

## Общие сведения

### Назначение и область применения

Тиристоры на токи от 200 до 5000 А и напряжение от 200 до 4400 В таблеточного исполнения предназначены для работы в силовых и других цепях постоянного и переменного тока частотой до 500 Гц и применяются в различных преобразователях электроэнергии

### Условия эксплуатации

Климатическое исполнение и категория размещения по ГОСТ 15150-69 следующие:

УХЛ2 - для эксплуатации в макроклиматических районах с умеренным и холодным климатом в качестве встроенных элементов внутри комплектных изделий, конструкция которых исключает возможность конденсации влаги на встроенных элементах.

ТЗ - для эксплуатации в макроклиматических районах с сухим и влажным тропическим климатом в закрытых помещениях с естественной вентиляцией без искусственно регулируемых климатических условий, где колебания температуры и влажности воздуха и воздействие песка и пыли существенно меньше, чем на открытом воздухе.

Тиристоры предназначены для эксплуатации во взрывобезопасных и химически неактивных средах, в условиях исключающих воздействие различных излучений (нейтронного, электронного, гамма-излучения) в атмосфере условно чистой (тип I) или промышленной (тип II), где содержание коррозионно активных агентов не должно превышать: сернистого газа - 0,31 мг/м<sup>3</sup>, хлоридов - 0,3 мг/м<sup>3</sup> в сутки.

По прочности и устойчивости к воздействию механических нагрузок тиристоры соответствуют группе М27 условий эксплуатации по ГОСТ 17516.1-90.

Тиристоры допускают воздействие вибрационных нагрузок в диапазоне частот от 0,5 до 50 Гц и одиночных ударов длительностью импульса 50 мс и ускорением 40 м/с<sup>2</sup>.

Тиристоры по своим параметрам и характеристикам соответствуют ТУ У 32.1-30077685-009-2002.

### Комплектность поставки и формулирование заказа

Тиристоры поставляются без охладителей, но по согласованию с предприятием-изготовителем могут поставляться с охладителем и комплектом крепежных деталей.

К каждой партии тиристоров, транспортируемых в один адрес, прилагается этикетка.

При заказе тиристоров необходимо указать:

тип, класс, группу по критической скорости нарастания напряжения в закрытом состоянии, группу по времени выключения, климатическое исполнение, категорию размещения, комплектность поставки, количество, номер технических условий.

В случае заказа тиристоров для параллельной работы, по согласованию между изготовителем и потребителем, тиристоры следует отбирать по значениям импульсного напряжения в открытом состоянии с маркировкой значения на корпусе тиристора. В заказе должно указываться количество тиристоров в одном плече выпрямителя.

Пример заказа 20 штук тиристоров типа Т553-1250 восемнадцатого класса, с критической скоростью нарастания напряжения в закрытом состоянии по седьмой группе, с временем выключения по группе Е2, климатического исполнения УХЛ, категории размещения 2:

Т553-1250-18-7Е2 УХЛ2 ТУ У 32.1-30077685-009-2002 20 шт., без охладителей.

## Условное обозначение тиристоров



## Указания по монтажу и эксплуатации

Для работы тиристоры устанавливают на охладители или другие поверхности устройств, способных отводить тепло и обеспечивать их надежную эксплуатацию. При этом необходимо обеспечить плотный надежный контакт между контактными поверхностями основания тиристора и охлаждающей поверхности.

В случае использования различных устройств и способов охлаждения контактная поверхность охлаждающей поверхности должна быть не меньше контактной поверхности тиристора.

При использовании тиристоров таблеточной конструкции необходимо помнить, что их нагрузочная способность и надежность в работе зависят от качества сборки в устройствах. К таким параметрам как шероховатость и плоскопараллельность предъявляются особо строгие требования. От выполнения этих требований зависит насколько надежен будет тиристор в эксплуатации. Такие же требования необходимо предъявлять и к контактным поверхностям охлаждающих устройств и силовым шинам. При использовании алюминиевых или медных поверхностей нужно использовать защитное покрытие от коррозии.

При монтаже тиристоров на охлаждающую поверхность следует также соблюдать **равмерное и постепенное увеличение усилия сжатия до величины, указанной в ТУ и ИМ для данного типа прибора. Растягивающая сила для гибких выводов (управляющего и дополнительного) не должна превышать 10 Н.**

Отклонение величины усилия сжатия тиристора от заданного значения снижает его работоспособность и может привести к разрушению. Необходимо помнить, что прижимное устройство должно работать в условиях упругих деформаций во всем диапазоне рабочих температур. При уменьшении прижатия тиристора к охлаждающей поверхности будет увеличиваться тепловое сопротивление, что приведет к снижению нагрузочной способности тиристора: снижению допустимого тока нагрузки и увеличению падения напряжения в открытом состоянии.

Превышение прижимного усилия приводит к снижению устойчивости к циклической нагрузке вследствие большой деформации кремниевой структуры.

Важно, чтобы усилие прижатия равномерно распределялось по всей площади структуры. Это условие выполняется правильным выбором конструкции системы сжатия. Кроме того, при выборе материалов конструкции необходимо учитывать термонапряжение, возникающее при нагреве устройства.

В процессе эксплуатации тиристоров рекомендуется не реже одного раза в год проводить контроль и, при необходимости, корректировку усилия сжатия.

При сборе тиристоров в параллельное соединение, требования к устройству системы сжатия должны соблюдаться особенно тщательно. Необходимо использовать тиристоры с одинаковыми диаметрами контактных поверхностей и минимальным разбросом импульсных значений падения напряжения в открытом состоянии. Тиристоры Т273 и Т673 разбраковываются на группы по импульсному напряжению в открытом состоянии ( $U_{TM}$ ). Разброс значений импульсного напряжения в открытом состоянии в пределах группы составляет не более 0,06 В как при комнатной, так и при максимально допустимой температурах, что обеспечивает хорошее токораспределение между параллелями во всем диапазоне рабочих и перегрузочных токов.

Буквенные обозначения групп в зависимости от значений  $U_{TM}$  приведены в следующей таблице.

### Группы по значениям импульсного прямого напряжения в открытом состоянии

Таблица 1

Тиристоры	Т273-2500-18, Т673-2500-18				Пределы значений
Группа	Импульсное напряжение в открытом состоянии, В, при температуре структуры				
	25 °С		125 °С		
	Амплитуда тока, А		Амплитуда тока, А		
	3270	7850	3270	7850	
А	1,17	1,49	1,12	1,53	мин
	1,20	1,53	1,16	1,58	макс
В	1,20	1,53	1,16	1,58	мин
	1,23	1,57	1,20	1,63	макс
С	1,23	1,57	1,20	1,63	мин
	1,26	1,61	1,24	1,68	макс
Е	1,26	1,61	1,24	1,68	мин
	1,30	1,65	1,28	1,73	макс
Н	1,30	1,65	1,28	1,73	мин
	1,35	1,70	1,34	1,79	макс

Группы по значениям импульсного прямого напряжения в открытом состоянии

Таблица 2

Тиристоры	ТЗ63-1600-24, Т663-1600-24									
Группа	Импульсное напряжение в открытом состоянии, В, при температуре структуры									Пределы значений
	25 °С			105 °С			125 °С			
	Амплитуда тока, А			Амплитуда тока, А			Амплитуда тока, А			
	1000	2300	5000	1000	2300	5000	1000	2300	5000	
А	1,16	1,32	1,74	1,06	1,35	1,91	1,05	1,38	1,96	мин
	1,21	1,39	1,81	1,11	1,41	1,97	1,10	1,43	2,02	макс
В	1,20	1,38	1,80	1,10	1,40	1,96	1,09	1,42	2,01	мин
	1,28	1,45	1,87	1,16	1,47	2,02	1,15	1,48	2,08	макс
С	1,27	1,44	1,87	1,14	1,45	2,01	1,13	1,47	2,07	мин
	1,35	1,51	1,94	1,20	1,52	2,08	1,19	1,54	2,14	макс
Е	1,34	1,50	1,93	1,18	1,51	2,07	1,18	1,53	2,13	мин
	1,40	1,57	2,00	1,25	1,57	2,13	1,25	1,60	2,22	макс

Допустимые обратные параметры и параметры закрытого состояния тиристоров.

Для безопасной работы тиристоров необходимо, чтобы случайные импульсы перенапряжения в обратном направлении ( $U_{RS}$ ) и импульсы перенапряжения в прямом закрытом состоянии ( $U_{DS}$ ), не превышали максимальных значений ( $U_{RSM}$  и  $U_{DSM}$ ).

Для надежной работы тиристоров рабочие значения повторяющегося импульсного напряжения в обратном ( $U_{RWM}$ ) и прямом закрытом состоянии ( $U_{DWM}$ ) не должны превышать 80 % от напряжения класса ( $U_{RWM} \leq 0,8U_{RRM}$ ,  $U_{DWM} \leq 0,8U_{DRM}$ ).

Значения постоянного напряжения в закрытом состоянии и постоянного обратного напряжения не должны превышать 60 % от напряжения класса ( $U_R \leq 0,6 U_{RRM}$ ,  $U_D \leq 0,6 U_{DRM}$ ).

Приведенные соотношения между значениями рабочего напряжения в обратном и прямом закрытом состоянии обеспечивает надежную работу тиристоров в течении их срока службы. Следует отметить, что повышение показателей надежности тиристоров по сравнению с данными технических условий может быть достигнуто за счет снижения рабочей температуры и уменьшения величины рабочего напряжения по сравнению со значением повторяющегося импульсного напряжения. Другими словами, применение для заданных условий эксплуатации тиристора более высокого класса и с большими предельными токами повышает надежность их работы. Причем, скорость нарастания прямого напряжения в закрытом состоянии не должна превышать максимально допустимое значение  $(dU/dt)_{crit}$ , указанное в таблице в соответствии с группой тиристора по  $(dU/dt)_{crit}$ . Превышение этого значения приводит к включению тиристора без подачи импульса управления и, в конечном итоге, выходу тиристора из строя. Ограничение  $dU/dt$  обеспечивается включением RC- цепочки параллельно к каждому тиристор.

## Допустимые параметры и характеристики тиристора в открытом состоянии.

Предельным током конструкции является максимально допустимый средний ток тиристора, заданный при определенной температуре корпуса. Превышать этот ток при установившемся режиме работы тиристора не разрешается. Эксплуатировать тиристоры при максимально допустимом токе нагрузки можно только обеспечив охлаждение, достаточное для поддержания температуры корпуса тиристора не выше указанной. Способы охлаждения могут быть различные: принудительное воздушное, водяное, крепление на охладитель с достаточным низким тепловым сопротивлением и т.п.

Если температура корпуса выше заданной, ток нагрузки необходимо снижать согласно графика зависимости среднего тока в открытом состоянии от температуры корпуса (рисунок 2 для тока синусоидальной формы и рисунок 3 для тока прямоугольной формы).

В зависимости от тока нагрузки происходит рассеяние мощности в структуре тиристора (рисунки 6 и 7). Эта зависимость определяется по формуле:

$$P = U_{T(TO)} I_{T(AV)} + k_{\phi}^2 r_T I_{T(AV)}^2$$

где  $U_{T(TO)}$  - пороговое напряжение ,

$r_T$  - динамическое сопротивление,

$k_{\phi}$  - коэффициент формы тока ( для полусинусоиды  $k_{\phi} = 1,57$ ).

Чтобы тиристор не перегревался, необходимо обеспечить его достаточное охлаждение.

При эксплуатации тиристора на типовом охладителе при естественном охлаждении, допустимое значение среднего тока в открытом состоянии определяется по зависимостям среднего тока в открытом состоянии от температуры окружающей среды, приведенным на рисунках 8 и 9.

Максимальное значение одиночного импульса аварийной перегрузки в течении 10 мс называется ударным током  $I_{TSM}$ . Его значение приведено в таблице. Воздействие этого импульса тока приводит к некоторому превышению температуры структуры тиристора над предельно допустимой. На время тиристор теряет способность выдерживать обратное напряжение, соответствующее его классу. Поэтому прикладывать обратное напряжение к тиристоры после импульса ударного тока не рекомендуется.

Если длительность аварийного импульса менее 10 мс, допустимая амплитуда одиночного импульса тока в аварийном режиме определяется по графику зависимости ударного тока  $I_{TSM}$  от длительности импульса  $t_i$  (рисунок 4). На рисунке 5 приведена зависимость защитного показателя  $I^2t$  от длительности  $t_i$ , необходимая для выбора предохранителя, защищающего тиристор от повторной нагрузки импульсами ударного тока.

Защитный показатель  $\int I^2t$  для полусинусоидального импульса тока определяется по формуле:

$$\int_0^{\pi} (I_m \sin \omega t)^2 dt = \frac{I_m^2 t_i}{2},$$

где  $t_i$  - длительность аварийного тока.

Значение  $I_m$ , допустимое при данной длительности, определяется по графику зависимости ударного тока от длительности импульса (рисунок 4).

Значение защитного показателя предохранителя должно быть меньше значения  $I^2t$  тиристора.

Термодинамическая стойкость корпуса - это способность корпуса тиристора выдерживать без прожогов и разрушений горение электрической дуги, которая возникает внутри его при пробое полупроводникового прибора. Приведенные в каталоге значения амплитуды и длительности тока термодинамической стойкости

корпуса  $I_{(crit)}$  и защитного показателя термодинамической стойкости корпуса  $I_{(crit)}^2 \cdot t$  дают возможность правильно выбрать тип предохранителя при проектировании выпрямителя.



### Защита тиристоров от перенапряжения.

Накопленный заряд восстановления  $Q_{\pi}$ , который возникает при выключении тиристора, зависит от скорости спада тока. Значение  $Q_{\pi}$  необходимо для расчета емкости защитной RC-цепочки, которую можно определить по формуле:

$$C \approx \frac{Q_{\pi}}{U_{RM}}$$

где  $U_{RM}$  - амплитуда перенапряжения, возникающего при выключении тиристора, которое не должно превышать допустимое неповторяющееся напряжение в закрытом состоянии и повторяющееся обратное напряжение.

Сопротивление резистора RC-цепи определяется по формуле:

$$R = \frac{L_s du/dt}{U_{RRM}}$$

где  $L_s$  - суммарная индуктивность двух соседних фаз сети,

$du/dt$  - допустимая скорость нарастания напряжения.

При расчете скорости нарастания тока нагрузки  $di/dt$ , необходимо учитывать ток разряда емкости  $C$ , который добавляется к току нагрузки.

Ниже приведена таблица зависимости параметров RC-цепей от рабочего напряжения и тока нагрузки, протекающего через полупроводниковый прибор.

Таблица скопирована с Infineon\_Bipolar-AN20012\_01\_Technical\_Information-AN-v1.0-en.pdf (стр.55).

			Durchlassstrom $I_{TAV}$ , $I_{FAV}$ on-state current $I_{TAV}$ , $I_{FAV}$					
			$\leq 50$ A	$\leq 100$ A	$\leq 200$ A	$\leq 500$ A	$\leq 1000$ A	$\leq 2000$ A
Anschlussspannung $V_N$ nominal voltage $V_N$	$\leq 230$ V	C [ $\mu$ F]	022	0.33	0.68	1.5	3.3	6.8
		R [ $\Omega$ ]	47	33	22	12	6.8	6.8
		P[W]	$\geq 5$	$\geq 10$	$\geq 15$	$\geq 30$	$\geq 70$	$\geq 150$
	$\leq 400$ V	C [ $\mu$ F]	0.12	0.22	0.47	1.0	2.2	4.7
		R [ $\Omega$ ]	82	56	33	22	15	12
		P[W]	$\geq 7$	$\geq 15$	$\geq 30$	$\geq 70$	$\geq 125$	$\geq 300$
	$\leq 500$ V	C [ $\mu$ F]	0.10	0.18	0.39	0.82	1.8	3.3
		R [ $\Omega$ ]	120	68	39	27	18	15
		P[W]	$\geq 10$	$\geq 25$	$\geq 50$	$\geq 100$	$\geq 200$	$\geq 400$
	$\leq 690$ V	C [ $\mu$ F]			0.27	0.56	1.0	1.8
		R [ $\Omega$ ]			47	33	22	22
		P[W]			$\geq 70$	$\geq 125$	$\geq 250$	$\geq 500$

Table 2 RC-snubbers for individual snubbing in mains applications