

# Российские IGBT-модули

## производства ОАО «Контур»

**В настоящее время в силовой электронике высокие требования предъявляются как к надежности оборудования, так и к его энергетической эффективности. В связи с этим все более популярными становятся силовые модули IGBT, MOSFET и диодные модули.**

**Геннадий Бандура**  
 Bandura@macrogroup.ru

**Владимир Пастухов**  
 kontur\_nse@chfts.ru

Каждой из сфер применения силовых модулей соответствует разная мощность и рабочая частота (рис. 1).

Как видно, самые большие мощности требуются в энергетике, металлургии и электротранспорте. Затем следуют источники бесперебойного питания, регулируемые электроприводы, робототехника и сварочная техника, крупная бытовая техника, автомобили, источники вторичного питания и аудиовидеотехника. Аналогично можно сделать разделение по рабочей частоте преобразования. Таким образом, при выборе модулей необходимо учитывать два вышеописанных параметра: исходя из того, в какую область мы попадаем, видно, какие модули лучше всего использовать на заданной мощности и рабочей частоте — тиристорные, IGBT или MOSFET модули.

Рынок силовых модулей в России на 95% заполнен продукцией импортного производства. Однако при этом существуют российские аналоги зарубежных силовых модулей. Они, как правило, дешевле и могут применяться там, где запрещено использование импортной продукции (например, электроника для ВПК). К сожалению, известность российских производителей силовых модулей пока не так широка. Тем не менее, они успешно работают на рынке, постепенно завоевывая популярность у россий-

ских разработчиков. Одним из примеров может служить компания ОАО «Контур», работающая на рынке относительно недавно (с 1998 года), но уже выпускающая широкий спектр современной элементной базы для производителей преобразовательной, приводной и бытовой техники, а также для ВПК. Предприятием налажен серийный выпуск более 50 наименований IGBT-модулей (на напряжения 600–1700 В и токи до 400 А) и MOSFET-модулей (на напряжения 100–800 В и токи 30–500 А). В 2006 году на предприятии в строй было введено полностью автоматизированное технологическое оборудование, которое позволяет исключить человеческий фактор из процесса производства и обеспечить 100%-ный выходной параметрический контроль изделий. Модули производятся на базе импортных кристаллов ABB Semiconductors, что позволяет получить качество импортных модулей по цене российских. Послепродажный сервис и техническая поддержка всех поставляемых модулей гарантирует разработчику, что он никогда не останется один на один с неработающим изделием, ему всегда придут на помощь квалифицированные специалисты. В данной публикации мы рассмотрим самую широкую и популярную линейку модулей ОАО «Контур» — IGBT-модули.

IGBT (Insulated-Gate Bipolar Transistor) — биполярный транзистор с изолированным затвором. Сегодня эти устройства занимают наибольший сектор рынка силовых транзисторов. Основу IGBT-модулей составляют IGBT-транзисторы. Основными отличиями их от других транзисторов являются: малая величина остаточного напряжения (не более 2,5 В), устойчивость к большим импульсным токам, малые емкости и заряды затворов, большие допустимые энергии переключения, расширенный диапазон области безопасной работы, высокие частоты переключения (до 25 кГц). Благодаря этому модули на их основе имеют высокую надежность, высокое быстродействие и удобство в эксплуатации. Структуру приборов составляют одиночный ключ, чоппер, полумост, инвертор. Кристаллы IGBT реализованы на гомогенной структуре SPT с n<sup>+</sup> буфером обеспечивающим наименьшие статические и динамические потери, повышенную стойкость и мягкую коммутацию. Все приборы имеют встроенный инверсный быстровосстанавливающийся MPS-диод с «мягкими» характеристиками обратного восстановления, оптимизированный под применение с STP-IGBT. Корпус модуля включает

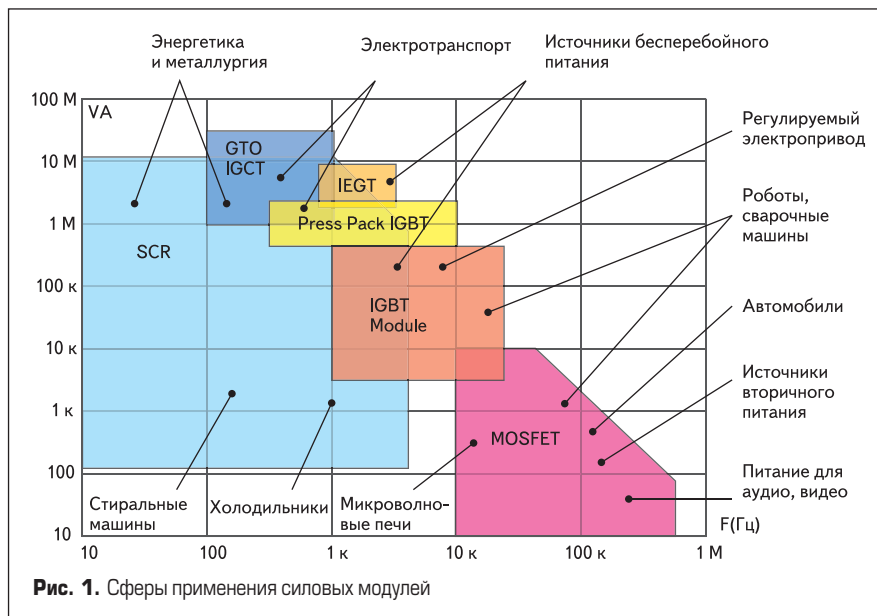


Рис. 1. Сферы применения силовых модулей

изолированное медное основание (беспотенциальный). Изоляция осуществляется керамикой  $Al_2O_3$ . Это приборы с номинальным напряжением в диапазоне 600–1700 В, падением напряжения не более 1,7–2,0 В и токами до 400 А. Их применение снижает стоимость систем.

Сегодня ОАО «Контур» выпускает следующие типы силовых IGBT-модулей:

1. Ключ — серия МТКИ (рис. 2).

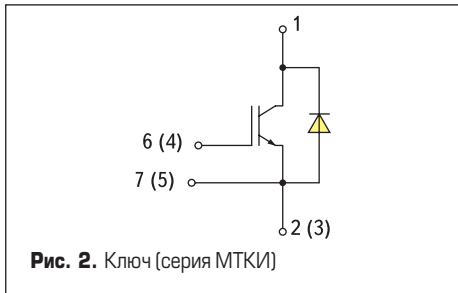


Рис. 2. Ключ (серия МТКИ)

2. Полуост — серия М2ТКИ (рис. 3).

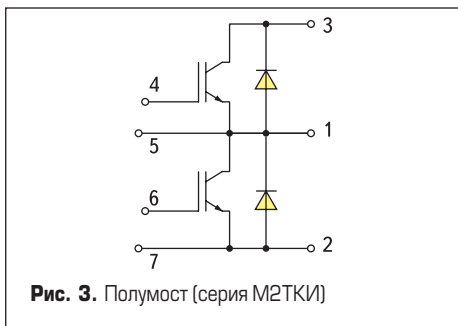


Рис. 3. Полуост (серия М2ТКИ)

3. Верхний чоппер — серия МТКИД (рис. 4).

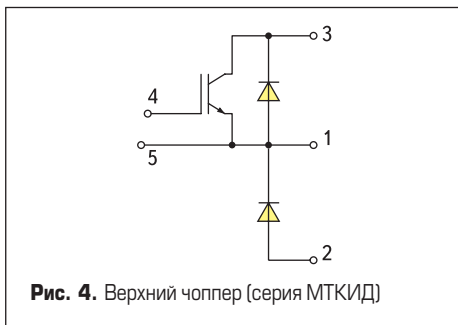


Рис. 4. Верхний чоппер (серия МТКИД)

4. Нижний чоппер — серия МДТКИ (рис. 5).

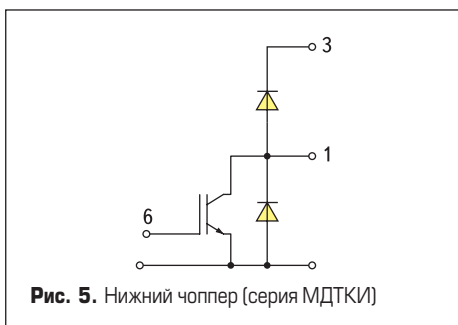


Рис. 5. Нижний чоппер (серия МДТКИ)

5. Шестиключевой — М6ТКИ-100-12 (рис. 6).

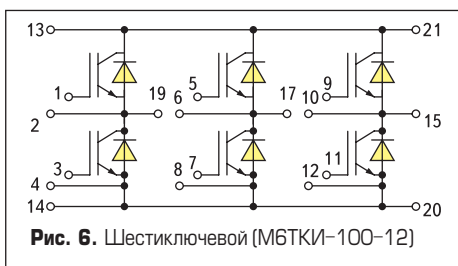


Рис. 6. Шестиключевой (М6ТКИ-100-12)

Таблица 1. Технические параметры силовых IGBT-модулей ОАО «Контур»

Обозначение	Основные характеристики						Тип корпуса (рис.)
	Транзистор			Диод			
	Rthjc, °C/Вт	Uce (on), В	td(off), нс	RthjсD, °C/Вт	U <sub>FBV</sub> , В	t <sub>rr</sub> , нс	
1200 В ключ							
МТКИ-200-12	0,08	2,2	800	0,16	2,0	400	Рис. 7
МТКИ-300-12	0,05	2,2	800	0,12	2,0	400	Рис. 7
МТКИ-400-12	0,045	2,2	800	0,09	2,0	400	Рис. 7
1200 В полуост							
М2ТКИ-50-12	0,3	2,1	800	0,6	2,3	400	Рис. 8
М2ТКИ-75-12	0,235	2,1	500	0,55	2,3	400	Рис. 8
М2ТКИ-100-12	0,18	2,1	500	0,36	2,3	400	Рис. 8
М2ТКИ-150-12	0,12	2,1	500	0,24	2,0	400	Рис. 6
М2ТКИ-200-12	0,09	2,1	700	0,18	2,0	400	Рис. 6
1200 В Верхний чоппер							
МТКИД-50-12	0,3	2,1	700	0,6	2,3	400	Рис. 8
МТКИД-75-12	0,235	2,1	500	0,55	2,3	400	Рис. 8
МТКИД-100-12	0,18	2,1	500	0,36	2,3	400	Рис. 8
МТКИД-150-12	0,12	2,1	500	0,24	2,0	400	Рис. 6
МТКИД-200-12	0,09	2,1	500	0,18	2,0	400	Рис. 6
1200 В Нижний чоппер							
МДТКИ-50-12	0,3	2,1	500	0,6	2,3	400	Рис. 8
МДТКИ-75-12	0,235	2,1	500	0,55	2,3	400	Рис. 8
МДТКИ-100-12	0,18	2,1	500	0,36	2,3	400	Рис. 8
МДТКИ-150-12	0,12	2,1	500	0,24	2,0	400	Рис. 6
МДТКИ-200-12	0,09	2,1	500	0,18	2,0	400	Рис. 6

Примечания:

Rthjc — тепловое сопротивление между переходом и корпусом.

Uce — напряжение «коллектор–эмиттер».

Td — время задержки выключения.

RthjсD — тепловое сопротивление между кристаллом и основанием.

Uf — прямое падение напряжения.

t<sub>rr</sub> — время обратного восстановления.

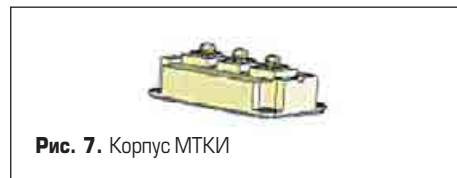


Рис. 7. Корпус МТКИ

Характеристики корпуса МТКИ (рис. 7):

- Масса: 240 г.
- Габариты: 106,5×61,5×36 мм.



Рис. 9. Корпус МТКИД

Характеристики корпуса МТКИД (рис. 9):

- Масса: 190 г.
- Габариты: 94×34×36 мм.



Рис. 8. Корпус М2ТКИ

Характеристики корпуса М2ТКИ (рис. 8):

- Масса: 240 г.
- Габариты: 106,5×61,5×46 мм.



Рис. 10. Корпус МДТКИ

Характеристики корпуса МДТКИ (рис. 10):

- Масса: 250 г.
- Габариты: 122×62×20,5 мм

Для успешной и безаварийной работы с IGBT-модулями необходимо:

- 1) Правильно рассчитать и выбрать драйвер для управления IGBT-модулями.
- 2) Правильно осуществить монтаж модуля на конечное изделие, соблюсти тепловой режим работы.
- 3) Правильно осуществить электрическое подключение модуля.
- 4) Убедиться, что при любом режиме работы схемы IGBT-модуль будет работать внутри допустимого для него технического диапазона.

5) Так как модули чувствительны к статическому пробое, принять меры к защите модуля от статического электричества.

Рассмотрим более подробно данные требования.

1. Для управления силовыми модулями рекомендуется применять драйверы на основе гибридных интегральных схем серии МД производства ОАО «Контур». Это МД215П, МД250П, МД280П. Каждая такая ИС содержит два канала управления транзисторами с предельно допустимым напряжением до 1700 В и обеспечивает защиту от пере-

грузок, короткого замыкания в нагрузке, недостаточного уровня напряжения на затворе транзистора. Входная и выходная схемы драйвера изолированы друг от друга посредством оптронов и трансформаторов с напряжением изоляции до 4 кВ. В случае возникновения перегрузки или пониженного напряжения питания драйвер формирует статусные сигналы и плавно выключает силовые транзисторы. С помощью внешних элементов режим работы драйвера настраивается для оптимального управления различными силовыми модулями. Пиковый выходной ток (для МД280П) — не более 8 А, задержка защитного отключения по Uнас — не более 3 мкс.

Исходными данными для расчета драйвера являются:

- входная емкость модуля  $C_{вхВ}$  или эквивалентный заряд  $Q_{вхВ}$ ;
- входное сопротивление модуля  $R_{вхВ}$ ;
- размах напряжения на входе модуля  $\Delta U = 30$  В (от  $-15$  до  $+15$  В);
- максимальная рабочая частота, на которой работает модуль  $f_{вхВ}$ .

Необходимо найти импульсный ток, протекающий через управляющий вход модуля  $I_{вхВ}$ , максимальную мощность DC/DC-преобразователя P.

На рис. 11 приведена эквивалентная схема входа модуля, которая состоит из емкости затвора  $C_{зв}$ , ограничивающего резистора на затворе  $R_{зв}$  и внешнего ограничивающего резистора  $R_{огрВ}$ . Общий резистор, ограничивающий ток затвора, состоит из  $R_{огрВ}$  и  $R_{зв}$ , то есть  $R_{общВ} = R_{огрВ} + R_{зв}$ .

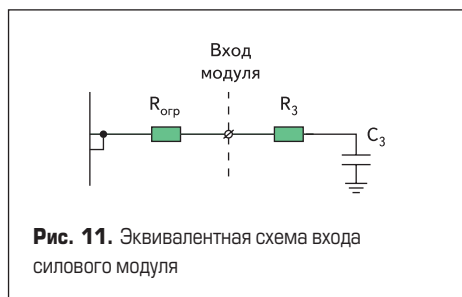


Рис. 11. Эквивалентная схема входа силового модуля

Если в исходных данных задан заряд  $Q_{вхВ}$ , то необходимо пересчитать его в эквивалентную входную емкость  $C_{вхВ} = Q_{вхВ} / \Delta U$ .

Реактивная мощность, потребляемая емкостью модуля, рассчитывается по формуле  $P_{св} = f_{вхВ} \times Q_{вхВ} \times \Delta U$ . Общая мощность DC/DC-преобразователя драйвера  $P_{общВ}$  складывается из мощности, потребляемой выходным каскадом драйвера  $P_{вхВ}$  и реактивной мощности, потребляемой входной емкостью модуля  $P_{св}$ ;  $P = P_{вхВ} + P_{св}$ .

Рабочая частота и размах напряжения на входе модуля при расчетах взяты максимальными, следовательно, получаем максимально возможную при нормальной работе драйвера мощность DC/DC-преобразователя.

Зная общее сопротивление ограничивающего резистора  $R_{общВ}$ , можно найти импульсный ток протекания через драйвер:  $I_{вхВ} = \Delta U / R_{общВ}$ .

Учитывая результаты расчетов, можно проинформировать выбор драйвера, необходимого для управления выбранным модулем.

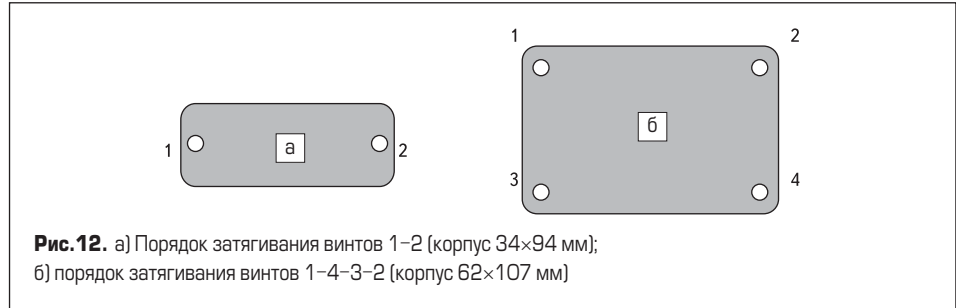


Рис. 12. а) Порядок затягивания винтов 1–2 (корпус 34×94 мм); б) порядок затягивания винтов 1–4–3–2 (корпус 62×107 мм)

Мощность, выделяемая на ограничивающем резисторе  $R_{огрВ}$ , рассчитывается по формуле  $P_{R_{огрВ}} = I_{средВ}^2 \times R$ , где  $I_{средВ}$  — средний ток затвора, который можно найти по формуле  $I_{средВ} = f_{вхВ} \times Q_{вхВ}$ .

2. Чтобы не повредить модуль при монтаже, необходимо учесть:

- требования к охладителю (неплоскостность поверхности охладителя, ограниченной крепежными отверстиями, должна быть не более 30 мкм, шероховатость Ra — не более 2,5 мкм);
- для уменьшения теплового сопротивления необходимо нанести на основание модуля тонкий равномерный слой теплопроводящей пасты (запрещается наличие в пасте, на контактных поверхностях модуля и охладителя твердых частиц, приводящих при креплении модуля к деформации основания и разрушению внутренних элементов модуля);
- необходимо соблюдать порядок затягивания винтов (рис. 12).

3. При подключении модуля в схему необходимо соблюдать следующие требования:

- напряжение на затворе транзистора должно быть  $+15$  В при включении и от  $-5$  до  $-15$  В при выключении. Время нара-

стания и спада напряжения управления должно быть как можно короче. Максимальное напряжение на затворе не должно превышать  $\pm 20$  В;

- для соединения управляющих выводов модуля с выходом драйвера используются проводники как можно меньшей длины, при этом необходимо применять витую пару проводов или прямой монтаж платы драйвера на выводы управления модуля;
- для защиты модулей от коммутационных перенапряжений в цепи «коллектор–эмиттер» рекомендуется применение снабберных RC- и RCD-цепей, установленных непосредственно на силовых выводах модуля;
- для минимизации коммутационных перенапряжений индуктивность силовых шин должна быть минимальной (предпочтителен вариант плоских шин, разделенных изолятором);
- для выключения тока короткого замыкания необходимо предусмотреть меры по предотвращению возникновения больших коммутационных перенапряжений, которые могут привести к выходу за область безопасной работы и пробой модуля.

Таблица 2. Аналоги силовых IGBT-модулей российского и импортного производства

ОАО «Контур»	«Электровыпрямитель»	SEMIKRON	IR	EUPEC	Mitsubishi
IGBT-модули					
Ключ					
МТКИ-200-12	МТКИ-200-12	SKM200GA123D		BSM200GA120DN2	CM200HA-24H
МТКИ-300-12	МТКИ-300-12	SKM300GA123D		BSM300GA120DN2	CM300HA-24H
МТКИ-400-12	МТКИ-400-12	SKM400GA123D		BSM400GA120DN2	CM400HA-24H
МТКИ-400-17	МТКИ-400-17	SKM400GA173D		BSM400GA170DLC	
Полумост					
М2ТКИ-50-12	М2ТКИ-50-12	SKM50GB123D	GA75TS120U	BSM50GB120DN2	CM50DY-24H
М2ТКИ-75-12	М2ТКИ-75-12	SKM75GB123D	GA100TS120U	BSM75GB120DN2	CM75DY-24H
М2ТКИ-100-12	М2ТКИ-100-12	SKM100GB123D	GA125TS120U	BSM100GB120DN2	CM100DU-24H
М2ТКИ-150-12	М2ТКИ-150-12	SKM150GB123D	GA7200TD120U	BSM150GB120DN2	CM150DU-24H
М2ТКИ-200-12	М2ТКИ-200-12	SKM200GB123D	GA250TD120U	BSM200GB120DN2	CM200DY-24H
Верхний чоппер					
МТКИД-50-12	МТКИД-50-12	SKM50GAR123D		BSM50GAR120DN2	
МТКИД-75-12	МТКИД-75-12	SKM75GAR123D		BSM75GAR120DN2	
МТКИД-100-12	МТКИД-100-12	SKM100GAR123D		BSM100GAR120DN2	
МТКИД-150-12	МТКИД-150-12	SKM150GAR123D		BSM150GAR120DN2	
МТКИД-200-12	МТКИД-200-12	SKM200GAR123D		BSM200GAR120DN2	
МТКИД-200-17		SKM200GAR173D			
Нижний чоппер					
МДТКИ-50-12	МДТКИ-50-12	SKM50GAL123D		BSM50GAL120DN2	CM50E3U-12H
МДТКИ-75-12	МДТКИ-75-12	SKM75GAL123D		BSM75GAL120DN2	CM75E3U-24H
МДТКИ-100-12	МДТКИ-100-12	SKM100GAL123D		BSM100GAL120DN2	CM100E3U-24H
МДТКИ-150-12	МДТКИ-150-12	SKM150GAL123D		BSM150GAL120DN2	CM150E3U-24H
МДТКИ-200-12	МДТКИ-200-12	SKM200GAL123D		BSM200GAL120DN2	
Шестиключевой SPT IGBT-модуль					
М6ТКИ-100-12				BSM100GD120DN2E3226	

4. Для надежной и безаварийной работы IGBT-модулей рекомендуются следующие режимы:
- рабочие пиковые напряжения в схемах должны быть не более 80%, а рабочее постоянное напряжение — 50–60% от классификационного значения напряжения «коллектор–эмиттер»;
  - повторяющееся пиковое значение тока должно быть не более 80% от классификационного значения постоянного тока коллектора  $I_{V_{KB}}$ , однократный ток перегрузки не должен превышать  $2I_{V_{CB}}$  при длительности импульса 1 мс;
  - длительность протекания восьмикратного  $8I_{V_{KB}}$  тока перегрузки через каждый транзистор модуля не должна превышать 5 мкс;
  - температура кристалла не должна превышать 120 °С, температура основания не должна превышать 85 °С;
  - при включении преобразователя сначала подается напряжение питания на систе-

му управления и драйверы, затем на модули. При выключении снятие напряжений питания производится в обратном порядке.

5. При транспортировке, монтаже и эксплуатации необходимо принимать меры по защите модулей от воздействия статического электричества:
- при транспортировке модулей затвор и управляющий вывод эмиттера должны быть закорочены токопроводящими перемычками, которые не снимаются до момента подключения модуля в схему;
  - для защиты затвора от статического пробоя непосредственно в схеме необходимо подключение резистора сопротивлением 10–20 кОм параллельно цепи «затвор–эмиттер»;
  - при монтаже обязательно применение персоналом заземляющих браслетов, за-

земленных низковольтных паяльников с питанием через трансформатор;

- измерительное и испытательное оборудование должно быть надежно заземлено.

В условиях жесткой конкуренции сегодня немаловажным аспектом становится то, насколько спроектированное изделие будет отвечать требованиям рынка. А это, в свою очередь, зависит и от цены комплектующих вообще, и силовых модулей в частности. Так как силовые модули ОАО «Контур» дешевле на 40–50% своих зарубежных аналогов, то использование их в устройстве снижает его стоимость. В заключение приведем таблицу аналогов силовых IGBT-модулей российского и импортного производства. Сравнение будем проводить с одним российским и четырьмя мировыми производителями IGBT-модулей: «Электровыпрямитель», SEMIKRON, International Rectifier, EUPEC, Mitsubishi.