

TVS-диоды — полупроводниковые приборы для ограничения опасных перенапряжений в электронных цепях

В реальных условиях эксплуатации электронного оборудования в его цепях могут возникать различные виды электрических перегрузок, наиболее опасными из которых являются перегрузки по напряжению (перенапряжения), создаваемые электромагнитными импульсами естественного происхождения (за счет мощных грозовых разрядов), электромагнитными импульсами искусственного происхождения (за счет излучений радиопередающих устройств, высоковольтных линий передачи, сетей электрифицированных железных дорог и т. п.), а также за счет внутренних переходных процессов в оборудовании при ее функционировании (например, при переключениях индуктивных нагрузок) и электростатических разрядов (ЭСР).

Андрей Кадуков

kad2001@mail.ru

Воздействие электромагнитного импульса (ЭМИ) естественного и искусственного происхождения на электронные компоненты приводит к изменению их параметров за счет как непосредственного поглощения ими энергии, так и воздействия на них наведенных в цепях импульсов токов и напряжений. По данным фирмы General Semiconductor, потери промышленности США от воздействий перенапряжений составляют более \$10 млрд в год. Учитывая сроки эксплуатации электронного оборудования в России, его износ и отсутствие жестких требований по защите от перенапряжений можно предположить, что эти потери в нашей стране сопоставимы с американскими.

Наиболее чувствительными к воздействию импульсных напряжений и токов, наведенных ЭМИ ес-

тественного и искусственного происхождения на проводах и кабелях, являются подключенные к ним выходные устройства, в первую очередь выполненные на ИМС и дискретных полупроводниковых приборах.

Минимальная энергия, вызывающая функциональные повреждения полупроводниковых приборов и ИМС, составляет 10^{-2} – 10^{-7} Дж.

Для защиты цепей оборудования от воздействия электрических перегрузок могут использоваться разнообразные методы, основными из которых являются: конструкционные, структурно-функциональные, схемотехнические.

Конструкционные способы защиты включают в себя: рациональное расположение и монтаж компонентов, экранирование, заземление и др.

Таблица 1. Сравнение элементов защиты от перенапряжений

Элемент защиты	Преимущества	Недостатки	Примеры использования
Разрядник	Высокое значение допустимого тока Низкая емкость Высокое сопротивление изоляции	Высокое напряжение возникновения разряда Низкая долговечность и надежность Значительное время срабатывания Защищаемая цепь шунтируется после прохождения импульса	Первичная защита телекоммуникационных и силовых цепей Первая ступень комбинированной защиты
Варистор	Высокое значение допустимого тока Низкая цена Широкий диапазон рабочих токов и напряжений	Ограниченный срок службы Высокое напряжение ограничения Высокая собственная емкость Затруднительность поверхностного крепления	Вторичная защита Защита силовых цепей и автомобильной электроники Защита электронных компонентов непосредственно на печатной плате Первая и вторая ступень комбинированной защиты
TVS-диод	Низкие уровни напряжения ограничения Высокая долговечность и надежность Широкий диапазон рабочих напряжений Высокое быстродействие Низкая собственная емкость Идеально подходит для поверхностного монтажа	Низкое значение номинального импульсного тока Относительно высокая стоимость	Идеален для защиты полупроводниковых компонентов на печатной плате Вторичная защита Защита от ЭСР, БИН и электрических переходных процессов Оконечная ступень в комбинированных защитных устройствах
TVS-тиристор	Не подвержен деградации Высокое быстродействие Высокий управляющий ток	Ограниченный диапазон рабочих напряжений Защищаемая цепь шунтируется после прохождения импульса	Первичная и вторичная защита в телекоммуникационных цепях

Группа структурно-функциональных методов включает в себя: рациональный выбор принципа действия оборудования и выбор используемых стандартов передачи сигналов и др.

Схемотехнические методы включают в себя пассивную и активную защиту. Наиболее эффективным средством защиты оборудования от воздействия ЭМИ является активная защита. Основным элементом схем активной защиты являются разрядники, металлооксидные варисторы, TVS- (transient voltage suppressor) тиристоры и TVS-диоды, называемые в отечественной литературе «супрессорами», «полупроводниковыми ограничителями напряжения (ПОН)» или «диодами для подавления переходных процессов (ППН)». Поскольку в данной статье описываются полупроводниковые приборы зарубежных производителей, будем использовать термин «TVS-диоды».

В табл. 1 приведено сравнение различных элементов активной защиты от перенапряжений.

За рубежом TVS-диоды известны под названиями (торговыми марками) Trans Zorb, Transil, Insel и т. д.

В настоящий момент рядом производителей разработаны TVS-диоды, с помощью которых защита РЭА решена полностью. Более того, с января 1996 года Европейским комитетом по стандартизации (CENELEC) введены стандарты, запрещающие продажу на рынке ЕС аппаратуры без защиты, в состав которой входят TVS-диоды.

Полупроводниковые TVS-диоды — полупроводниковые приборы с резко выраженной нелинейной вольт-амперной характеристикой, подавляющие импульсные электрические перенапряжения, амплитуда которых превышает напряжения лавинного пробоя диода.

В нормальном рабочем режиме TVS-диод должен быть «невидим», то есть не влиять на работу защищаемой цепи до момента возникновения импульса перенапряжения. Электрические характеристики TVS-диода не должны оказывать никакого влияния на нормальное функционирование цепи.

Во время действия импульса перенапряжения TVS-диод ограничивает выброс напряжения до безопасного, в то время как опасный ток протекает через диод на землю, минуя защищаемую цепь. Принцип работы TVS-диода показан на рис. 1.

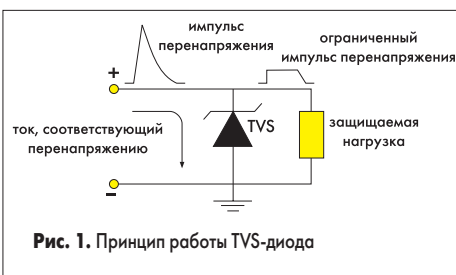


Рис. 1. Принцип работы TVS-диода

TVS-диоды часто путают с кремниевыми стабилитронами (диодами Зенера). TVS-диоды разработаны и предназначены для защиты от мощных импульсов перенапряжения, в то время как кремниевые стабилитроны предназначены для регулирования напряжения и не

рассчитаны на работу при значительных импульсных нагрузках.

TVS-диод обладает высоким быстродействием в отличие от газоразрядных ограничителей (разрядников), которые из-за значительного времени срабатывания (более 0,15 мкс) не решают проблемы защиты многих полупроводниковых приборов и микросхем, поскольку для них недопустимы начальные выбросы напряжения, пропускаемые разрядниками.

Преимуществом TVS-диодов перед разрядниками является еще то, что напряжение пробоя у них ниже напряжения ограничения (у разрядников оно значительно выше напряжения поддержания разряда), поэтому при их применении защищаемые ими цепи не шунтируются после прохождения импульса тока переходного процесса, как это имеет место у разрядников.

Время срабатывания у несимметричных TVS-диодов менее 10^{-12} с, а у симметричных — менее 5×10^{-9} с. Это позволяет использовать их для защиты различных радиочастотных цепей, в состав которых входят чувствительные к переходным процессам полупроводниковые приборы и интегральные микросхемы.

Другой важной характеристикой TVS-диодов является барьерная емкость р-п-перехода. Малоемкостные TVS-диоды ($C=90-100$ пФ) применяются для защиты линий связи переменного тока с частотой до 100 МГц от выбросов напряжения.

Вольтамперные характеристики TVS-диодов и их схемотехнические символы приведены на рис. 1-3.

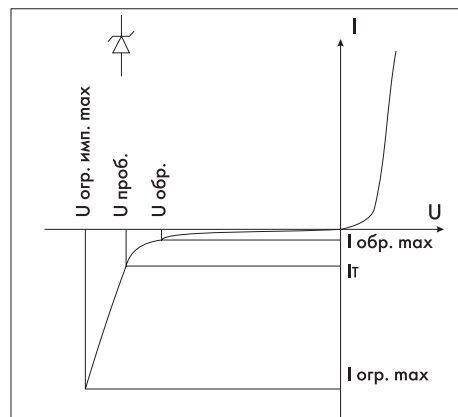


Рис. 2. ВАХ несимметричного TVS-диода

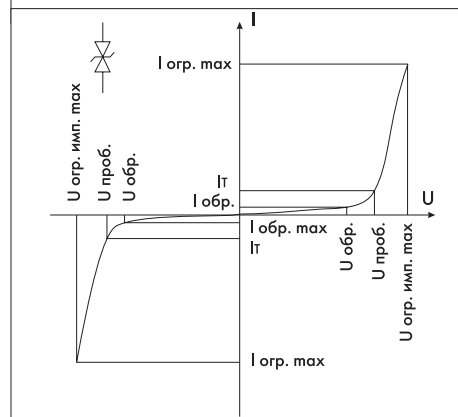


Рис. 3. ВАХ симметричного TVS-диода

Основные электрические параметры TVS-диодов

$U_{проб.}$ при I_T (V_{BR}), В — значение напряжения пробоя при заданном тестовом токе пробоя I_T ;

$I_{обр.}$ (I_D), мка — значение постоянного обратного тока, протекающего через прибор в обратном направлении при напряжении, равном $V_{обр.}$;

$V_{обр.}$ (VWM), В — постоянное обратное напряжение (в соответствии с этим параметром выбирается тип ограничителя);

$V_{огр. имп. макс.}$ (V_C), В — максимальное импульсное напряжение ограничения при максимальном импульсном токе при заданных длительности, скважности, форме импульса и температуре окружающей среды;

$P_{имп. макс.}$ (P_{ppm}), Вт — максимально допустимая импульсная мощность, рассеиваемая прибором, при заданных форме, скважности, длительности импульса и температуре окружающей среды.

Тип TVS-диода для конкретного применения выбирается, исходя из расчетного значения $P_{имп. макс.}$ с учетом длительности импульса и его формы. При этом $V_{обр.}$ должно быть равно напряжению, действующему в цепи или превышать его с учетом максимального допуска.

Обычно $P_{имп. макс.}$ рассчитывается с учетом воздействия импульса — 10/1000 мкс ($t_{\phi} = 10$ мкс, $t_{и} = 1000$ мкс) показанного на рис. 4.

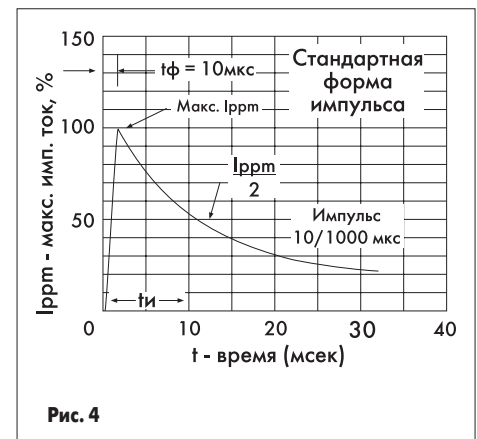


Рис. 4

Но в реальных условиях эксплуатации в зависимости от характера перенапряжения параметры импульса могут иметь другие значения. Поэтому во многих международных и национальных стандартах указаны иные параметры импульса. Например, в стандарте МЭК 801-5 для линий передачи данных описан импульс перенапряжения с формой 1,2/50 мс.

Рисунок 5 иллюстрирует зависимость максимально допустимой импульсной мощности от длительности импульса перенапряжения для TVS-диода TRANSZORB® типа SMBJ12A с $P_{имп. макс.} = 600$ Вт. Обычно производители приводят подобные графики в спецификациях на все типы и серии TVS-диодов. На этом графике видно, что при увеличении длительности импульса перенапряжения свыше 1000 мкс снижается значение максимально допустимой импульсной мощности TVS-диода, и наоборот, при снижении длительности мак-

симально допустимая мощность увеличива-
ется. При воздействиях более коротких им-
пульсов TVS-диод выдержит более высокий
импульсный ток (IP). При длительности им-
пульса 50 мс TVS-диод SMBJ12A выдержит
импульсный ток, превышающий номиналь-
ный в 3,5 раза.

Этот метод может применяться для расчета
значений максимально допустимой мощно-
сти и импульсного тока TVS-диодов с любыми
номинальными значениями $P_{имп. макс.}$ (400 Вт,
500 Вт, 1,5 кВт, 5 кВт).

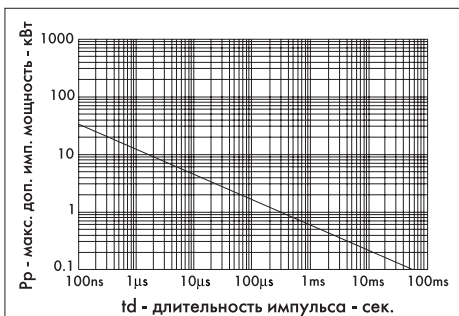


Рис. 5. Зависимость максимально допустимой импульсной мощности от длительности импульса перенапряжения

Если мощность одного TVS-диода не удов-
летворяет заданным требованиям по $P_{имп. макс.}$,
их соединяют последовательно. При двух по-
следовательно соединенных TVS-диодах мощ-
ность удваивается и т. д. Допускается после-
довательное соединение любого числа TVS-
диодов. При этом разброс по $V_{проб.}$ каждого
прибора не должен превышать 5%, что гар-
антирует равную нагрузку на последователь-
но соединенных приборах. Если невозможно
достичь нужной мощности при последова-
тельном соединении, допускается параллель-
ное соединение. Для гарантированной загру-
женности приборов по мощности необходи-
мо точное их согласование по $V_{орг.}$ (не более
20 мВ). Допускается также смешанное соеди-
нение TVS-диодов.

TVS-диоды наряду с основным назначени-
ем могут использоваться как стабилитроны
(диоды Зенера). При этом необходимы до-
полнительные данные по значениям макси-
мально допустимой постоянной рассеиваемой
мощности и динамическим сопротивлени-
ям при минимальном и максимальном токах.

За рубежом TVS-диоды впервые были раз-
работаны в 1968 году фирмой GSI (General
Semiconductor Industries) для защиты уст-
ройств связи от грозových разрядов. В даль-
нейшем этой фирмой были созданы TVS-ди-
оды с напряжением пробоя от 6,8 до 200 В с
импульсной мощностью 1,5 кВт для защиты
авиационного оборудования, аппаратуры свя-
зи от воздействия ЭМИ искусственного про-
исхождения, для защиты микросхем от внут-
ренних электрических нагрузок по напряже-
нию, от статического электричества, а также
TVS-диоды с малой индуктивностью и емко-
стью. В настоящее время в мире выпускается
около 3000 типоминималов TVS-диодов с им-
пульсной мощностью от 0,15 до 60 кВт на на-
пряжение пробоя от 6,0 до 3000 В.

**TVS-диоды TRANSZORB®
фирмы General Semiconductor**

TVS-диоды TRANSZORB® фирмы General
Semiconductor выпускаются в различных ис-
полнениях, с учетом условий эксплуатации и
области применения. Дискретные диоды в
пластиковом корпусе с гибкими выводами,
предназначенными для монтажа в сквозные
отверстия, выпускаются со значениями макси-
мальной допустимой импульсной мощности
400 Вт, 500 Вт, 600 Вт, 1,5 кВт и 5 кВт. Диоды с
наибольшими значениями максимальной до-
пустимой импульсной мощности обычно ис-
пользуются для установки в цепях питания.
При более низких значениях мощности в при-
ложениях с высокой плотностью расположе-
ния компонентов используются диоды и ди-
одные сборки, которые выпускаются как в
DIP-корпусах, так и в корпусах для поверхно-
стного монтажа. Они выпускаются со значе-
ниями максимальной допустимой импульс-
ной мощности 400 Вт, 500 Вт, 600 Вт, 1,5 кВт и
5 кВт. Диодные сборки обычно используются
на линиях передачи данных для защиты пор-
тов ввода/вывода от электростатических раз-
рядов. Кроме того, выпускаются специализи-
рованные низкоемкостные TVS-диоды, приме-
няемые в цепях с высокой скоростью передачи
данных с целью предотвращения затухания
полезных сигналов. TVS-диоды TRANSZORB®
выпускаются для работы в цепях с рабочими
напряжениями от 5 до 376 В. Ввиду широкого
диапазона возможных рабочих напряжений и
допустимых номинальных мощностей (так
же, как и перенапряжений) TVS-диоды
TRANSZORB® используются в различных эле-
ктронных схемах и приложениях.

Дискретные TVS-диоды TRANSZORB®

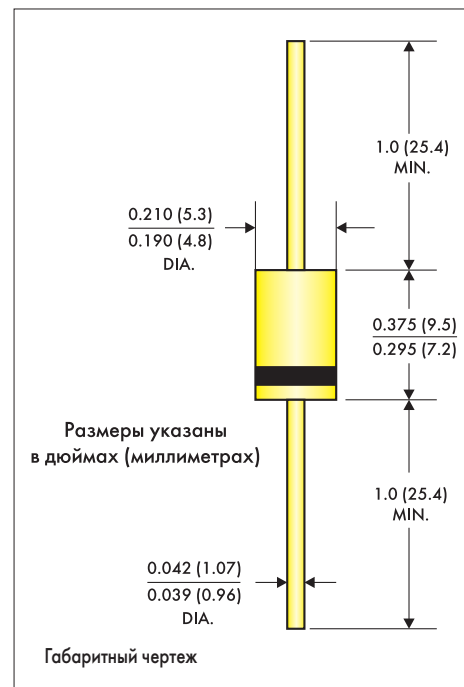


Дискретные TVS-диоды TRANSZORB® пред-
назначены для защиты чувствительных элек-
тронных компонентов от импульсных перена-
пряжений, вызываемых электростатически-
ми, коммуникационными и грозowymi разря-
дами. Все серии дискретных TVS-диодов вы-
пускаются с гибкими выводами для монтажа в
сквозные отверстия, в пластиковом корпусе с
защитой полупроводникового перехода пас-
сивирующим слоем стекла. Рекомендуемая
температура пайки диодов — 265 °C/10 с.

Они характеризуются широким диапазо-
ном рабочих напряжений (от 5,0 до 376 В) и
напряжениями ограничения (от 6,0 до 440 В),
малым временем срабатывания (для симмет-
ричных диодов — 1×10^{-9} с), способностью по-
давать импульсы перенапряжений высокой
мощности (до 1500 Вт при форме импульса
10/1000 мкс). Это позволяет использовать их
для защиты телекоммуникационного оборудо-
вания, цифровых интерфейсов и др. в усло-
виях неблагоприятной электромагнитной обо-
становки.

**TVS-диоды TRANSZORB®
серии 1.5KE6.8–1.5KE440CA
(1N6267–1N6303A)**

Диоды серии 1,5KE6,8–1,5KE440CA выпу-
скаются в симметричном и несимметричном
исполнении. В обозначении симметричного
диода добавляется суффикс С или СА. Напри-
мер, 1,5KE6,8С, 1,5KE440СА. Серия 1N6267–
1N6303А выпускается только в несимметрич-
ном исполнении.



**TVS-диоды TRANSZORB®
серии ICTE 5.0–ICTE 15C
(1N6273–1N6377 и 1N6382–1N6385)**

Диоды выпускаются в симметричном и не-
симметричном исполнении. Электрические
параметры несимметричных и симметричных
диодов этой серии указаны в табл. 4 и 5.

Габаритный чертеж, предельные эксплуата-
ционные характеристики аналогичны описан-
ным для серии 1.5KE6.8–1.5KE440CA (1N6267–
1N6303A).

Условные обозначения диодов 1N6273–
1N6377 и 1N6382–1N6385 соответствуют обо-
значению серии 1Nxx.

Таблица 2. Предельные эксплуатационные характеристики

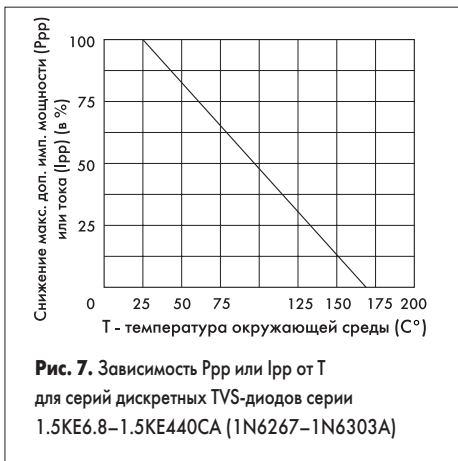
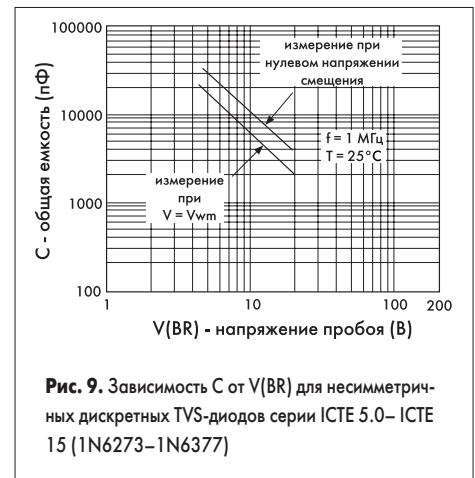
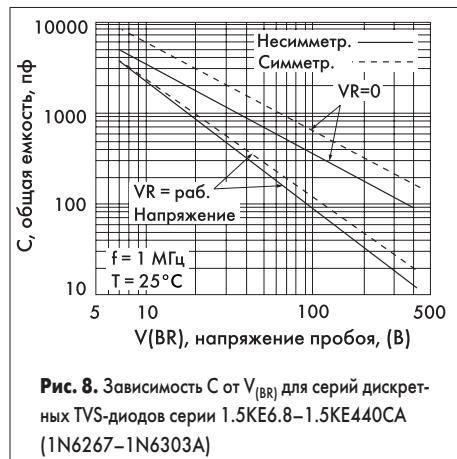
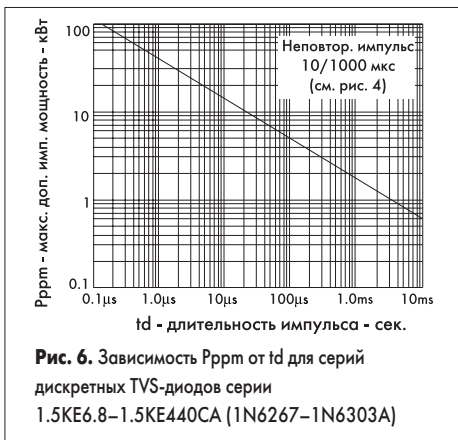
Параметр	Обозначение	Значение параметра	Единица измерения
Макс. имп. Мощность (имп. -10/1000 мкс) ⁽¹⁾	P_{ppm}	мин. 1500	Вт
Макс. имп. Ток (имп. -10/1000 мкс) ⁽¹⁾	I_{ppm}	см. следующую таблицу	А
Постоянная рассеиваемая мощность при $T=75^\circ$, длине выводов 9,5 мм	$P_{m(av)}$	6,5	Вт
Макс. прямой ток, только для несимметричных диодов ⁽²⁾	I_{FSM}	200	А
Макс. имп. прямое напряжение при 100 А, только для несимметричных диодов ⁽³⁾	V_F	3,5/5,0	В
Температура окружающей среды	T	-55...+175	$^\circ\text{C}$

Примечание. 1. При одиночном импульсе тока и при температуре 25°C . **2.** Измеряется при воздействии одиночного импульса в виде синусоидальной полуволны длительностью 8,3 мс или эквивалентного прямоугольного импульса, с максимальной частотой следования импульсов — 4 имп/мин (метод JEDEC). **3.** $V_F = 3,5$ В для диодов с $V_{(BR)} \leq 220$ В, и $V_F = 5,0$ В макс. для диодов с $V_{(BR)} > 220$ В.

Таблица 3. Электрические параметры

Тип (JEDEC)	Тип (General Semiconductor)	Напряжение пробоя $V_{(BR)}$ (В)		Тест. ток пробоя I_T (мА)	Постоянное обратное напряжение V_{WM} (В)	Макс.обр. ток при V_{WM}	Макс. имп. ток ограничения I_{ppm} (А)	Макс. напряжение ограничения при I_{ppm} V_C (В)	Темпер. коэф. напряжения пробоя (%/ $^\circ\text{C}$)
		Макс.	Мин.						
1N6267-	1.5KE6.8 -	6,12	7,48	10	5,5	1000	139	10,8	0,057
1N6303A	1.5KE200A* -	190	210	1	171	1,0	5,5	274	0,108
—	1.5KE440A	418	462	1	376	1,0	2,5	602	0,110

Примечание. В таблице указаны только параметры диодов с минимальными и максимальными значениями $V_{(BR)}$.



Графики, показывающие зависимость максимальной допустимой импульсной мощности (P_{ppm}) от длительности импульса (td) и зависимость P_{ppm} (I_{pp}) от температуры окружающей среды (T), аналогичны приведенным для диодов серии 1.5KE6.8–1.5KE440CA (1N6267–1N6303A).

ICTE - X X C

Значение напряжения V_{WM} Симметричный

Условное обозначение диодов серии ICTE-5.0–ICTE 15C



Таблица 4. Электрические параметры несимметричных диодов

Тип (JEDEC)	Тип (General Semiconductor)	Постоянное обратное напряжение V_{WM} (В)	Мин. ⁽³⁾ напряжение пробоя при токе 1 мА $V_{(BR)}$ (В)	Макс. обр. ток при V_{WM} I_D (мкА)	Макс. напряжение ограничения при $I_{ppm}=1,0$ А V_C (В)	Макс. напряжение ограничения при $I_{ppm}=10$ А V_C (В)	Макс. имп. ток ограничения I_{ppm} (А)
1N6373(2)	ICTE-5(2)	5,0	6,0	300	7,1	7,5	160
1N6374	ICTE-8	8,0	9,4	25,0	11,3	11,5	100
1N6375	ICTE-10	10,0	11,7	2,0	13,7	14,1	90
1N6376	ICTE-12	12,0	14,1	2,0	16,1	16,5	70
1N6377	ICTE-15	15,0	17,6	2,0	20,1	20,6	60

Таблица 5. Электрические параметры несимметричных диодов

Тип (JEDEC)	Тип (General Semiconductor)	Постоянное обратное напряжение V_{WM} (В)	Мин. ⁽³⁾ напряжение пробоя при токе 1 мА $V_{(BR)}$ (В)	Макс. обр. ток при $V_{WM} I_D$ (мкА)	Макс. напряжение ограничения при $I_{PPM}=1,0$ А V_C (В)	Макс. напряжение ограничения при $I_{PPM}=10$ А V_C (В)	Макс. имп. ток ограничения I_{PPM} (А)
1N6382	ICTE-8C	8,0	9,4	50,0	11,4	11,6	100
1N6383	ICTE-10C	10,0	11,7	2,0	14,1	14,5	90
1N6384	ICTE-12C	12,0	14,1	2,0	16,7	17,1	70
1N6385	ICTE-15C	15,0	17,6	2,0	20,8	21,4	60

Таблица 6. Электрические параметры симметричных диодов

Параметр	Обозначение	Значение параметра	Единица измерения
Макс. имп. Мощность (имп. -10/1000 мкс) ⁽¹⁾	P_{PPM}	мин. 1500	Вт
Макс. имп. Ток (имп. -10/1000 мкс) ⁽¹⁾	I_{PPM}	см. следующую таблицу	А
Постоянная рассеиваемая мощность при $T=75^\circ$, длине выводов 9,5 мм	$P_{m(av)}$	6,5	Вт
Макс. прямой ток, только для несимметричных диодов ⁽²⁾	I_{FSM}	200	А
Макс. имп. прямое напряжение при 100 А, только для несимметричных диодов ⁽³⁾	V_F	3,5/5,0	В
Температура окружающей среды	T	-55...+175	$^\circ\text{C}$

Примечание. 1. Симметричные диоды в обозначении имеют суффикс «С». **2.** Диоды ICTE-5 и 1N6373 выпускаются только в несимметричном исполнении. **3.** Указанное минимальное напряжение пробоя имеет допуск ± 1 Вольт. **4.** Коэффициент ограничения ($K_{огр}$): не превышает 1,33 при мощности равной $P_{имп.макс.}$ и не превышает 1,2 при 0,5 $P_{имп.макс.}$ $K_{огр}$ — отношение V_C / V_{BR} .