

УДК 621.316

ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ И ПРИМЕНЕНИЯ ВАРИСТОРОВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ

Деревяго Т.М., Терешко Д.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Михальцевич Г.А.

Принцип действия нелинейных резисторов основан на свойстве ряда полупроводниковых материалов изменять свое электрическое сопротивление под воздействием температуры (*терморезисторы*), электрического напряжения (*варисторы*), и магнитного поля (*магниторезисторы*), освещения (*фоторезисторы*), деформации (*тензорезисторы*).

Варистор это пассивный двух выводной, твердотельный полупроводник, который применяется для обеспечения защиты различных схем. Варисторы обладают свойством резко уменьшать свое сопротивление с 1000 МОм до десятков Ом при увеличении на них напряжения выше пороговой величины.

В этом случае сопротивление становится тем меньше, чем больше действует напряжение. Типичная вольт-амперная характеристика мощного варистора имеет резко выраженную нелинейную симметричную форму (рис. 1), то есть он может работать и на переменном напряжении.

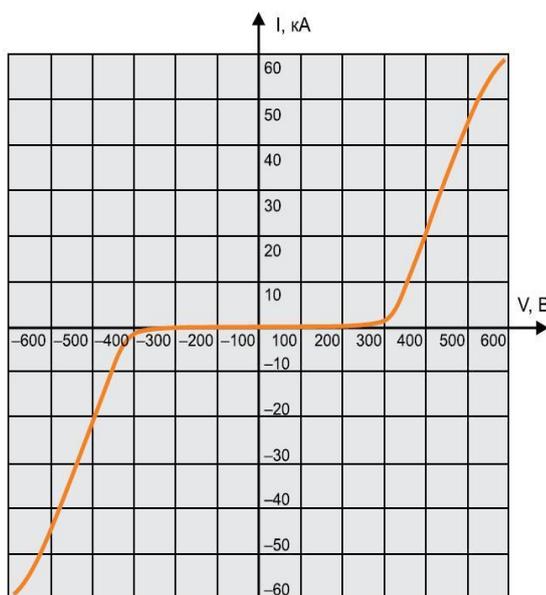


Рисунок 1. Вольт-амперная характеристика варистора

В качестве токопроводящего элемента в варисторах используется порошок карбида кремния SiC со средними размерами зерен 40...50 мкм, скрепленными в монолит с помощью различных связующих материалов. Отечественные варисторы на основе карбида кремния с добавкой глины и графита получили название *тиритовых*, с добавкой ультрафарфоровой связки – *лэтиновых*.

Электропроводность варистора определяется многими параллельными цепочками контактирующих зерен SiC , причем пробивное напряжение материала связки между контактами в различных цепочках имеет значительный разброс. По мере возрастания приложенного напряжения включаются друг за другом остальные цепочки зерен, и вольт-амперная характеристика будет представлять возрастающую нелинейную функцию. В реальном же варисторе таких цепочек бесчисленное множество, поэтому и реальная вольт-

амперная характеристика будет представлять собой плавную кривую. Свойства варистора не зависят от полярности приложенного напряжения, поэтому его вольт-амперная характеристика симметрична относительно начала координат.

Конструктивно варисторы оформляются в виде дисков, шайб или трубок (рис. 2 и рис. 3). После спекания заготовок на контактные поверхности методом вжигания серебряной пасты наносится металлизированный слой, к которому припаивают выводы варистора. Для защиты от механических и атмосферных воздействий варистор помещается в фарфоровый или металлический корпус и покрывается лаком.

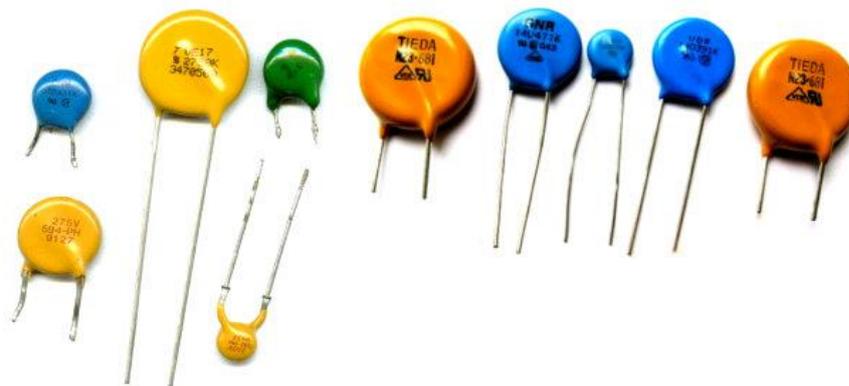


Рисунок 2. Внешний вид малогабаритных варисторов



Рисунок 3. Внешний вид мощных варисторов

Работу варистора в статическом режиме характеризует номинальное сопротивление R_c при определенном значении приложенного напряжения U_x .

Динамический режим работы варистора определяет дифференциальное сопротивление при том же значении приложенного напряжения:

$$R_d = dU/dI$$

Важным параметром варисторов является коэффициент нелинейности, определяемый как отношение статического сопротивления к динамическому сопротивлению для одной и той же точки вольтамперной характеристики:

$$\lambda = R_c/R_d = U/I \cdot dI/dU$$

Коэффициент нелинейности $\lambda_{\text{нр}}$ может быть определен путем измерения значений токов I_1 и I_2 протекающих через варистор при двух известных значениях напряжений U_1 и U_2 :

$$\lambda_{\text{нр}} = \lg \cdot I_2 / I_1 / \lg \cdot U_2 / U_1 = \lg I_2 - \lg I_1 / \lg U_2 - \lg U_1$$

Одним из основных параметров варистора является классификационное напряжение, которое измеряют при заданном классификационном значении тока. Коэффициент нелинейности устанавливается обычно для каждого значения классификационного напряжения.

Коэффициент нелинейности лежит в пределах 2-10 у варисторов на основе SiC и 20-100 у варисторов на основе ZnO .

Температурный коэффициент сопротивления варистора – отрицательная величина.

Варисторы применяются в схемах стабилизации напряжения, регулирования числа оборотов и реверсирования электродвигателей, умножения частоты и в схемах модуляторов. Они применяются также в аналоговых счетно-решающих устройствах для выполнения таких математических операций над электрическими сигналами, как возведение в степень, извлечение корня, умножение, и для многих других целей.

Варисторы широко применяются в промышленном оборудовании и приборах бытового назначения:

- для защиты полупроводниковых приборов: тиристоров, симисторов, транзисторов, диодов, стабилитронов;
- для электростатической защиты входов радиоаппаратуры;
- для защиты от электромагнитных всплесков в мощных индуктивных элементах;
- как элемент искрогашения в электромоторах и переключателях.

Варисторы являются в настоящее время практически единственным быстродействующим средством защиты сложных и дорогостоящих полупроводниковых систем различного назначения, таких как:

1. бытовая электроника (телевизоры, микроволновые печи, бытовая радиоаппаратура и др.);
2. устройства промышленной электроники (электродвигатели, схемы управления, релейные схемы, схемы защиты);
3. аппаратура средств связи;
4. устройства обработки данных;
5. оборудование передачи электроэнергии (газоразрядники);
6. индикаторные средства (автомобильная электроника, железнодорожный транспорт) и др. области применения.

Характеристики варисторов

Основными параметрами, которые используют при описании характеристик варисторов, являются:

- U_n – классификационное напряжение, обычно измеряемое при токе 1 мА, — это условный параметр, который указывается при маркировке элементов;
- U_m – максимально допустимое действующее переменное напряжение (среднеквадратичное);
- $U_{m=}$ – максимально допустимое постоянное напряжение;
- P – номинальная средняя рассеиваемая мощность, это та, которую варистор может рассеивать в течение всего срока службы при сохранении параметров в установленных пределах;

• W – максимальная допустимая поглощаемая энергия в джоулях (Дж), при воздействии одиночного импульса.

• I_{pp} – максимальный импульсный ток, для которого время нарастания/длительность импульса: 8/20 мкс;

• C_0 – емкость, измеренная в закрытом состоянии, при работе ее значение зависит от приложенного напряжения, и когда варистор пропускает через себя большой ток, она падает до нуля.

От величины W зависит, как долго может действовать перегрузка (с максимальной мощностью P_m) без опасности повредить варистор, т. е.:

$$T = \frac{W}{P_m}$$

Для применения рабочее напряжение у варисторов выбирается исходя из допустимой энергии рассеяния и максимально допустимой амплитуды напряжения. Напряжение ограничения примерно равно квалификационному напряжению (U_n) варистора.

Для ориентировочных расчетов рекомендуется, чтобы на переменном напряжении оно не превышало $U_{вх} \leq 0,6U_n$, а на постоянном – $U_{вх} < 0,85U_n$.

Для сети с действующим напряжением 220 В (50 Гц) обычно устанавливают варисторы с классификационным напряжением не ниже 380...430 В. Для варистора с классификационным напряжением 430 В при импульсе тока 100 А напряжение будет ограничено на уровне около 600 В.

Параметры некоторых из таких варисторов приведены в таблице 1.

Таблица 1. Основные параметры варисторов отечественного производства

Тип	U_n ,	$U_{m\sim}$,	$U_{m=}$,	W ,
варистора	В	В	В	Дж
ВР-1-1	10	6	8	0,18
ВР-1-1	15	9	12	0,26
ВР-1-1	22	14	18	0,56
ВР-1-1	27	17	22	0,64
ВР-1-1	33	20	26	0,71
СН2-1а СН2-16 СН2-1В	180	115	150	37,8 18,0 4,5
СН2-1а СН2-16 СН2-1В	200	130	170	42,0 20 5,0
СН2-2А, СН2-1а, СН2-16	390	250	320	125 81,9 40
СН2-2А, СН2-1а, СН2-16	430	275	350	138 90,3 43

Примечание: Емкость для отечественных варисторов не указывается.

Из всего разнообразия выпускаемых за рубежом варисторов параметры одного из типов, имеющих дисковую конструкцию, приведены в табл. 2 (другие типы имеют близкие параметры).

Они выпускаются на рабочие напряжения от 4 до 1500 В с небольшим шагом, но в продаже вы вряд ли найдете все номиналы из ряда (в случае необходимости можно заказать их изготовление на любое напряжение для поставки больших партий), но обычно можно использовать ближайшие номиналы из ряда в сторону увеличения напряжения.

Таблица 2. Основные параметры дисковых варисторов серии TVR

Тип варистора	U_n , В	$U_{m\sim}$, В	$U_{m=}$, В	W , Дж	C_0 , пФ
TVR 05 180	18	11	14	0,4	1600
TVR 07 180	18	11	14	0,9	3800
TVR 10 180	18	11	14	2,1	9000
TVR 14 180	18	11	14	4,0	22000
TVR 20 180	18	11	14	11,0	44000
TVR 05 270	27	17	22	0,6	1260
TVR 07 270	27	17	22	1,4	2400
TVR 10 270	27	17	22	3,0	4800
TVR 14 270	27	17	22	6,0	12000
TVR 20 270	27	17	22	18,0	26000
TVR 05 391	390	250	320	12	85
TVR 07 391	390	250	320	25	160
TVR 10 391	390	250	320	60	270
TVR 14 391	390	250	320	100	500
TVR 20 391	390	250	320	180	1000
TVR 05 431	430	275	350	13	80
TVR 07 431	430	275	350	28	150
TVR 10 431	430	275	350	65	250
TVR 14 431	430 '	275	350	115	450
TVR 20 431	430	275	350	190	900

Для повышения рассеиваемой мощности варисторы можно включать последовательно (или параллельно, если подбирать их по идентичным параметрам). Размеры варисторов зависят от мощности, но так как такие элементы работают при импульсной перегрузке, чаще указывают рассеиваемую энергию в джоулях:

$$W = U_{max} \cdot I_{max} \cdot t_{и},$$

которая связана с мощностью соотношением:

$$P = \frac{W}{T}$$

Для выбора варистора с необходимой энергией рассеивания для защиты нагрузок, потребляющих мощность более 1...2 кВт, в практических расчетах можно руководствоваться приведенной в формулой:

$$W = \frac{P \cdot tga}{2\pi \cdot f \cdot \eta}$$

- где: W — максимальная мгновенная энергия в джоулях;
- P — номинальная мощность нагрузки, приходящаяся на одну фазу, Вт;
- a — коэффициент нелинейности варистора;
- f — частота переменного напряжения, Гц;
- η — КПД защищаемой нагрузки.

Максимально допустимое значение рассеиваемой энергии у примененного варистора должно превышать эту величину.

Так как перегрев варистора приводит к его повреждению, выпускаются такие элементы и с уникальными свойствами, например, имеющие температурную защиту – размыкающий механический контакт в защищаемой цепи, что значительно повышает надежность работы узла.

Сравнение основных характеристик варисторов разных типов можно найти в Интернет. Суть его заключается в том, что отечественные производители выпускают компоненты по техническим параметрам не хуже, чем это делают за рубежом (правда, приобрести их радиолюбителю намного сложнее – в продаже чаще можно встретить импортные).

В качестве основного недостатка варистора можно отметить его большую собственную емкость, которая вносится в цепь. В зависимости от конструкции, типа и номинального напряжения эта емкость может составлять от 80 до 30000 пФ.

Впрочем, для некоторых применений большая емкость может быть и достоинством, например, в фильтре, совмещающем в себе функцию ограничения напряжения (для таких применений можно заказать изготовление варисторов с повышенной емкостью).

Вторым недостатком является меньшая максимальная допустимая рассеиваемая мощность по сравнению с разрядниками (для увеличения мощности рассеивания изготовители увеличивают размеры корпуса варистора).

Литература

1. Шелестов, И.П. Радиолюбителям полезные схемы, Книга 5 / И.П. Шелестов М: Прес-Солон, 2003.– 240 с.