

Силовые тиристорные, диодные и IGBT-модули

компании Zenli Rectifier

В статье представлены некоторые тиристорные, диодные и IGBT-модули китайской компании Zenli Rectifier. По мнению автора статьи, рассмотренные компоненты могут успешно заменить аналогичную продукцию компаний мировых лидеров. Для удобства выбора в технической документации Zenli Rectifier для ряда компонентов указаны аналоги производства компаний Infineon, IXYS (ныне Littelfuse), SEMIKRON.

Леонид Чанов

Введение

Сегодня многим отечественным компаниям из-за сложности приобретения привычной компонентной базы приходится искать новых партнеров. Чаще всего эти поиски приводят к замене компонентов производства известных западных компаний на китайские аналоги. Уместна ли в данном контексте известная фраза: «За неимением гербовой пишем на простой»? В некоторых случаях да, в некоторых — нет.

Однако думается, для рассматриваемых в статье компонентов эта фраза не соответствует действительности. Тиристоры, диоды и IGBT вышли на «технологическую полку», и уже несколько лет их параметры сколь-либо существенно не улучшаются. Поэтому нет явных компаний-лидеров, чьи изделия выделяются техническими характеристиками. Основные усилия при их изготовлении направлены на улучшение качества компонентов за счет совершенствования технологии производства и тестирования, а в этом китайские компании не уступают западным.

Конечно, продукты компаний Infineon, IXYS (ныне Littelfuse), SEMIKRON являются своего рода иконами стиля, они задают промышленные стандарты — и китайские компании, в частности Zenli Rectifier, следуют данным стандартам и не скрывают этого. В каталоге силовых устройств Zenli Rectifier указаны

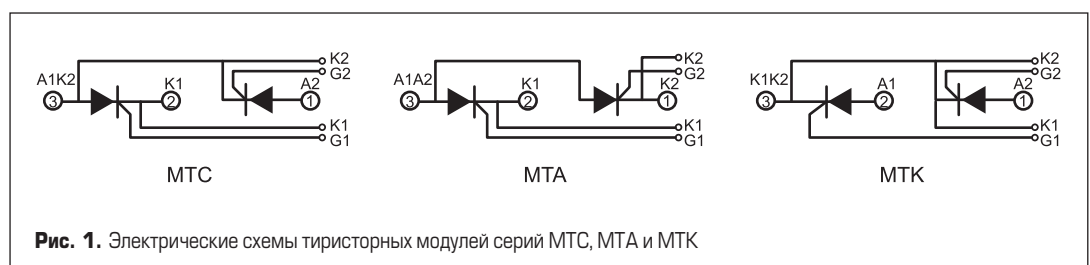
прямые аналоги тиристорных модулей, соответствующих продукции перечисленных выше компаний, что, впрочем, не означает их вторичность.

Далее мы рассмотрим некоторые силовые модули от китайской компании Zenli Rectifier и надеемся, что читатель убедится в нашей правоте. Компания специализируется на выпуске компонентов силовой электроники. Ее продукция используется в самых разных областях — от оборудования для электро-сварки до медицинской техники и электромобилей. Zenli Rectifier гарантирует качество и безопасность своей продукции, подтверждением чему служат 19 международных сертификатов.

Тиристорные модули

В специализированных журналах сегодня очень мало пишут о тиристорах, но это не означает, будто область их применения невелика. Им нет равных при коммутации мощных высоковольтных токоприемников с рабочими токами в несколько сотен ампер. Компания Zenli Rectifier производит тиристорные модули, состоящие из двух тиристорov, тиристорно-диодные модули и одиночные тиристоры.

На рис. 1 представлены электрические схемы тиристорных модулей серий MTC, MTA и MTK, а на рис. 2 — электрические схемы тиристорно-диодных модулей MFC (TD) и MFC (DT). Все мо-



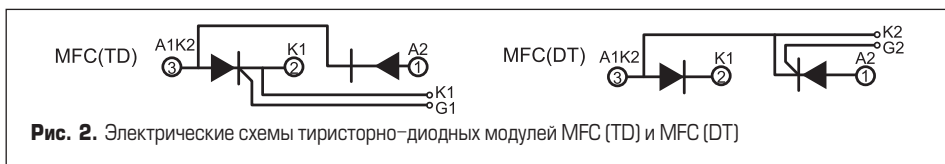


Рис. 2. Электрические схемы тиристорно-диодных модулей MFC (TD) и MFC (DT)

дули имеют аналоги в продукции компаний Infineon, IXYS, SEMIKRON и выпускаются в модификациях для воздушного или жидкостного охлаждения, максимальная температура *p-n*-перехода достигает +125 °С. Можно выбрать не только рабочие напряжения и токи модуля, но и решение с быстрым тиристором или с быстрым диодом.

В документации компании приводятся рисунки корпусов и их чертежи с установочными размерами для всех изделий [1]. Приводить их все в рамках журнальной статьи не имеет смысла, но, чтобы читатель получил представление о продукции, на рис. 3 и 4 показаны фотографии корпусов модулей с рабочими токами 25–110, 800, 1000 А.

Повторяющееся обратное напряжение в зависимости от модификации модулей лежит в пределах 400–2600 В. Тиристоры и диоды изолированы от корпуса, электрическая прочность изоляции составляет 2500 В АС. Отметим еще достаточно высокую максимальную скорость нарастания обратного напряжения, до 1000 В/мкс. Остальные, наиболее важные, на наш взгляд, параметры, приведены в таблице 1. Более подробная информация

о каждом модуле доступна на сайте производителя [1].

Напомним, чем отличаются токи I_{TM} и I_{TCM} . При импульсном повторяющемся токе I_{TM} тиристор сохраняет управляемость. Ударный ток в открытом состоянии I_{TCM} представляет собой единичный, неповторяющийся импульс тока длительностью 8,3 мс, что соответствует длительности полуволны синусоиды частотой 60 Гц.

Помимо изолированных модулей, компания производит неизолированные тиристорные модули серии MTG, состоящие из трех тиристоров, соединенных по схеме с общим анодом (рис. 5). Эти модули аналогичны модулям компаний Mitsubishi и SanRex. Их повторяющееся обратное напряжение, в зависимости от модификации, находится в пределах 200–600 В. Максимальная скорость нарастания обратного напряжения, так же как и у изолированных модулей, составляет 1000 В/мкс. Другие важные параметры приведены в таблице 2.

Для того чтобы у читателей сложилось полное представление об этой группе продукции, приведем основные параметры одиночных ти-



Рис. 3. Корпус модуля с рабочими токами 23–110 А



Рис. 4. Корпус модуля с рабочими токами 800, 1000 А

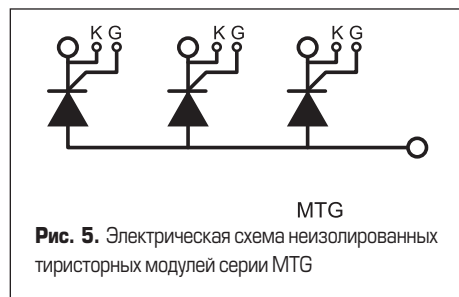


Рис. 5. Электрическая схема неизолированных тиристорных модулей серии MTG

Таблица 1. Некоторые основные параметры изолированных тиристорных и тиристорно-диодных модулей

Средний прямой ток $I_{T(AV)}$, А	Повторяющийся импульсный ток I_{TM} , А	Прямое падение напряжения V_{TM} , В	Пороговое напряжение управляющего электрода V_{GT} , В	Ток управляющего электрода I_{GT} , мА	Максимальная скорость нарастания тока в открытом состоянии di/dt , А/мкс	Ударный ток в открытом состоянии, I_{TCM} , А	Тепловое сопротивление «переход-корпус» R_{JC} , °С/Вт
25	80	1,69	2,5	100	50	550	0,95
40	120	1,6	2,5	100	50	1000	0,65
55	170	1,5	2,5	100	50	1250	0,53
70	210	1,48	2,5	100	50	1600	0,41
90	270	1,54	2,5	100	100	2000	0,28
110	330	1,6	2,5	100	100	2400	0,25
130	410	1,66	2,5	150	100	3800	0,2
160	480	1,6	2,5	150	100	5400	0,17
200	600	1,6	2,5	180	100	7200	0,14
250	750	1,65	2,5	180	100	8500	0,12
300	900	1,6	2,5	180	100	9300	0,1
400	1200	1,44	2,5	200	100	14000	0,08
500	1500	1,44	3	200	100	16000	0,065
600*	1800	1,6	3	200	100	13000	0,073
800*	2400	1,65	3	200	100	16000	0,54
1000*	3000	1,65	3	200	100	20000	0,05

Примечание. *При жидкостном охлаждении.

Таблица 2. Некоторые основные параметры неизолированных тиристорных и тиристорно-диодных модулей

Средний прямой ток $I_{T(AV)}$, А	Повторяющийся импульсный ток I_{TM} , А	Прямое падение напряжения V_{TM} , В	Пороговое напряжение управляющего электрода V_{GT} , В	Ток управляющего электрода I_{GT} , мА	Максимальная скорость нарастания тока в открытом состоянии di/dt , А/мкс	Ударный ток в открытом состоянии, I_{TCM} , А	Тепловое сопротивление «переход-корпус» R_{JC} , °С/Вт
80	240	1,35	2,5	100	100	2700	0,28
100	300	1,4	2,5	100	100	3400	0,25
130	450	1,4	2,5	100	100	5600	0,16
150	450	1,4	2,5	100	100	5600	0,16
200	600	1,39	2,5	100	100	7000	0,13
250	750	1,4	2,5	100	100	8000	0,1
300	900	1,45	2,5	100	100	9000	0,08

Таблица 3. Некоторые основные параметры изолированных одиночных тиристоров

Средний прямой ток $I_{T(AV)}$, А	Повторяющийся импульсный ток I_{TM} , А	Прямое падение напряжения V_{TM} , В	Пороговое напряжение управляющего электрода V_{GT} , В	Ток управляющего электрода I_{GT} , мА	Максимальная скорость нарастания тока в открытом состоянии di/dt , А/мкс	Ударный ток в открытом состоянии, I_{TSM} , А	Тепловое сопротивление «переход-корпус» R_{JC} , °C/Вт
150	480	1,56	Не более 2,5	Не более 150	100	5400	0,17
200	600	1,38	Не более 2,5	Не более 150	100	7200	0,14
250	750	1,43	Не более 2,5	Не более 150	100	8500	0,12
300	900	1,35	Не более 2,5	Не более 150	100	9300	0,1
400	1050	1,5	Не более 2,5	Не более 150	100	11000	0,09
500	1200	1,45	Не более 3	Не более 150	100	14000	0,08
600	1350	1,5	Не более 2,5	Не более 150	100	16000	0,078
800	1500	1,45	Не более 3	Не более 150	100	18000	0,075

Таблица 4. Некоторые основные параметры модулей со сверхбыстрыми диодами и диодами Шоттки

Наименование сборки	Длительный прямой средний ток $I_F(AV)$, А		Среднеквадратичный ток I_{FRM} , А	Ударный ток в открытом состоянии, I_{TSM} , А	Обратный ток I_R , мкА	Время обратного восстановления T_{RR} , с
	Сборки	Отдельного диода в сборке				
MURP200	200	100	200	800	100, 150	50, 75, 90
MURP300	300	150	300	1200	100, 150	50, 75, 90
MURP400	400	200	400	1600	100, 150	50, 75, 90
MURP600	600	300	600	2400	100, 150	75, 90, 95
MBRP300	300	150	300	2500	800	Не применимо
MBRP400	400	200	400	2500	6000	Не применимо

ристоров. Их повторяющееся обратное напряжение, так же как и у тиристорных модулей, составляет 400–2600 В в зависимости от модификации. Схожи и некоторые другие параметры: электрическая прочность изоляции равна 2500 В AC, а максимальная скорость нарастания обратного напряжения — 1000 В/мкс. Остальные параметры одиночных тиристоров представлены в таблице 3.

Диодные модули

Компания производит модули со сверхбыстрыми диодами и диодами Шоттки, а также модули и одиночные выпрямительные диоды. Электрические схемы модулей сверхбыстрых диодов серии MURP и диодов Шоттки серии MBRP показаны на рис. 6. Диоды Шоттки вы-

пускаются на максимальное обратное напряжение 45 и 100 В, а сверхбыстрые диоды — на 200, 400 и 600 В. Подобное разделение вполне объяснимо, с повышением номинального обратного напряжения увеличиваются сложности производства диодов Шоттки, поэтому на сегодня предельным максимальным обратным напряжением для них является 200 В.

Диоды Шоттки используются в низковольтных преобразователях с рабочей частотой свыше 100 кГц, а сверхбыстрые диоды предназначены для преобразователей с частотой несколько десятков килогерц и входным напряжением несколько сотен вольт. Оба типа диодов применяются для уменьшения потерь, связанных с восстановлением обратного сопротивления диодов. Их основные параметры приведены в таблице 4.

Все серии быстродействующих диодов MURP имеют модификации с максимальным обратным напряжением 200, 400 и 600 В. Прямое падение напряжения на диодах этой серии при максимальном прямом токе варьируется в пределах 0,95–1,35 В. Прямое падение напряжения на диодах Шоттки меньше — в пределах 0,69–0,83 В.

Мы не будем дублировать документацию производителей и загромождать статью техническими сведениями, поэтому не будем приводить данные об одиночных выпрямительных диодах, а ограничимся диодными выпрямительными

модулями. Параметры их диодов примерно такие же, как и у диодов, входящих в состав модулей. На рис. 7 приведены электрические схемы выпрямительных диодных модулей с указанием серии модулей. Кроме неуправляемых одно- и трехфазных модулей, в линейке компании есть и управляемые одно- и трехфазные выпрямительные модули (рис. 8).

Все перечисленные выпрямительные модули изолированы, электрическая прочность изоляции составляет 2500 В. В таблице 5 даны основные параметры трехфазных выпрямительных модулей. Параметры остальных выпрямительных модулей имеют примерно такое же значение. Отметим, что в управляемых выпрямительных модулях допустимое

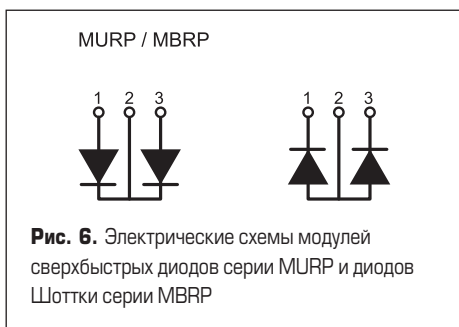


Рис. 6. Электрические схемы модулей сверхбыстрых диодов серии MURP и диодов Шоттки серии MBRP

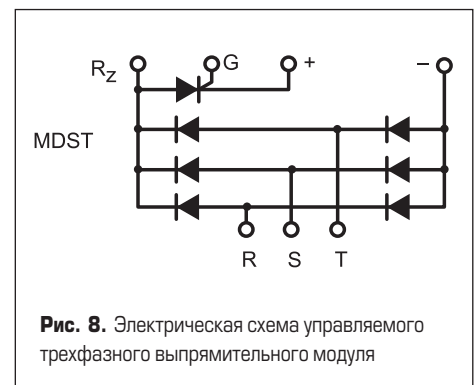


Рис. 8. Электрическая схема управляемого трехфазного выпрямительного модуля

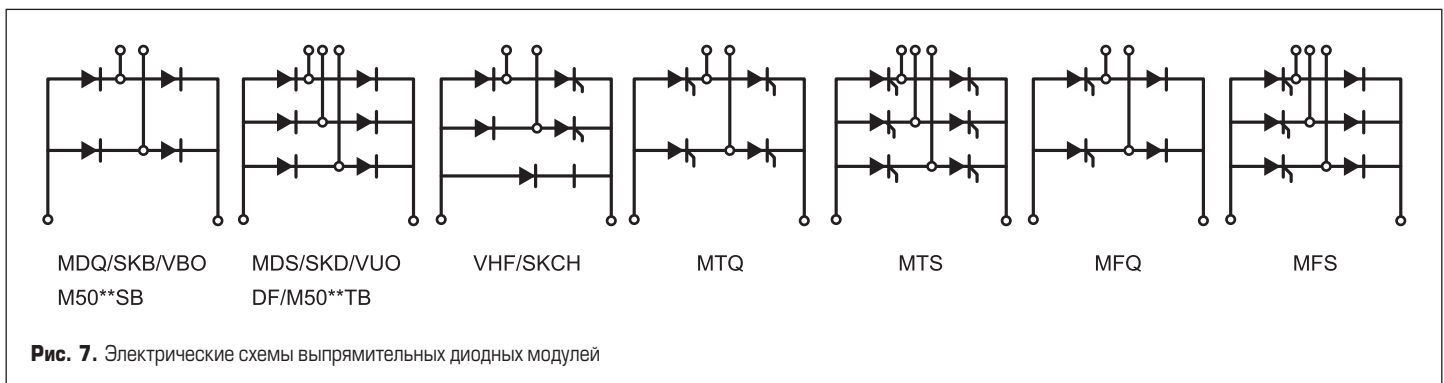


Рис. 7. Электрические схемы выпрямительных диодных модулей

Таблица 5. Некоторые основные параметры изолированных трехфазных выпрямительных модулей

Выпрямленный ток I_C , А	Пиковый ток диода I_{FM} , А	Прямое падение напряжения на диоде V_{FM} , В	Средний/среднеквадратичный ток диода $I_{RPM}/I_{F(RMS)}$, А	Ударный ток в открытом состоянии I_{FMS} , А	Тепловое сопротивление «переход-корпус» R_{JC} , °C/Вт
20	20	1,48	8	250	0,62
30	30	1,49	10	400	0,6
50	50	1,5	15	500	0,58
60	60	1,55	20	750	0,55
75/80	80	1,47	25	1000	0,32
100	100	1,53	35	1500	0,24
150	150	1,5	50	2500	0,15
200	200	1,47	75	2500	0,15
250	250	1,47	100	2750	0,14
300	300	1,48	125	2900	0,14
400	400	1,45	150	2950	0,13
500	500	1,49	200	3150	0,12
600	600	1,49	250	3500	0,10
800	800	1,5	480	5800	0,09
1000	1000	1,5	640	6300	0,08

Таблица 6. Некоторые основные параметры полумостовых IGBT-модулей

Наименование модуля	Ток коллектора I_C , А		Нормируемое напряжение коллектор-эмиттер V_{CE} , В	Напряжение насыщения коллектор-эмиттер $V_{CE(SAT)}$, В	Энергия коммутации ($E_{ON} + E_{OFF}$), мДж	Тепловое сопротивление «переход-корпус» R_{JC} , °C/Вт
	При +25 °C	При +80 °C				
ZG50HFL60C1S	75	50	600	1,6	1,5	0,44
ZG75HFL60C1S	100	75	600	1,6	3,1	0,35
ZG100HFL60C1S	130	100	600	1,6	3,9	0,28
ZG150HFL60C1S	180	150	600	1,7	6,9	0,21
ZG200HFL60C1S	230	200	600	1,6	10,9	0,17
ZG50HFL120C1S	115	50	1200	1,8	12,6	0,27
ZG75HFL120C1S	170	75	1200	1,8	16,5	0,18
ZG100HFL120C1S	200	100	1200	1,8	22	0,16
ZG100HFL120C2S	300	150	1200	1,8	35	0,16
ZG150HFL120C2S	300	150	1200	1,8	35	0,1
ZG200HFL120C2S	420	200	1200	1,8	45	0,08
ZG300HFL120C2S	625	300	1200	1,9	71	0,05
ZG400HFL120C2S	650	400	1200	1,8	130	0,044

обратное напряжение варьируется в пределах 400–2600 В в отличие от одно- и трехфазных модулей, в которых этот параметр находится в диапазоне 600–2000 В.

IGBT-модули

Компания Zenli Rectifier производит IGBT-модули самых разных configura-

ций: одиночные транзисторы, полумостовые модули, одно- и трехфазные мостовые модули, чопперы, трехфазные модули со встроенным трехфазным диодным выпрямительным мостом и тормозным транзистором. Все модули выдерживают ток короткого замыкания в течение 10 мкс — опция, недостижимая для силовых ключей MOSFET. Для полумостовых модулей ука-

заны прямые аналоги компаний Infineon и SEMIKRON. Все электрические схемы модулей представлены на рис. 9. В таблице 6 приведены основные параметры полумостовых модулей.

Литература

1. www.chinazenli.com

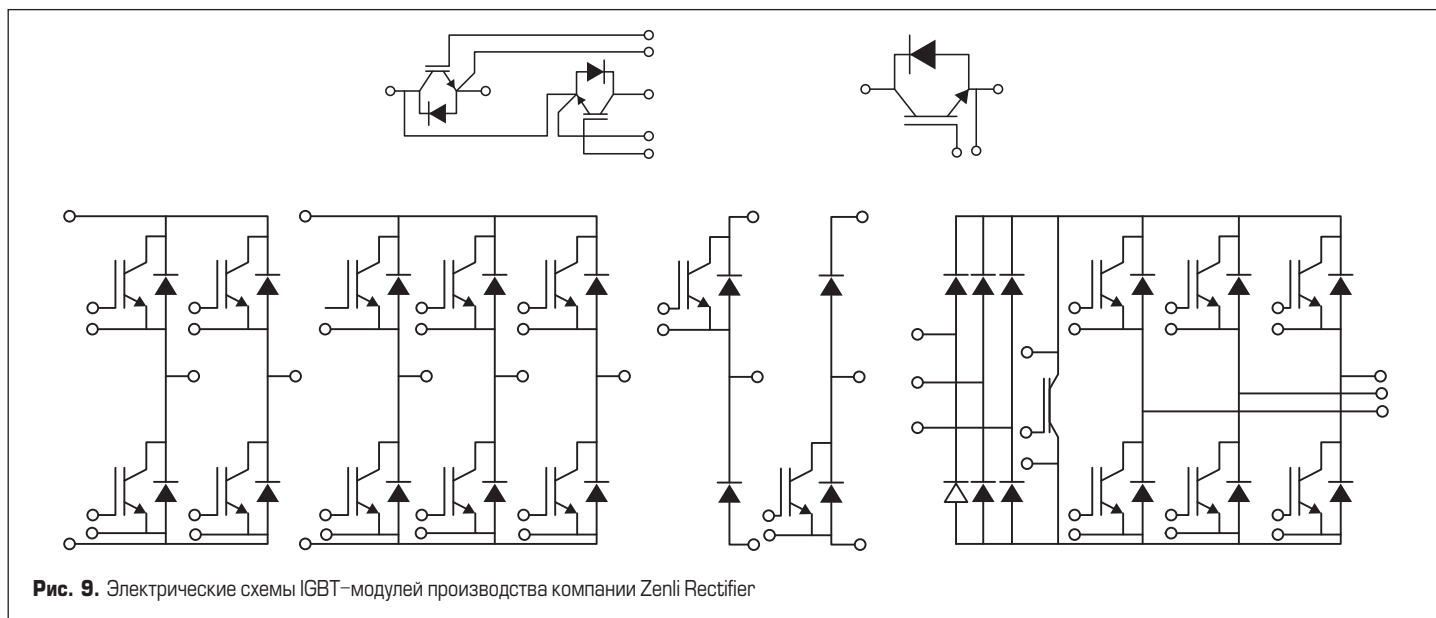


Рис. 9. Электрические схемы IGBT-модулей производства компании Zenli Rectifier