

# Российская силовая электроника:

## разворот на Восток и доступная функциональность.

### Часть 5. Zenli

Денис Новоторженцев \*

denis\_n@npkexpert.ru

Андрей Колпаков \*

akolpakov@npkexpert.ru

Авторы продолжают рассказывать о наиболее интересных производителях компонентов силовой электроники из Китая. Предыдущие статьи, посвященные компаниям Xiner, Novosense, Firstack, AnXon, опубликованы в журнале «Силовая электроника» № 1-4'2023 [2-5]. К электронным компонентам, используемым в промышленных преобразователях, в частности диодно-тиристорным модулям, предъявляются все более высокие требования по плотности мощности и надежности. Компаниям-изготовителям, вынужденным решать столь противоречивые задачи, приходится вкладывать огромные средства в поиск новых технологий и совершенствование производства. Распространенное мнение о том, что применение выпрямительных полупроводниковых приборов не представляет никакой сложности, ошибочно, и в этом может убедиться каждый, кто прочтает серию статей «Диоды и тиристоры — это очень просто!», опубликованных в журнале «Силовая электроника» № 1-3'2012, № 4'2014, № 5'2018. Технологии диодных и тиристорных модулей можно считать наиболее отработанными, тем не менее они являются неотъемлемой частью практически любого силового конвертера, поэтому такие компоненты вызывают неизменный интерес пользователей. Крупнейшим производителем выпрямительных мостов и диодно-тиристорных модулей в Китае считается TechSem. Однако есть еще одна компания, чья продукция удачно повторяет и дополняет номенклатуру TechSem, — это Zhejiang Zhengli Rectifier, или просто Zenli.

\* НПК «Эксперт».

#### Знакомьтесь: Zenli

Компания Zhejiang Zhengli Rectifier Manufacturing Co., Ltd. (далее — Zenli), основанная в 1998 году, спе-

циализируется на разработке, производстве, продаже и послепродажном обслуживании силовых полупроводниковых приборов. Компания расположена в Люши, Вэньчжоу, Чжэцзян — столице электротехнической промышленности Китая. Основные продукты Zenli — диоды, тиристоры, выпрямительные мосты, твердотельные реле.

Фирма прошла сертификацию системы менеджмента и первой в отрасли получила европейский сертификат качества CE — ISO9001, экологический сертификат EU ROHS и другие. На Zenli создан центр исследований и разработок, совершенствуются производственные линии, посты контроля технологических процессов и сборки готовой продукции, освоена прецизионная штамповка, внедряются новые стандарты технологии производства, постоянно улучшается качество производственных процессов. В результате этого компании удалось сократить затраты и сделать продукцию более конкурентоспособной.

Zenli постоянно поддерживает и развивает сотрудничество с известными производителями силовой электроники по всему миру. Для лучшего удовлетворения потребностей клиентов и упрощения выбора компонентов на сайте компании показаны аналоги наиболее востребованных диодно-тиристорных модулей SEMIKRON, VISHAY, IXYS и других.



**Рис. 1.** В производственной программе Zenli — диодно-тиристорные модули, выпрямительные мосты, твердотельные реле, силовые сборки и многое другое

Немного теории

**Конструкция диодно-тиристорных модулей**

Проблема производства и модернизации стандартных продуктов, в частности диодов и тиристоров, состоит в том, что улучшение электрических и тепловых характеристик должно происходить без изменения размеров корпуса, а также способа крепления и подключения модулей. Замена устаревших компонентов на новые не должна требовать какой-либо доработки конструкции изделия. Это непосредственно относится к таким распространенным и популярным компонентам, как изолированные диодно-тиристорные модули.

Совершенствование конструкции выпрямительных силовых модулей ведется по многим направлениям, главное из которых — сокращение количества промежуточных слоев, необходимое для снижения теплового сопротивления. Пример такого эволюционного изменения показан на рис. 2, здесь видно, что у модуля (рис. 2б) отсутствуют многие переходные слои. Это позволяет уменьшить суммарное значение  $R_{th}$  и стоимость прибора, однако платой за подобное упрощение становится ухудшение стойкости к термоциклированию. Например, молибденовые пластины на рис. 2а предназначены именно для улучшения согласования коэффициентов теплового расширения (КТР или CTE — Coefficient of Thermal Expansion) и повышения надежности работы модуля в условиях циклического изменения нагрузки.

Тем не менее «упрощенный» модуль на рис. 2б получается заметно дешевле, а высокая стойкость к термоциклированию во многих случаях не является обязательным требованием. Важно отметить, что он полностью совместим с вариантом рис. 2а по габаритным размерам и способу подключения силовых и сигнальных выводов. Для пользователей это означает, что замена таких приборов происходит без каких-либо изменений в конструкции подводящих шин и радиаторов.

**Тепловые характеристики и стойкость к термоциклированию**

Паяные соединения считаются наиболее критическим элементом конструкции, во многом определяющим ресурс силовых ключей

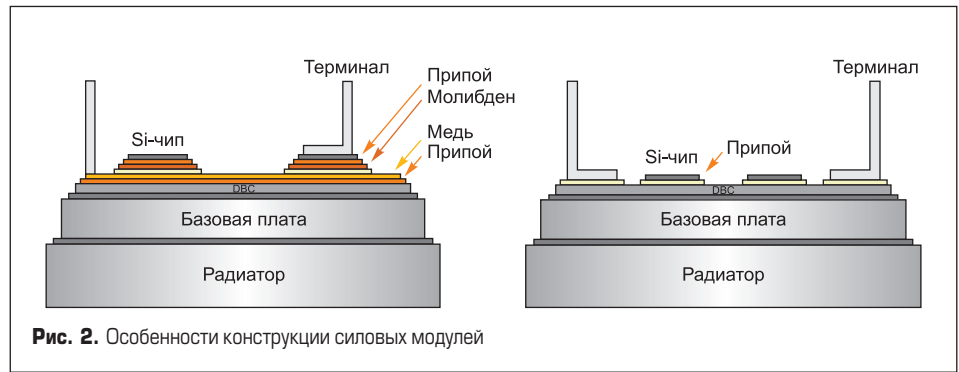


Рис. 2. Особенности конструкции силовых модулей

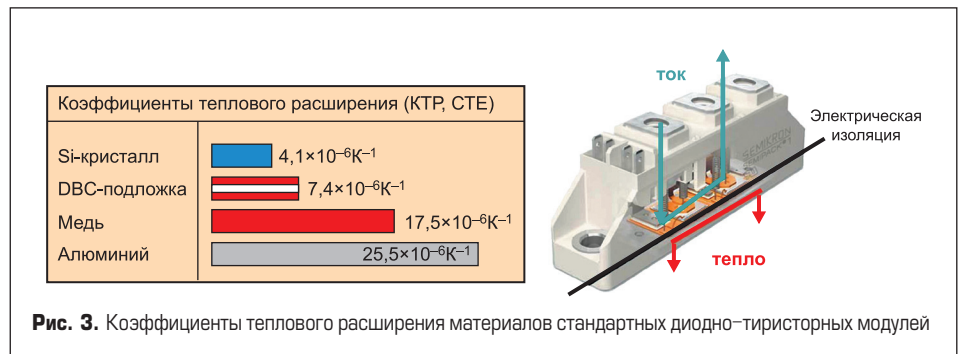


Рис. 3. Коэффициенты теплового расширения материалов стандартных диодно-тиристорных модулей

в условиях переменной нагрузки. Например, в течение срока службы стандартный диодно-тиристорный модуль (рис. 2а) способен выдержать не более 10 000 термоциклов с градиентом  $\Delta T_j = 100 \text{ K}$ . Основным механизмом отказа в данном случае является плавное разрушение паяных связей, вызванное усталостными процессами. Накопление усталости в слое пайки приводит к росту теплового сопротивления  $R_{th}$ , локальному перегреву чипов и преждевременному отказу компонента.

Величина  $R_{th(j-c)}$  (сопротивление «кристалл – корпус»), определяющая температуру перегрева чипа относительно корпуса на 1 Вт рассеиваемой мощности, является интегральным фактором, наиболее достоверно характеризующим тепловые свойства силового ключа. Упрощение конструкции и сокращение количества слоев позволяют снизить значение этого параметра до 30%.

Концепция изолированного силового модуля, впервые разработанная компанией SEMIKRON в 1975 году, состояла в разделении путей протекания электрических и тепловых

потоков (рис. 3б). В состав компонента входят различные материалы, отличающиеся термомеханическими характеристиками: полупроводниковые кристаллы, медные и алюминиевые проводники, керамика. Металлы и изоляторы с разной величиной КТР жестко связаны между собой. Вследствие этого любые колебания температуры чипов, вызванные изменениями тока нагрузки и внешних условий, приводят к возникновению термомеханических стрессов, действующих на сопрягающиеся слои.

В таблице на рис. 3 приведены значения КТР основных материалов конструкции изолированного силового модуля. С возрастанием градиента и средней температуры циклов увеличивается и риск разрушения связей. Уровень возникающего напряжения пропорционален разности КТР, площади контакта и перепаду температуры  $\Delta T$ .

Одно из возможных решений проблемы повышения стойкости силовых ключей к термоциклированию — замена паяных соединений чипов прижимными. Таким путем идут многие производители диодно-тиристорных

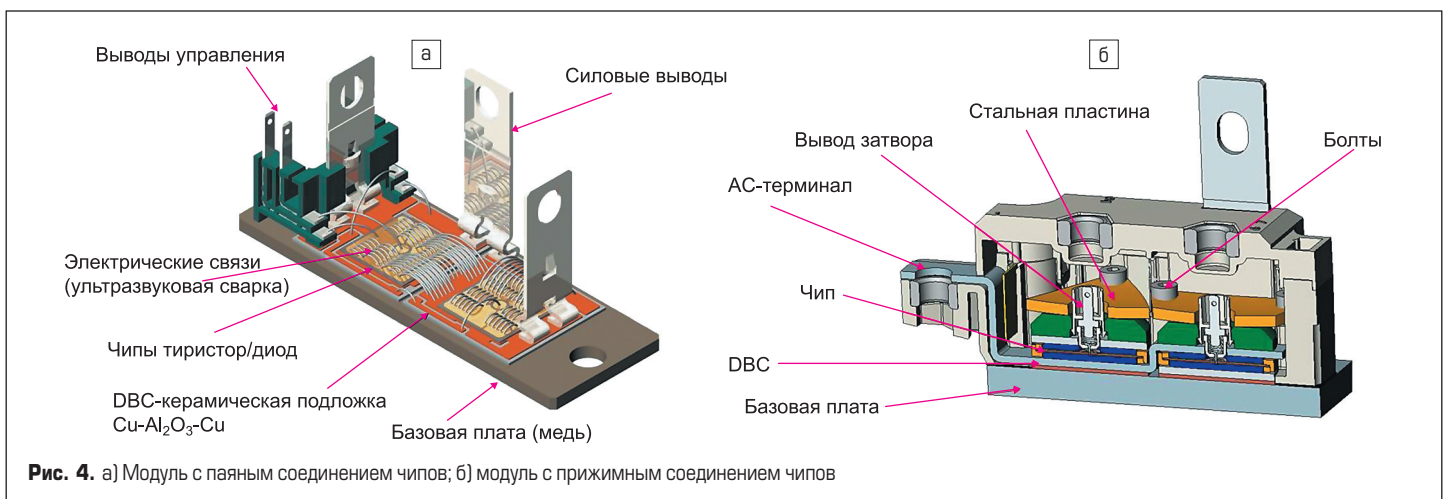


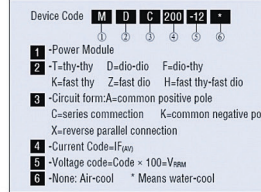
Рис. 4. а) Модуль с паяным соединением чипов; б) модуль с прижимным соединением чипов





STANDARD DIODE MODULE | 整流二极管模块

Ordering Information Table



Features

- Base & chip insulation AC voltage 2500V
  - International standard packing
  - Excellent temperature feature
  - ≥300A could chose water-cool
  - Easy to install
- Applications**
- AC DC motor control
  - Motor soft start
  - Industry heat-up control
  - Rectificate power supply
  - Welder
  - Frequency transformer
  - UPS power supply
  - Battery change & discharge
- Explanation**
- $I_T = I_{TSM} \times I_{T2} = I_{TSM} \times I_{T2}$  Half sine wave current, when at 50Hz,  $I_T = 0.005 I_{TSM} (A/S)$
  - When at 60Hz:  $I_{TSM}(8.3ms) = I_{TSM}(10ms) \times 1.066, T_T = T_T(8.3ms) = I_T(10ms) \times 0.943, T_T = T_T$



Part number type & circuit



ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Symbol	Parameter	Conditions	MDX200	MDX250	MDX300	Unit
$I_{F(AV)}$	Peak collector Current (each diode)	THS=140°C	200	250	300	A
$I_{F(RMS)}$	RMS on-state current	THS=55°C	320	393	471	A
$I_{F(SM)}$	Surge on-state current	THS=55°C	8	11	12.5	A × 10 <sup>3</sup>
$V_{RRM}$	Repetitive peak reverse voltage	THS=140°C	400-2600			V
$I_{RRM}$	On-state voltage	THS=140°C	≤20.0	≤20.0	≤20.0	mA
$V_{FM}$	On-state Current	THS=140°C	1.4	1.35	1.45	V
$I_{FM}$	Gate Trigger Current	THS=140°C	600	750	900	A
R-j-c	Peak gate forward voltage		≤0.21	≤0.15	≤0.14	°C/W
T <sub>J</sub>	Junction temperature		-40~+150			°C
T <sub>stg</sub>	Storage temperature		-40~+125			°C
MT	Mounting torque		≤5.0			N·m
Wt	Weight	Typical value	860	870	880	g

Outline table (Dimension in mm)

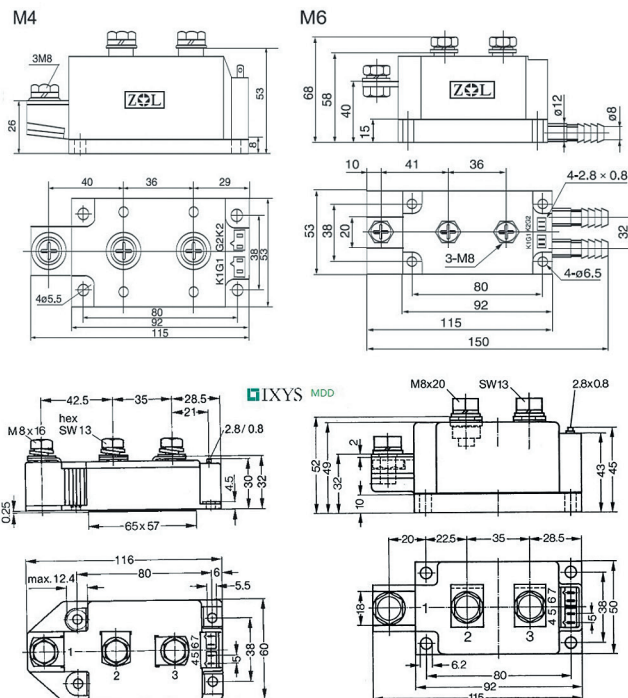


Рис. 5. Фрагмент технической документации на диодно-тиристорные модули с номинальным током 200–300 А

модулей, включая Zenli, разница в конструкции данных компонентов показана на рис. 4. В варианте рис. 4а кристаллы устанавливаются на изолирующей DBC-подложке (как правило, она изготавливается из оксида алюминия Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) методом пайки. Подключение электрических контактов чипов к медным токонесущим трассам осуществляется ультразвуковой сваркой алюминиевых проводников, а силовые и сигнальные терминалы модуля соединяются с помощью пайки. Такая технология обеспечивает минимальное тепловое сопротивление «кристалл – корпус»  $R_{th(j-c)}$  и практически все диодно-тиристорные модули с номинальным током до 200 А имеют подобную конструкцию.

С увеличением тока нагрузки растут требования по стойкости силовых приборов к термостабильности, поэтому выпрямители Zenli с рабочим током более 300 А выпускаются в прижимном варианте. Особенности прижимной конструкции показаны на рис. 4б — здесь полностью отсутствуют паяные и сварные соединения, а все электрические и тепловые связи кристаллов и выводов осуществляются только за счет прижима.

Zenli — номенклатура

На рис. 5 показан фрагмент технической спецификации диодно-тиристорных модулей MT\*200 и MT\*300. Следует обратить внимание, что компоненты выпускаются в различных типах корпусов, соответствующих извест-



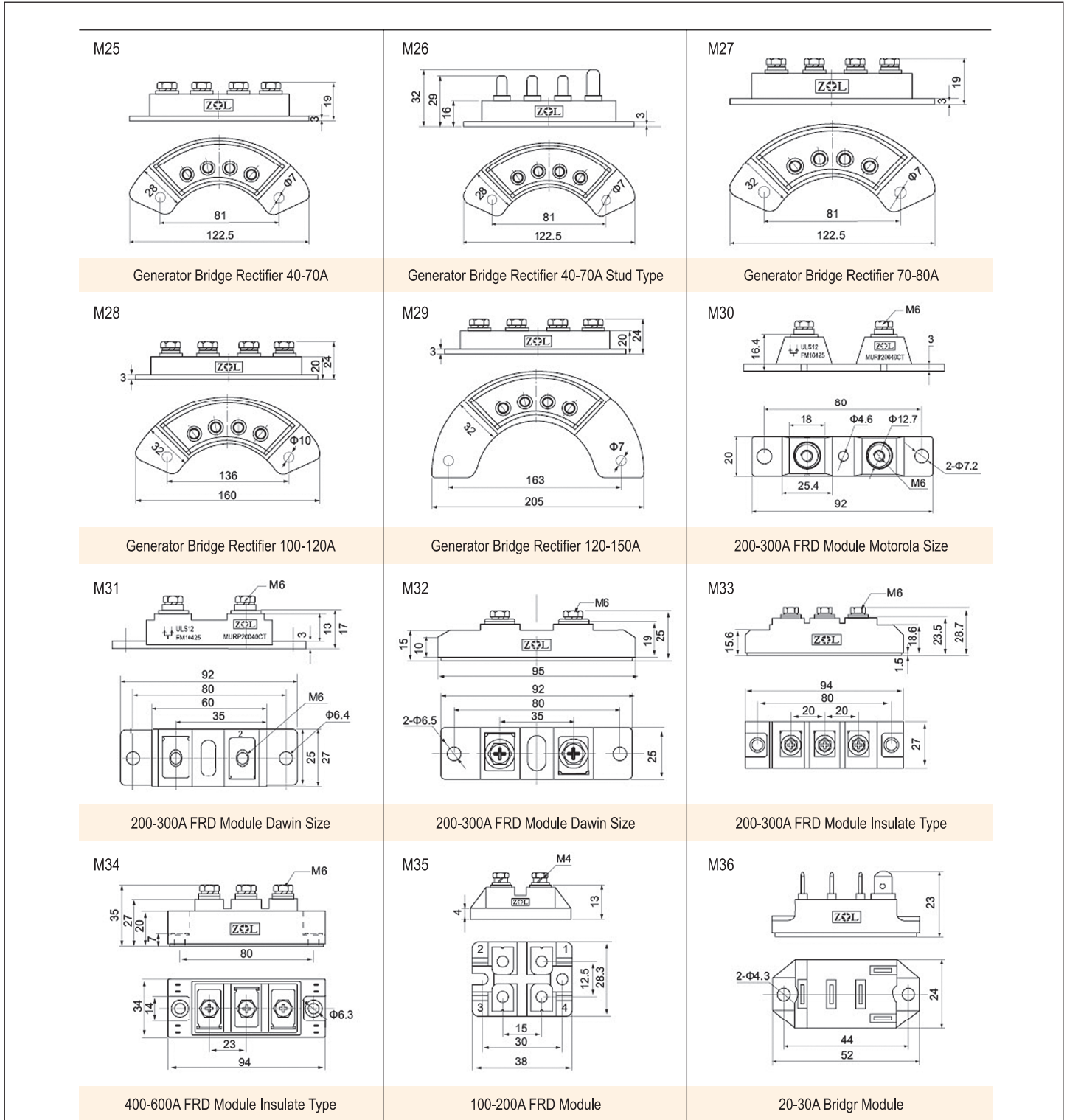
Рис. 6. Диодно-тиристорные модули Zenli в изолированных корпусах

ным мировым брендам, — это значительно облегчает заказчику выбор нужной модели. Кроме стандартных корпусов с медной базовой платой, некоторые силовые модули имеют исполнение с жидкостным охлаждением (MFC800, MFC1000 на рис. 6), что редко встречается у европейских производителей. В капсульном исполнении (рис. 7) выпускаются стандартные и быстрые диоды и тиристоры с рабочим напряжением до 5 кВ и током до 5000 А, а также симисторы.

Кроме диодно-тиристорных модулей, номенклатура Zenli включает различные классы выпрямительных мостов (однофазных и трех-



**Рис. 7.** Диодно-тиристорные модули Zenli в капсульных корпусах. В таком конструктиве также выпускаются быстрые диоды и тиристоры



**Рис. 8.** Типы корпусов модулей Zenli (фрагмент)

Таблица. Группы компонентов Zenli и их основные характеристики

Диодные и диодно-тиристорные модули			
$I_{T(AV)}$ , А	$V_{RRM}/V_{DRM}/V_{TRM}$ , В	$V_{ISO}$ , В АС	Корпус
25–1000	400–2600	2500	M1, M2, M3, M4, M5, M7, M8, M9, M10, M11, M13, M16
Диодные выпрямительные мосты (однофазные и трехфазные)			
$I_{F(AV)}$ , А	$V_{RRM}$ , В	$V_{ISO}$ , В АС	Корпус
25–1000	10–2000	2500	M24, M25, M26, M27, M28, M43, M44, M46, M47, M48 M52, M53, M54, M55
Тиристорные выпрямительные мосты (1- и 3-фазные)			
$I_{F(AV)}$ , А	$V_{RRM}$ , В	$V_{ISO}$ , В АС	Корпус
25–300	400–2600	2500	M39, M40, M43, M52, M53
Быстрые диоды (Шоттки и сверхбыстрые)			
$I_{F(AV)}$ , А	$V_{RRM}$ , В	$V_{ISO}$ , В АС	Корпус
25–300	100–400	2500	M31, M31, M32, M33, M34
Дискретные диоды и тиристоры (в том числе капсульные)			
$I_{F(AV)}$ , А	$V_{RRM}/V_{DRM}/V_{TRM}$ , В	$V_{ISO}$ , В АС	Корпус
6–5000	400–16 000	–	DO-4, DO-5, DO-9, DO-30, E1, E2, E3, E5, E6, E8, E9, E11, E12, E13, E14, E15, E16, E23, E24, E25

фазных), дискретных диодов и тиристоров (в том числе в капсульном исполнении), а также выпрямительные сборки. Группы компонентов и их основные параметры приведены в таблице.

На рис. 8 представлен фрагмент таблицы с описанием корпусов, используемых Zenli при производстве диодно-тиристорных модулей, дающий представление о широком выборе вариантов исполнения. С полной номенклатурой можно ознакомиться на сайте компании [1].

**Заключение**

Вся продукция компании Zenli имеет соответствующие сертификаты качества и надежности, для чего она проходит специальные квалификационные тесты. Целью таких испытаний является определение эксплуатационных пределов для различных условий эксплуатации, проверка соответствия уровня производства, оценка возможного влияния технологических

и конструкторских изменений на надежность изделий. Наиболее пристальное внимание уделяется оценке надежности полупроводниковых кристаллов и конструктивов модулей.

Компоненты нового поколения отличаются меньшим значением теплового сопротивления, повышенной плотностью тока и улучшенными перегрузочными характеристиками, они полностью соответствуют требова-

ниям экологических директив EU 2002/96/EG и 2000/53/EG.

**Литература**

1. [www.chinazenli.com/](http://www.chinazenli.com/)
2. Колпаков А., Новоторженцев Д. Российская силовая электроника: разворот на Восток. Часть 1. Xiner // Силовая электроника. 2023. № 1.
3. Колпаков А., Новоторженцев Д. Российская силовая электроника: разворот на Восток. Часть 2. Novosense // Силовая электроника. 2023. № 2.
4. Колпаков А., Новоторженцев Д. Российская силовая электроника: разворот на Восток. Часть 3. Firststack // Силовая электроника. 2023. № 3.
5. Колпаков А., Новоторженцев Д., Ли К. Российская силовая электроника: разворот на Восток. Часть 4. AnXon // Силовая электроника. 2023. № 4.
6. Винтрич А и др. Диоды и тиристоры — это очень просто // Силовая электроника. 2012. № 1–3. Ч. 1–3; 2014. № 4. Ч. 4; 2018. № 5. Ч. 5.
7. Ma J., Gill M. New Assembly Technology for Soldered Thyristor Modules. Semikron international, 2008.

