТYP}}$ — типичная емкость варистора;
- I — текущий ток;
- $I_{\text{МАХ}}$ — максимальный импульсный ток;
- $L_{\text{ТYP}}$ — типичная индуктивность варистора;
- $P_{\text{МАХ}}$ — средняя мощность рассеяния;
- $R_{\text{МИН}}$ — минимальное сопротивление варистора;
- $T_{\text{А}}$ — температура окружающей среды;
- t_r — длительность прямоугольного импульса;
- V — текущее напряжение;
- V_{DC} — рабочее напряжение постоянного тока;
- V_{JUMP} — максимальное начальное напряжение;
- V_{RMS} — рабочее напряжение переменного тока;
- V_V — напряжение на варисторе при токе 1 мА;
- ΔV_V — допуск на напряжение варистора;
- $W_{\text{МАХ}}$ — максимальная энергия поглощения.

Описание параметров

Рабочее напряжение

В справочных данных варисторов приведены максимальные значения переменного (V_{RMS}) и постоянного (V_{DC}) рабочего напряжения.

Эти значения могут быть превышены при переходном процессе. Для автомобильных типов варисторов, например, приведены максимальные начальные напряжения — V_{JUMP} — при которых варисторы выдерживают скачки напряжения в течение 5 минут.

Токи утечки при рабочих напряжениях пренебрежимо малы.

Ток перегрузки

Кратковременный импульсный ток, возникающий при превышении рабочего напряжения, определяется как ток перегрузки. В справочных данных приведены максимально допустимые значения тока перегрузки ($I_{\text{МАХ}}$). Величина этого тока зависит от амплитуды, длительности и числа импульсов. Приведенные данные получены (в соответствии со стандартом IEC 60) с параметрами импульса 8/20 мкс (8 мкс — передний фронт и 20 мкс — длительность импульса полуспада).

Энергия поглощения

Энергия поглощения варистора связана с током перегрузки соотношением (7):

$$W = \int_{t_0}^{t_1} V(t) \times I(t) dt, \quad (7)$$

где $V(t)$ — напряжение на варисторе во время протекания тока $I(t)$; t_0, t_1 — время начала и окончания импульса.

В справочных данных приведены значения максимальной энергии поглощения ($W_{\text{МАХ}}$), измеряемой при импульсе тока длительностью 2 мс (длительность импульса измеряют по уровню 90% от максимальной величины тока в импульсе).

Средняя мощность рассеяния

Величины средней мощности рассеяния ($P_{\text{МАХ}}$), приведенные в таблицах, незначительны для соответствующих величин максимального рабочего напряжения. Однако эти величины справедливы для одиночных импульсов. Если же возможны повторные импульсы, то следует принять к сведению, что интервалы времени между импульсами могут быть недостаточны для охлаждения варистора. В таких случаях следует применять мощные дисковые варисторы («Power Disk»).

Напряжение варистора

Напряжение варистора V_V (приводимое в справочных данных) — это величина падения напряжения при токе 1 мА. Практически это характеристическая точка вольт-амперной характеристики, которая является границей между областями токов утечки и рабочими токами варистора.

Допуски на напряжение определены для температуры окружающей среды 25°C.

Максимальное напряжение ограничения (область защиты)

Указанное в справочных таблицах максимальное напряжение ограничения — это область защиты варистора, включающая токи, превышающие 1 мА. Вольт-амперные характеристики в области защиты определяются при импульсном токе с параметрами импульса 8/20 мкс.

Емкость варистора

В справочных таблицах приводятся типичные значения емкости варисторов (C_{TTP}) на частоте 1 кГц. Эта емкость пропорциональна площади поверхности электродов (и, соответственно, величине тока ограничения) и обратно пропорциональна расстоянию между электродами (с увеличением уровня защиты емкость уменьшается). Наличие емкости улучшает защитные свойства варистора, выравнивая фронты напряжений.

Время отклика

Время отклика варистора находится в пикосекундном диапазоне, однако из-за индуктивности выводов (типичное значение 1 нГ/мм) варистор, заключенный в корпус, имеет время отклика, достигающее нескольких наносекунд. Для уменьшения времени отклика, рекомендуется при монтаже варисторов укорачивать выводы, уменьшая тем самым их индуктивность.

Температурный коэффициент

Температурный коэффициент напряжения на варисторе — отрицательный, то есть напряжение уменьшается с увеличением плотности тока, и при этом выполняется соотношение (8):

$$|TC| < \frac{0,5 \times 10^{-3}}{K} = \frac{0,05\%}{K} = \frac{1\%}{\Delta 20\text{ К}} \quad (8)$$

На **Рис. 6** приводится зависимость температурного коэффициента напряжения при токе 1 мА относительно температуры 20°C для прибора SIOV-S20K275.

**Система обозначений**

Кодируемая информация	Обозначение	Расшифровка обозначений
Тип конструкции	CN	Кристалл негерметизированный
	CU	Кристалл герметизированный
	E	Разрядник блочного типа
	LS...QP	Накладные с отверстием для крепления
	PD	Силовые дисковые
	S	Плоские круглые (дисковые)
Площадь варисторного элемента (длина×ширина в 0.01 дюйма*)	SR	Плоские прямоугольные (дисковые)
	0603	6"/100×3"/100
	4032	40"/100×32"/100
	1	1812 ⇒ 18"/100×12"/100
Номинальный диаметр варисторного диска	2	2220 ⇒ 22"/100×20"/100
	05...80	05...80 мм
Допуск на напряжение варистора (1 мА)	K	±10%
	L	±15%
	M	±20%
	S	Специальный допуск
Максимально допустимое переменное напряжение	4...1100	4...1100 В
Номинальное напряжение	VR302	30×100 В = 3 кВ
Допуск на емкость конденсатора (для SHCV)	M	±20%
Емкость конденсатора (для SHCV)	474	47×10 ⁴ пФ = 0.47 мкФ
Код материала керамики	X	X7R
	Z	Z5U
Тип носителя	G	Лента (варисторы для поверхностного монтажа поставляются только в ленте)
	G.S.	Лента с изгибом
Специальная маркировка	AUTO	Высокая энергия поглощения, высокая стойкость к тепловым ударам
	E2	Варисторы высокой энергии
	AUTO...D1	Высокотемпературные дисковые варисторы
	R5	Длина вывода отличается от стандартной на 5 мм
Фабричная маркировка	R7	Длина вывода отличается от стандартной на 7.5 мм
	9907	Июль 1999 г. (маркируются все варисторы, кроме CN-серии, — год/месяц изготовления)

* 1 дюйм = 2.54 см

ПРИМЕНЕНИЕ ВАРИСТОРОВ В СИСТЕМЕ ЗАЩИТЫ

При расчете схемы защиты от перегрузок, возникающих внутри электронных и электроэнергетических систем (искрение, электрические разряды) необходимо исходить из наихудших условий эксплуатации, проверяя и оптимизируя ее на тестовой схеме.

Подобный подход для расчетов защиты от внешних источников перегрузок (помехи по сети, молнии) непродуктивен, поскольку в большинстве случаев форма, амплитуда и частота переходного процесса

либо неизвестны, либо о них имеются очень скудные данные. Поэтому разработка схем защиты от внешних воздействий является достаточно сложной задачей. Даже при проектировании стандартных систем питания (промышленных или бытовых) необходимо учитывать назначение системы и проектировать ее с большим запасом прочности. Например, в силовой линии с напряжением 230 В возможны всплески длительностью от 0.1 мкс до 1 мс и амплитудой до 6 кВ.

Процедура выбора варистора

Выбор варистора предполагает выполнение трех основных условий.

1. Выбранный варистор должен соответствовать рабочему напряжению.
2. Варистор должен соответствовать применению по:
 - а) току перегрузки;
 - б) энергии поглощения;
 - в) средней рассеиваемой мощности
 (при выборе варистора на соответствие току перегрузки и энергии поглощения необходимо учесть число возможных повторений импульсов).
3. Для обеспечения защиты выбранное максимально возможное напряжение на варисторе следует сравнить с максимально допустимыми параметрами компонентов схемы.

Максимальные значения тока перегрузки, энергии поглощения и средней рассеиваемой мощности, которые могут возникнуть в защищаемой системе, должны быть меньше или равны максимально допустимым значениям параметров выбранного варистора, указанным в справочных данных.

Таким образом, должны выполняться условия:

$$I \leq I_{MAX};$$

$$W \leq W_{MAX};$$

$$P \leq P_{MAX}.$$

Рабочее напряжение

Максимально допустимое постоянное (DC) и переменное (AC) рабочее напряжение указано в справочных данных на варисторы. Для обеспечения необходимого уровня защиты максимально допустимое рабочее напряжение выбранного варистора должно быть равно рабочему напряжению защищаемого устройства или немного выше него.

Несинусоидальное AC-напряжение необходимо сравнить с максимально допустимым DC-напряжением, так, чтобы пиковое или амплитудное значение приложенного напряжения не превышало максимально допустимое DC-напряжение.

При выборе надо учитывать допуск на рабочее напряжение (например, по Европейскому стандарту IEC 38: 230 В + допуск (6%) → 244 В, а с 2003 — 230 В + допуск (10%) → 253 В), так как рассеиваемая на варисторе мощность резко увеличивается с увеличением рабочего напряжения.

Если отсутствуют особые требования к токам утечки, то можно выбрать любой варистор, у которого рабочее напряжение выше максимально допустимого напряжения защищаемой системы. Однако, отдав предпочтение варистору, напряжение которого максимально приближено к напряжению защищаемой системы, можно не только снизить ток утечки, но и увеличить срок службы варистора.

Ток перегрузки

Выбрав максимально допустимое рабочее напряжение, необходимо изучить реализуемую схему защиты с точки зрения нагрузочной способности (нагрузочную способность варистора характеризуют ток перегрузки, энергия поглощения и рассеиваемая мощность). Для достижения этой цели существуют несколько путей:

- ♦ машинный расчет на основе «PSpice»-модели варистора;
 - ♦ физическое моделирование защищаемой системы и исследование поведения модели с помощью тестовых импульсов;
 - ♦ графический метод, основанный на построении «нагрузочной» кривой, характеризующей режим перегрузки, и выборе «рабочей точки» на вольт-амперной характеристике варистора;
 - ♦ аналитический метод, опирающийся на математическую аппроксимацию физических процессов, происходящих в защищаемой системе.
- «PSpice»-модели варисторов для расчета, как отмечалось выше, можно получить на фирме «Ercos».

В дальнейшем же будет рассмотрен аналитический метод с привлечением, для наглядности, графиков и осциллограмм, используемых другими методами.

При аналитическом методе ток перегрузки можно выразить зависимостью:

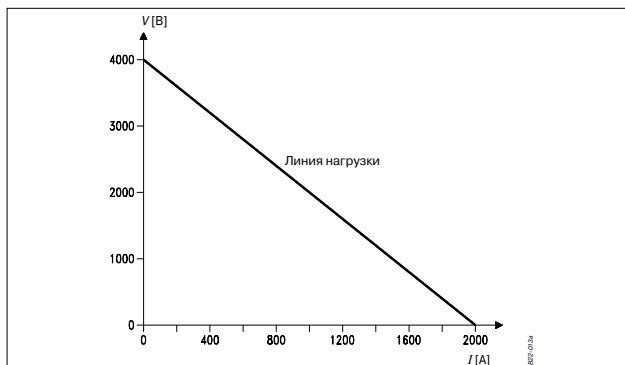


Рис. 13. Нагрузочная кривая при напряжении перегрузки в линейном масштабе: $V_S = 4 \text{ кВ}$; $Z_{SOURCE} = 2 \text{ Ом}$

$$I = \frac{V_S - V_{SIOV}}{Z_{SOURCE}}, \tag{12}$$

где V_S — напряжение перегрузки;

V_{SIOV} — напряжение варистора;

Z_{SOURCE} — импеданс системы.

На рис. 13 показана кривая нагрузки для $V_S = 4 \text{ кВ}$ и $Z_{SOURCE} = 2 \text{ Ом}$ в линейном масштабе, а на рис. 14 — вольт-амперная характеристика варистора SIOV-S20 и та же кривая нагрузки в логарифмическом масштабе.

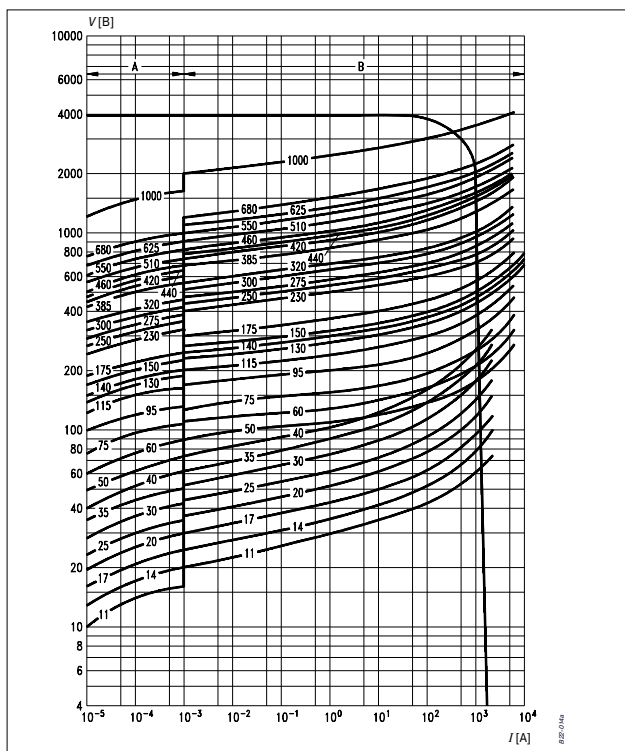


Рис. 14. Нагрузочная кривая при напряжении перегрузки и вольт-амперная характеристика SIOV-S20 в логарифмическом масштабе: А — область токов утечки; В — область рабочих токов; $V_S = 4 \text{ кВ}$; $Z_{SOURCE} = 2 \text{ Ом}$

Ток перегрузки можно определить по точке пересечения нагрузочной линии и вольт-амперной характеристики варистора.

В случаях, когда нагрузка имеет индуктивный характер, ток перегрузки не может измениться скачком, поэтому сразу после выключения через варистор протекает рабочий ток, далее спадающий по экспоненте.

Постоянная времени τ , характеризующая процесс спада, может быть определена исходя из параметров системы (в основном это индуктивность катушки и сопротивление варистора и той же катушки) и равна времени, за которое ток уменьшится в 2.7 раза (2.7 — основное натуральное логарифма):

$$\tau = \frac{L}{R_{Cu} + R_{SIOV}}, \quad (13)$$

где L — индуктивность;

R_{Cu} — сопротивление катушки;

R_{SIOV} — сопротивление варистора при рабочем токе.

R_{SIOV} увеличивается при уменьшении тока, так что τ , строго говоря, не является постоянной величиной в процессе затухания, но тем не менее в расчетах считается таковой.

Если «ток перегрузки» исследуют экспериментально, то постоянную времени можно определять по осциллограмме (Рис. 15).

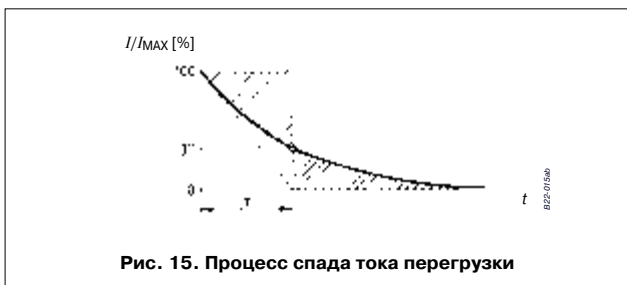


Рис. 15. Процесс спада тока перегрузки

За время, равное τ , амплитуда тока перегрузки уменьшается до 37% от первоначальной.

Максимально допустимый ток перегрузки зависит не только от длительности импульса, но и от числа возможных его повторений. При повторяющихся процессах происходит ухудшение свойств варистора (уменьшается величина тока перегрузки и энергии поглощения).

Для определения кривых ухудшения ток перегрузки варистора измеряют при прямоугольных импульсах длительностью t_r и периодом T для различного числа повторяющихся импульсов. Для примера на Рис. 16 показаны кривые ухудшения значений токов перегрузки варистора SIOV-SO10.

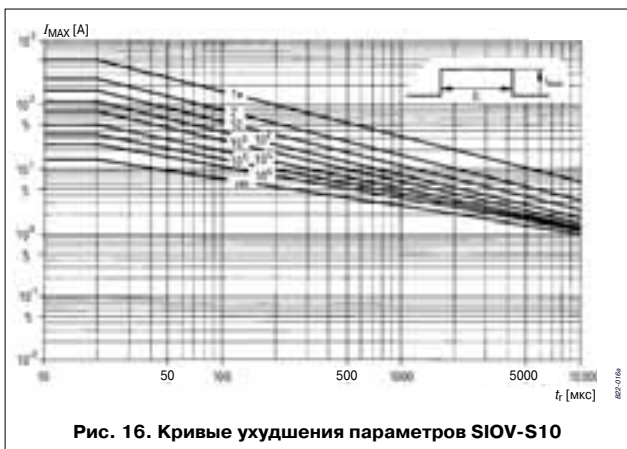


Рис. 16. Кривые ухудшения параметров SIOV-SO10

(Кривые ухудшения тока перегрузки на все типы варисторов приведены в подробном каталоге фирмы «Epcos».)

Энергия поглощения

Ток перегрузки накапливает в варисторе энергию, значения которой можно определить, используя формулу (7).

Для импульса прямоугольной формы или формы, которую можно представить как прямоугольную (Рис. 17), формула (7) упрощается:

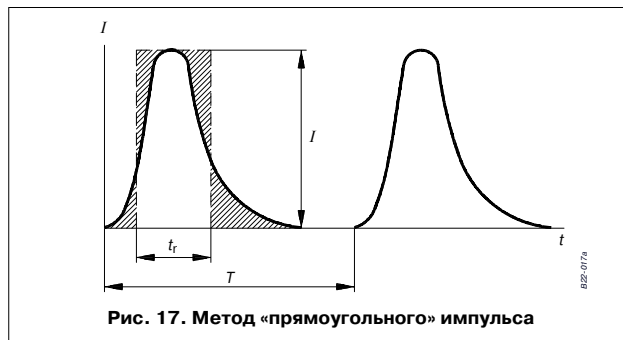


Рис. 17. Метод «прямоугольного» импульса

$$W = V \times I \times t_r, \quad (14)$$

На практике, моделируя возможную ситуацию, энергию поглощения можно оценить непосредственно на экране осциллографа или, используя численные методы, рассчитать по кривой напряжения (или тока).

Приведенные на Рис. 18 временные зависимости напряжения (Рис. 18б), тока и энергии поглощения (Рис. 18в) иллюстрируют реакцию варистора SIOV-S20K 14AUTO на воздействие тестового импульса (Рис. 18а) (стандарт ISO 7637-1 LIN 40 839).

При индуктивной нагрузке необходимо учесть, что энергия, запасенная катушкой индуктивности, может быть выше энергии поглощения варистора:

$$W = 1/2 \times L \times I^2. \quad (15)$$

Полученную таким путем величину энергии следует сравнить с максимальной величиной энергии поглощения выбранного варистора:

$$W_{MAX} = V_{MAX} \times I_{MAX} \times t_{RMAX}. \quad (16)$$

Средняя мощность рассеяния

Эффективная рассеиваемая мощность варистора состоит из основной мощности P_0 , определяемой рабочим напряжением, и средней энергии поглощения за период. Величина P_0 , соответствующая выбранному в справочных данных максимально допустимому рабочему напряжению (V_{MAX}), незначительна. Поэтому энергия поглощения за период и определяет среднюю рассеиваемую мощность (P_{MAX}):

$$P = \frac{W}{T} = \frac{V \times I \times t_r}{T}, \quad (17)$$

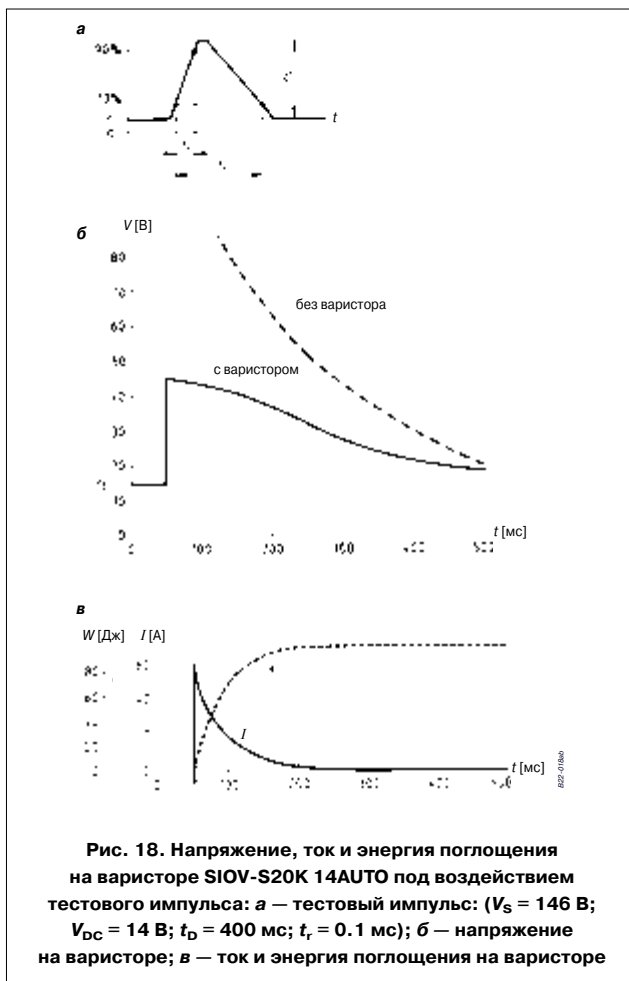
где W — единичная энергия поглощения;

T — период повторения перегрузки.

Решая уравнение (16) относительно T , можно найти минимальное время между импульсами, которое не влечет за собой увеличение средней рассеиваемой мощности на варисторе:

$$T_{MIN} = \frac{W}{P_{MAX}}. \quad (18)$$

Следует отметить, что металлооксидные варисторы непригодны для решения задач, где присутствует постоянная мощность рассеяния, например для стабилизации напряжения. В таких случаях надо использовать другие элементы, например стабилитроны.



При периодических импульсных перегрузках с высокими уровнями тока нагрузки можно использовать мощные дисковые варисторы.

Максимальный уровень защиты

Максимально допустимое напряжение на варисторе при заданном токе перегрузки определяется из вольт-амперной характеристики или с помощью «PSpice»-моделирования. Вольт-амперная характеристика позволяет получить величину напряжения по заданному значению тока перегрузки (с учетом допуска при наихудших условиях эксплуатации). Если полученная величина напряжения выше допустимой, то нужно снизить уровень защиты:

1) выбрать варистор с большим диаметром диска — уровень защиты в таком случае снижается, так как при одном и том же токе перегрузки снижается плотность тока;

2) более точно подобрать рабочее напряжение при помощи последовательного соединения варисторов. (Для примера, выберем варистор в линии с напряжением (AC) 340 В.

Из справочных данных следует, что наиболее близкий для этой цели варистор имеет рабочее напряжение 385 В. Выбрав же два варистора по 175 В и подключив их последовательно, получаем рабочее напряжение 350 В);

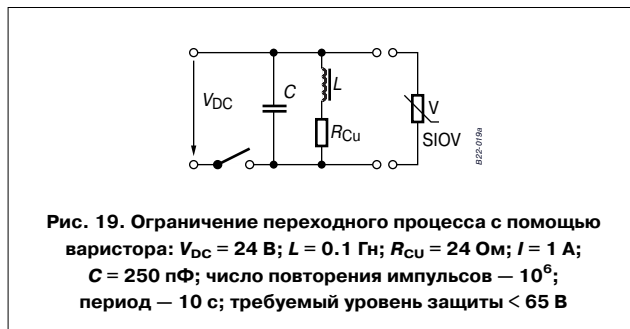
3) выбрать варистор с меньшим допуском: существуют специальные типы варисторов, имеющие допуск меньше половины от стандартного — это может снизить уровень защиты примерно на 10%;

4) последовательно с варистором разместить резистор — это снизит амплитуду тока перегрузки, а следовательно, и уровень защиты варистора.

Если уровень защиты, выбранный с помощью вольт-амперной характеристики, ниже требуемого, то для его повышения следует изменить тип варистора, например, увеличив номер типа обозначения варистора. Это благоприятно отразится на нагрузочной способности и сроке службы варистора, так как снижается ток утечки.

Пример расчета параметров защиты

Рассмотрим пример использования варистора для ограничения переходного процесса при работе на индуктивную нагрузку (Рис. 19).



При прерывании контакта разряд катушки индуктивности вызывает высокое напряжение, подвергая опасности оба контакта прерывателя (например, ключевой транзистор) и саму катушку. Энергия, запасенная в катушке, определяется в соответствии с выражением (14).

Конденсатор C на Рис. 19 характеризует емкостные свойства катушки индуктивности. После завершения зарядки катушки начинается процесс ее разрядки и, соответственно, зарядки конденсатора C . Энергия заряженного конденсатора равна:

$$W = \frac{1}{2} \times C \times V^2. \quad (19)$$

Решая уравнение (15) и пренебрегая потерями на перезаряд, получим:

$$V = I \times \sqrt{\frac{L}{C}} = 1 \times \sqrt{\frac{0.1}{250 \times 10^{-12}}} = 20000(\text{В}). \quad (20)$$

Таким образом, в предлагаемой схеме возможны перегрузки до 20 кВ.

Рабочее напряжение

Постоянное рабочее напряжение для рассматриваемой схемы (Рис. 19) равно 24 В. Приняв рабочее напряжение на варисторе равным 26 В, по справочным данным можем выбрать следующие категории варисторов:

- дисковые — S...K20;
- для поверхностного монтажа — CU...K20G2, CN...K20G;
- дисковые варисторы высокой емкости — SHCV-SR.K20M.

Ток перегрузки

После размыкания ключа ток, протекающий через катушку индуктивности, не может резко уменьшиться, поэтому сначала через варистор протекает рабочий ток (1 А), который затем спадает по экспоненте до нуля. Постоянная времени τ спада тока вычисляется из соотношения (13). Рассчитаем сопротивление варистора класса K20 при токе 1 А. Для этого найдем из вольт-амперной ха-

рактеристики для варистора S10K20 при токе 1 А значение напряжения. Тогда

$$R_{\text{SIOV}} = \frac{V}{I} = \frac{55}{1} = 55 \text{ (Ом)}. \quad (21)$$

Из выражения (13) найдем τ :

$$\tau = t_R = \frac{L}{R} = \frac{0.1}{24 + 55} \approx 1.3 \text{ (мс)}. \quad (22)$$

Для S10K20 при длительности импульса $t_r = \tau = 1.3$ мс и числе импульсов 10^6 по кривой ухудшения параметров (**Рис. 16**) при импульсных повторяющихся перегрузках находим $I_{\text{MAX}} = 3$ А, что больше значения требуемого рабочего тока 1 А. Поэтому по кривым ухудшения параметров для ближайших типов варисторов S05K20 и S07K20 найдем для тех же значений t_r и числа импульсов:

- ♦ S05K20: $I_{\text{MAX}} = 0.5$ А — меньше требуемого рабочего тока;
- ♦ S07K20 (**Рис. 20**): $I_{\text{MAX}} = 1.4$ А — больше требуемого рабочего тока.

Значение максимально допустимого тока должно быть больше значения максимального рабочего тока, поэтому выбираем варистор типа SIOV-S07K20 (этому критерию соответствуют и все варисторы с более высоким уровнем тока).

Если требуются варисторы для поверхностного монтажа, то можно выбрать варисторы SIOV-CU и SIOV-CN.

SIOV-CU: CU4032K20G2 электрически эквивалентный S07K20;

SIOV-CN: CN1206K20G с $I_{\text{MAX}} = 1.5$ А.

Энергия поглощения

Максимальная энергия поглощения, накапливаемая в варисторе типа SIOV-S07K20 при $t_r = 1.3$ мс, $I_{\text{MAX}} = 1.4$ А и числе импульсов равном 10^6 , вычисляется по соотношению (15).

$$W_{\text{MAX}} = 60 \times 1.4 \times 0.0013 = 0.11 \text{ (Дж)}. \quad (23)$$

Вычисляя энергию поглощения при индуктивной нагрузке, из выражения (16) получим:

$$W = 0.5 \times 0.1 \times 1.0 = 0.05 \text{ (Дж)}. \quad (24)$$

Из сравнения формул (24) и (25) видно, что энергия поглощения элементов схемы меньше максимальной энергии поглощения варистора, и, следовательно, варистор типа SIOV-S07K20 удовлетворяет критерию максимальной энергии поглощения.

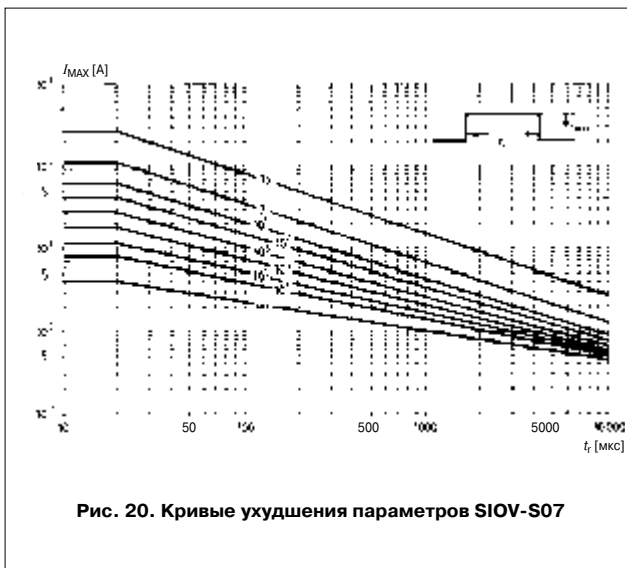


Рис. 20. Кривые ухудшения параметров SIOV-S07

Средняя рассеиваемая мощность

По соотношению (17) при энергии поглощения 0.05 Дж и периоде 10 с найдем среднюю рассеиваемую мощность:

$$P = \frac{W}{T} = \frac{0.05}{10} = 0.005 \text{ (Вт)}. \quad (26)$$

Найденное значение 0.005 Вт меньше максимально допустимой рассеиваемой мощности 0.02 Вт, указанной в справочных данных на варисторы S07K20 и CU4032K20G2.

Для полноты картины найдем минимально допустимое время между двумя импульсами по соотношению (17).

Для рассматриваемой схемы оно равно 2.5 с, а для варистора (CN1206K20G с $P_{\text{MAX}} = 0.008$ Вт) — 6.2 с.

Максимальный уровень защиты

Варисторы S07K20 и CU4032K20G2 имеют уровень защиты 60 В при токе 1 А для наихудших условий в поле допуска 10%. Уровень защиты для CN1206K20G составляет 55 В. Для всех этих типов выполняется условие: заданный уровень защиты < 65 В.

Дисковые варисторы большой емкости SHCV-SR.K20M474 X... имеют уровень защиты 50 В и также удовлетворяют этому критерию.

Таким образом, варисторы S07K20 и CU4032K20G2 удовлетворяют требованиям защиты схемы с параметрами, приведенными на **Рис. 16**.

В заключение следует добавить, что вольт-амперные характеристики, используемые при процедуре выбора варисторов, имеются в подробном каталоге фирмы «Epcos». В справочных данных на варисторы, приведенных в настоящем издании, указаны характеристические точки вольт-амперных характеристик:

- ♦ напряжение на варисторе при токе 1 мА, характеризующее границу между областью защиты (ограничения) и областью токов утечки, — V_V ;
- ♦ максимальное напряжение ограничения при токе порядка нескольких процентов от максимального импульсного тока (8/20 мкс).

Комбинированные схемы защиты

При подавлении переходных процессов можно ограничиться одним элементом — варистором. Вместе с тем, можно применить комбинацию нескольких защитных элементов с использованием соответствующих преимуществ. На **Рис. 21** представлен пример многоступенчатой защиты телеметрической линии с использованием газонаполненного разрядника, варистора и стабилизатора от напряже-

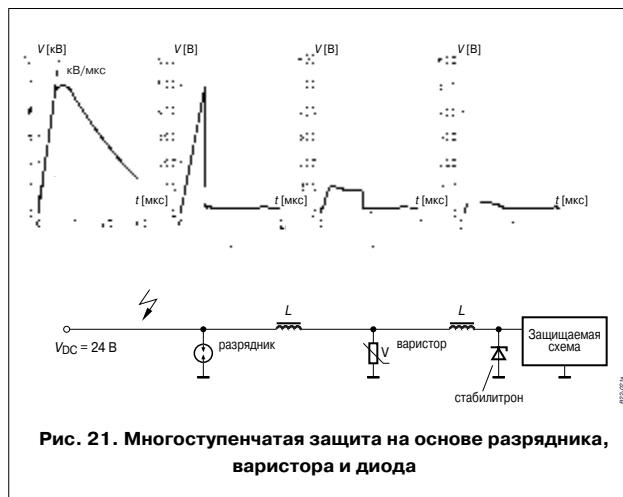


Рис. 21. Многоступенчатая защита на основе разрядника, варистора и диода

ний перегрузки порядка 10 кВ. В схеме можно выделить три ступени (каскада) ограничения:

- «грубое» (с использованием газонаполненного разрядника);
- «стандартное» (при помощи варистора);
- «точное» (с использованием защитного диода, стабилитрона или фильтра с общим ограничением менее 50 В).

Последовательно включенные катушка индуктивности или резистор необходимы для развязывания уровней напряжения защиты.

На **Рис. 22** представлен другой пример практического построения защитного модуля для подавления переходных процессов, с использованием «грубой» **Рис. 22а** и «точной» **Рис. 22б** защиты ступеней.

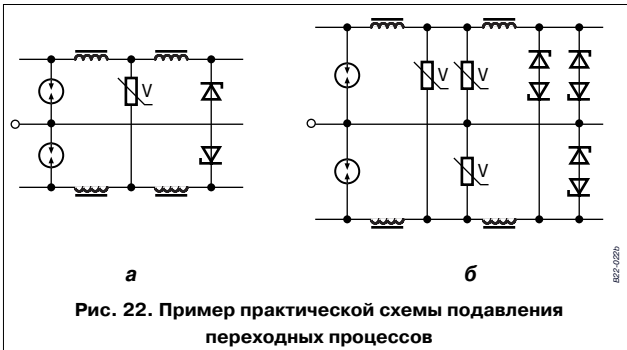
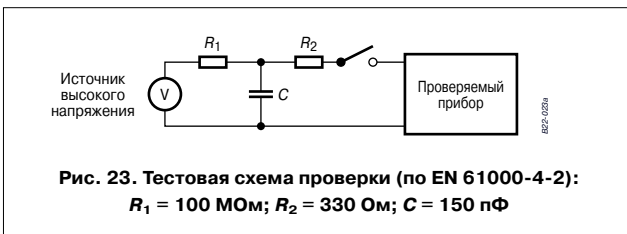


Рис. 22. Пример практической схемы подавления переходных процессов

Защита от электростатического разряда

Известно, что при уменьшении размеров компонентов и уровней сигналов увеличивается чувствительность электронных схем к помехам при электростатических возмущениях. Даже простое прикосновение к выводам прибора может привести к нарушению его нормального функционирования и даже к разрушению компонентов в результате электростатического разряда. Исследования показывают, что тело человека, изолированное от земли (например, искусственным ковровым покрытием), может нести электростатический заряд вплоть до 15 кВ. Чтобы защитить устройство от помех и гарантировать соответствие требованиям стандартов, необходимо провести измерения на электростатический разряд (ЭСР). По европейскому стандарту EN 61000-4-2 регламентирована определенная процедура тестовых измерений.

На **Рис. 23** представлена схема измерения, а на **Рис. 24** — форма кривой при импульсе тока с предельно малым значением времени нарастания от 0.7 до 1.0 нс и амплитудой тока вплоть до 45 А.



**Рис. 23. Тестовая схема проверки (по EN 61000-4-2):
R₁ = 100 МОм; R₂ = 330 Ом; C = 150 пФ**

Вторичным эффектом действия крутого фронта (**Рис. 24**) является высокая напряженность электрического и магнитного полей. При тестовом измерении на прибор подается, по крайней мере, 10 тестовых импульсов разной полярности.

Схема защиты от перегрузок по напряжению должна отвечать следующим требованиям:

- время отклика < 0.5 нс;
- биполярная характеристика;

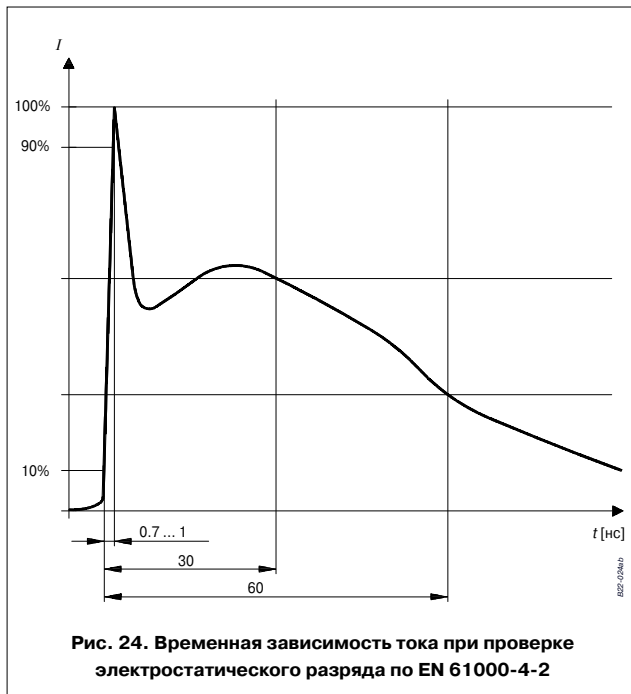


Рис. 24. Временная зависимость тока при проверке электростатического разряда по EN 61000-4-2

- достаточный ток перегрузки (с возможностью изменения);
- низкий уровень защиты.

Кроме того, желательно выполнение следующих требований:

- уменьшение размеров компонентов;
- исполнение для поверхностного монтажа;
- высокое емкостное сопротивление для подавления радиочастотных помех или низкое емкостное сопротивление для систем высокоскоростной передачи данных;
- широкий диапазон рабочих напряжений;
- повышенная рабочая температура.

Всем этим требованиям полностью удовлетворяют многослойные варисторы S10V (CN-серии). Сверхнизкое значение индуктивности их конструкции обеспечивает время отклика < 0.5 нс. Область применения этих варисторов достаточно широка:

- переносные или мобильные телефоны;
- разъемы SCART (SCART);
- линии передачи данных;
- интерфейсы RS232, CENTRONICS;
- персональные компьютеры (клавиатура, манипулятор «мышь», порт принтера);
- ЛВС, модемы, датчики;
- интерфейсные схемы.

Часто, например, в разъемах SCART телевизора и видеоманитофона к сигнальной линии параллельно нагрузке подключают два встречноключенных стабилитрона и конденсатор. Замена этих трех компонентов на один многослойный варистор значительно снижает цену и размеры блока защиты (**Рис. 25**).

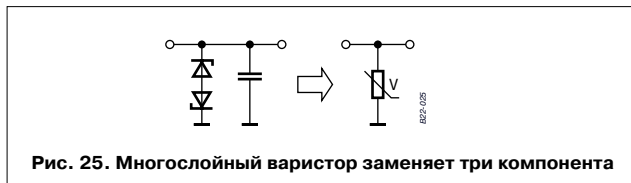


Рис. 25. Многослойный варистор заменяет три компонента