

# Модули IRAM —

## интегрированное решение для управления трехфазными двигателями от компании International Rectifier

**Компания International Rectifier продолжает совершенствовать и расширять линейку высокоинтегрированных решений для построения эффективных электроприводов переменного тока, предназначенных для применения в промышленной и бытовой технике. Силовые модули IRAM позволяют создавать недорогие компактные регулируемые электроприводы мощностью от сотни ватт до трех киловатт. Новая серия силовых модулей IRSM предназначена для электроприводов мощностью до нескольких сотен ватт.**

**Кирилл Автушенко**

avtushenko@compel.ru

**Максим Соломатин**

Solomatinf@compel.ru

Применение регулируемого электропривода взамен нерегулируемого обеспечивает значительную экономию ресурсов (вода, электроэнергия), высокую точность стабилизации заданных параметров (температура, давление, расход), увеличивает надежность и срок службы техники, позволяет создавать высокоскоростные приводы с большой удельной мощностью. Поэтому доля регулируемых электроприводов в общем объеме применения приводов малой мощности (до 5 л. с.) для промышленной и бытовой техники постоянно увеличивается [1]. Компания IR предлагает широкий спектр решений для построения управляющей и силовой частей инверторов приводов переменного тока. Они могут использоваться как совместно с асинхронными двигателями с короткозамкнутым ротором, так и с синхронными машинами с возбуждением от постоянных магнитов. Особый интерес вызывают интегрированные решения в виде модулей, содержащих в своем составе интеллектуальный драйвер транзисторов и выходной трехфазный транзисторный мост. Данные модули обеспечивают для разработчиков и изготовителей приводов ряд дополнительных преимуществ в сравнении с применением решений на дискретных компонентах [2]:

- меньшие значения индуктивностей монтажа, что снижает уровень выбросов напряжения на силовых ключах, уменьшает мощность коммутацион-

ных потерь и позволяет работать с более высокой частотой ШИМ;

- упрощение проектирования и монтажа силовых цепей инвертора (фактически требуется установить силовой модуль на радиатор, подключить пять или семь выводов модуля к электродвигателю и шине питания постоянного тока, а также подать логические сигналы управления от микроконтроллера);
- интегрированный в модуль драйвер требует всего шесть логических сигналов для управления силовыми транзисторами инвертора, причем по уровням сигнала он совместим как с TTL, так и с КМОП-логикой, в том числе питающейся от 3,3 В;
- задержки распространения управляющих сигналов от логических входов до силовых транзисторов во всех шести каналах хорошо согласованы между собой, что предотвращает появление сколь угодно заметной постоянной составляющей в выходных напряжениях инвертора и, соответственно, в магнитном потоке электродвигателя;
- интегрированные в драйвер защита от протекания сквозных токов в стойках инвертора и схема формирования принудительной паузы при переключении силовых транзисторов предотвращают возможность тяжелых аварий;
- интегрированный в модуль термистор позволяет контролировать температуру основания корпуса и, таким образом, защищать силовые транзисторы от перегрева;

- в модуле предусмотрены возможности удобной организации защиты от токовых перегрузок, причем быстрдействие защиты согласовано по параметрам со стойкостью силовых транзисторов к короткому замыканию в нагрузке.

Все эти преимущества обеспечивали уже первые модели силовых модулей серии IRAM, выпущенные International Rectifier более 10 лет тому назад. Небольшие размеры модулей, хорошая электрическая изоляция корпуса от теплоотвода (испытательное напряжение 2000 В (эфф). в течение 1 мин.) при неплохой теплопроводности с металлического основания модуля на внешний радиатор, низкий уровень создаваемых помех, стабильное качество и невысокая цена обусловили их популярность. Детальные обзоры многих моделей из линейки IRAM уже публиковались на страницах отечественных журналов [1, 3–5]. International Rectifier продолжает совершенствовать интеллектуальные модули и выпускать новые модели. Они комплектуются силовыми транзисторами с улучшенными характеристиками, обновлена применяемая ИМС драйвера, совершенствуется схема включения модулей.

Современные представления инженеров International Rectifier о том, каким должен быть инвертор электропривода переменного тока средней мощности (доли-единицы киловатт), отражает модуль IRAM136-1561A, выпущенный в 2013 г. Внутренняя схема модуля показана на рис. 1. Помимо кристаллов IGBT (Q1–Q6), антипараллельных диодов (D1–D6) и ИМС драйвера, в модуль интегрированы бутстрепные конденсаторы (C1–C3) емкостью 47 нФ, быстровосстанавливающиеся бутстрепные диоды (D7–D9) вместе с токоограничивающим резистором R9 сопротивлением 22 Ом, резисторы в цепях затворов IGBT (R1–R6), конденсатор питания драйвера C4, RC-цепь формирования послеаварийной паузы (R7, C5), конденсатор C6 для фильтрации помех на линии ITRIP и термистор R8 с отрицательным ТКС для контроля температуры алюминиевого основания модуля. Трехфазный мост с выходами типа «открытый эмиттер» предусматривает использование внешних по отношению к модулю датчиков тока в силовых цепях. Как и все модули серии, модель IRAM136-1561A выполнена в однорядном корпусе SIP. Корпус имеет 29 выводов с шагом 1/20 дюйма, восемь из которых удалены для увеличения расстояния (по воздуху и по поверхности модуля) между цепями с большой разностью потенциалов. Назначение выводов модуля и их символичные обозначения приведены в таблице 1.

На рис. 2 показана типовая схема включения модуля в составе трехфазного электропривода. Обращает на себя внимание тот факт, что для построения законченного решения при использовании силового модуля IRAM требуется минимальное количество дополнительных внешних компонентов, что значительно облегчает задачу проектировщикам и изготовителям электропривода.

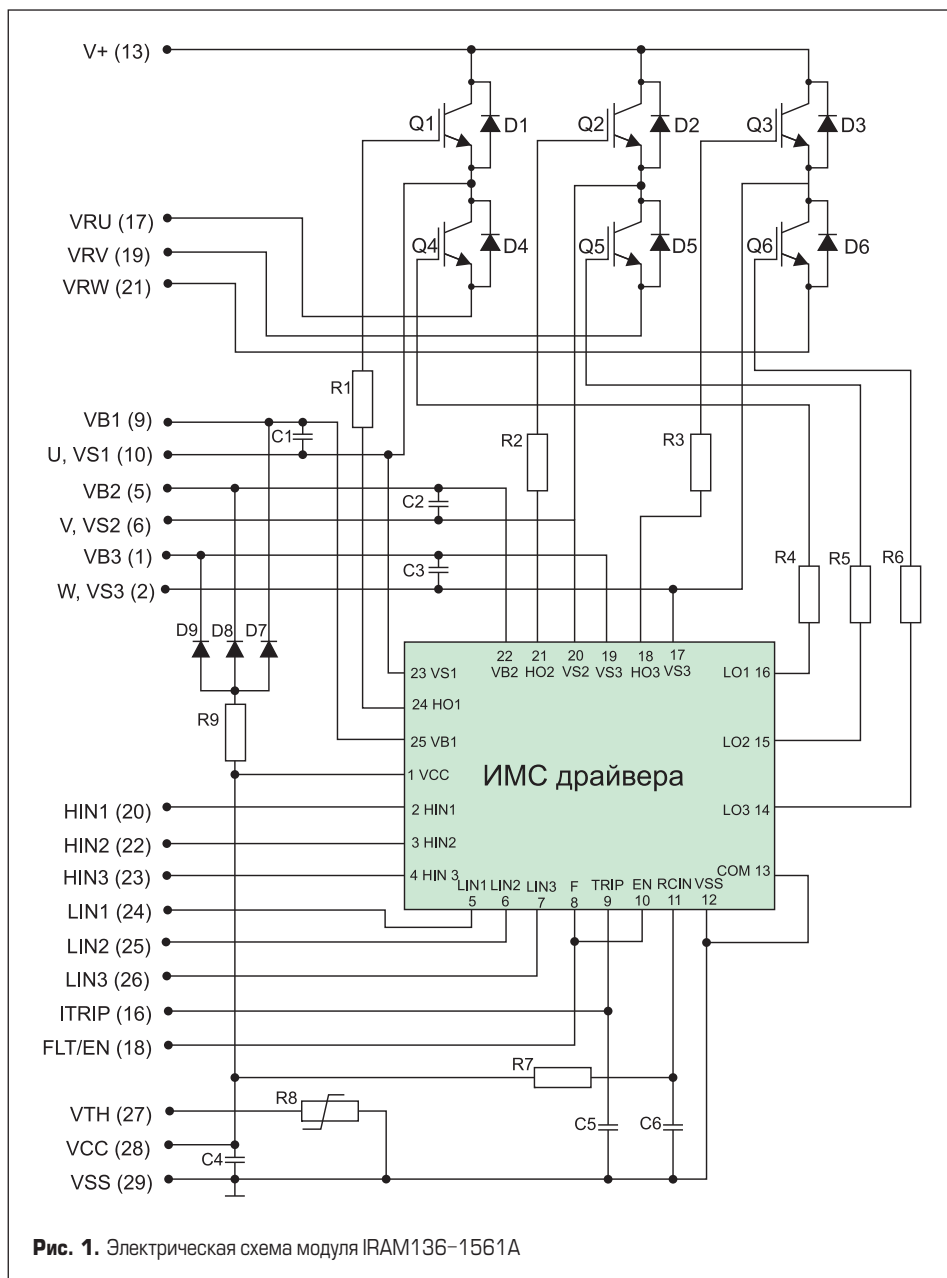


Рис. 1. Электрическая схема модуля IRAM136-1561A

Таблица 1. Расположение и назначение выводов модуля IRAM136-1561A

1	VB3	Плюс бутстрепного питания третьей фазы
2	W,VS3	Силовой выход и минус бутстрепного питания третьей фазы
3	па	Вывод удален
4	па	Вывод удален
5	VB2	Плюс бутстрепного питания второй фазы
6	V,VS2	Силовой выход и минус бутстрепного питания второй фазы
7	па	Вывод удален
8	па	Вывод удален
9	VB1	Плюс бутстрепного питания первой фазы
10	U,VS1	Силовой выход и минус бутстрепного питания первой фазы
11	па	Вывод удален
12	па	Вывод удален
13	V+	Положительная шина источника питания
14	па	Вывод удален
15	па	Вывод удален
16	ITRIP	Защита по току
17	VRU	Открытый эмиттер нижнего транзистора первой фазы
18	FLT/EN	Совмещенные выход «Авария» и вход «Разрешение работы»
19	VRV	Открытый эмиттер нижнего транзистора второй фазы
20	HIN1	Логический вход верхнего драйвера фазы 1
21	VRW	Открытый эмиттер нижнего транзистора третьей фазы
22	HIN2	Логический вход верхнего драйвера фазы 2
23	HIN3	Логический вход верхнего драйвера фазы 3
24	LIN1	Логический вход нижнего драйвера фазы 1
25	LIN2	Логический вход нижнего драйвера фазы 2
26	LIN3	Логический вход нижнего драйвера фазы 3
27	VTH	Вывод термистора
28	VCC	Плюс вспомогательного питания
29	VSS	Отрицательная шина источника питания (общий для вспомогательного питания и сигналов управления)

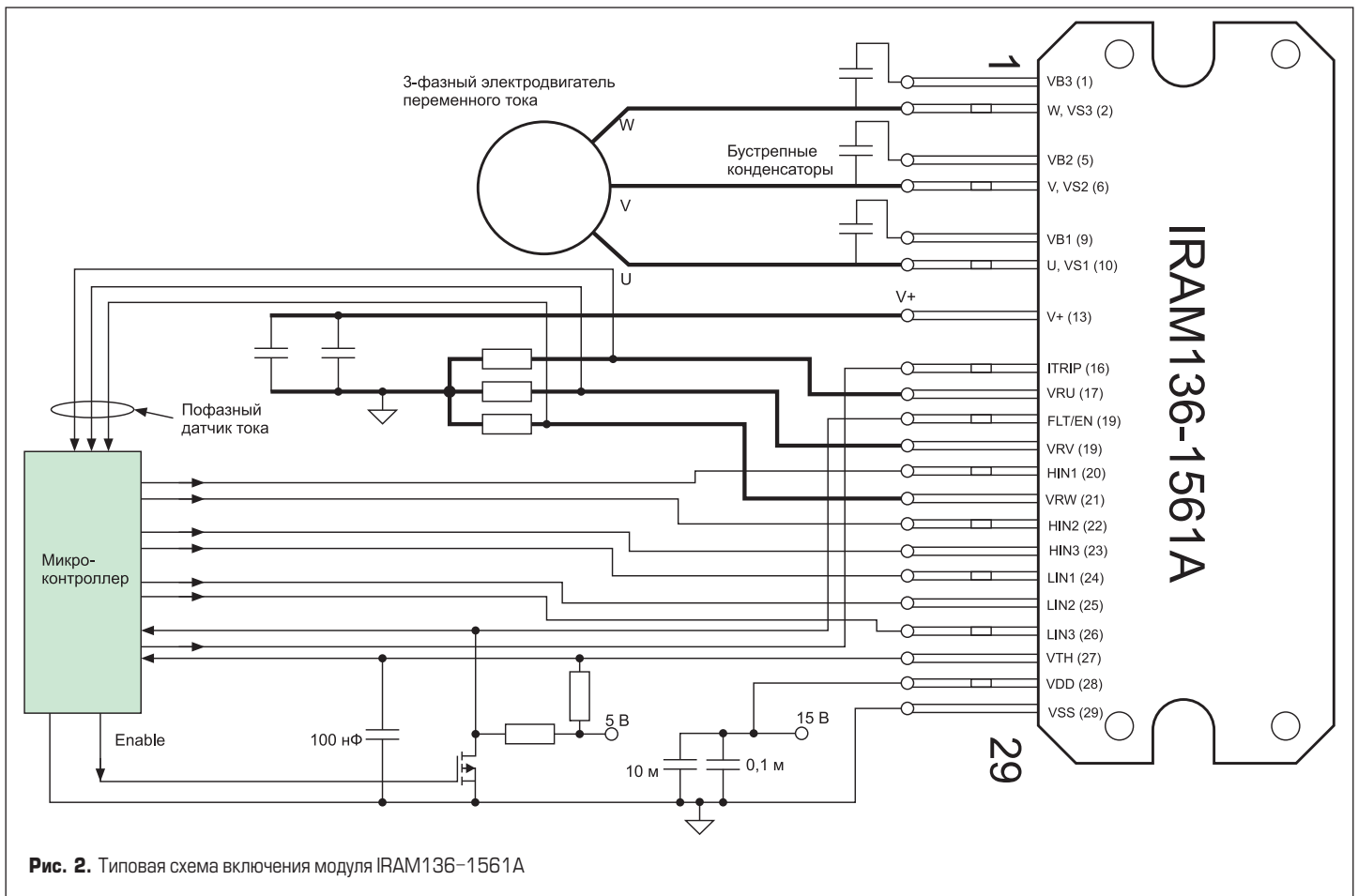


Рис. 2. Типовая схема включения модуля IRAM136-1561A

В линейке IRAM широко представлены как модели с интегрированным в модуль низкоиндуктивным прецизионным шунтом (датчиком тока), так и модели, предусматривающие применение внешних датчиков тока (отдельных на каждую из трех фаз либо одного общего). В зависимости от требований к качеству управления электроприводом и точности работы защиты по току пользователь может гибко выбирать наиболее подходящий для него вариант.

Большинство модулей имеет по две модификации корпуса, отличающиеся формовкой выводов (прямые выводы или отогнутые под прямым углом) и, соответственно, способом установки модуля на печатную плату и сопряжения его с радиатором. Вариант с вертикаль-

ной установкой радиатора и использованием естественной конвекции для охлаждения показан на рис. 3а. Он характерен, например, для электроприводов стиральных машин. Принудительное охлаждение типично для сплит-систем и систем кондиционирования воздуха, конструкция которых предусматривает установку радиатора параллельно печатной плате (рис. 3б). Использование теплопроводящего компаунда между корпусом модуля и подошвой радиатора и правильный выбор усилия затяжки винтов, прикручивающих модуль к радиатору (рекомендуется момент в диапазоне 0,5–1 Нм), позволяет обеспечить достаточно малую и стабильную величину переходного теплового сопротивления между алюминиевым основанием модуля

и подошвой радиатора (не более 3 К/Вт для любого из шести силовых транзисторов инвертора [2]). Документация на модули IRAM, разработанные в последние годы, содержит исчерпывающую информацию для простого и правильного выбора параметров радиатора, обеспечивающего надежную работу модуля при заданных токовой нагрузке с учетом напряжения питания, частоты ШИМ, частоты, формируемой инвертором синусоиды фазного тока, фазового сдвига между выходным напряжением и током, глубины модуляции и наибольшей расчетной температуры окружающей среды.

В таблице 2 приведены основные характеристики модулей IRAM. Большое разнообразие моделей в серии, помимо возможности

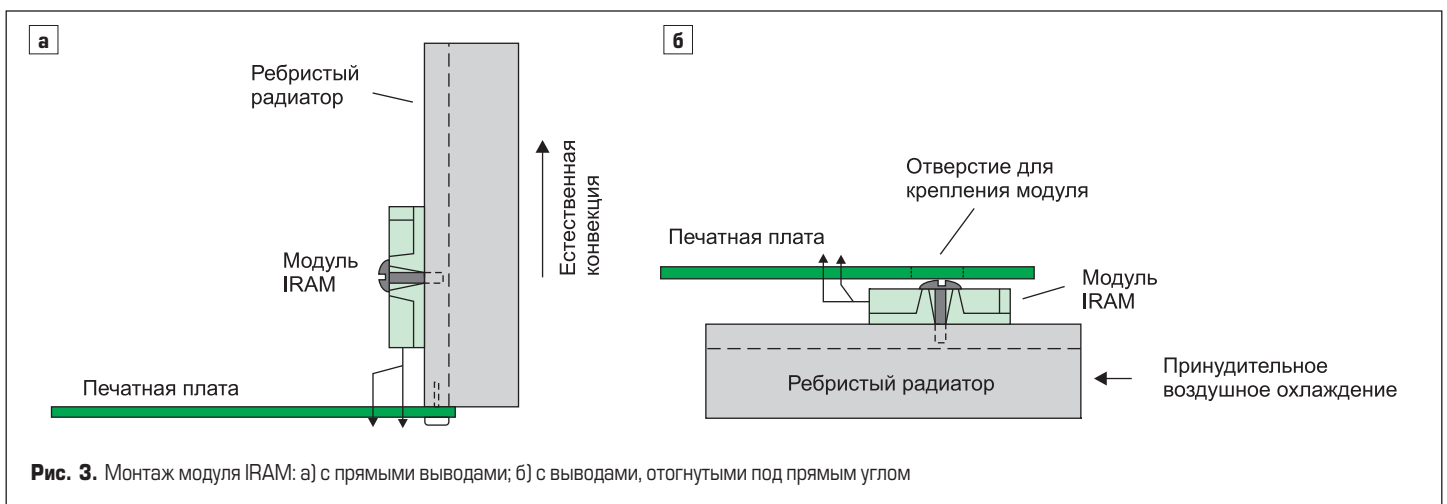


Рис. 3. Монтаж модуля IRAM: а) с прямыми выводами; б) с выводами, отогнутыми под прямым углом

Таблица 2. Основные параметры силовых модулей серии IRAMxxx

Наименование модуля	Схема и особенности модуля	Мощность электропривода механическая, Вт	Максимально допустимое напряжение для силовых ключей, В	Максимально допустимое напряжение на шине постоянного тока, В	Максимально допустимый выходной ток инвертора при температуре основания корпуса +25 °С, А	Максимально допустимый выходной ток инвертора при температуре основания корпуса +100 °С, А (эфф.)	Максимально допустимая рассеиваемая мощность в расчете на 1 транзистор, Вт	Тепловое сопротивление между наиболее горячей зоной чипа и основанием корпуса в расчете на один транзистор, °С/Вт		Тип и габаритные размеры корпуса, мм	Сопротивление встроенного токового шунта, мОм	Сопротивление встроенного термистора при +25 °С, кОм	Тип ключей	Ориентировочная цена в партии в 1000 шт., \$
								тип.	макс.					
IRAM136-0461A	3-фазный мостовой инвертор <sup>1</sup>	100-300	600	450	3,6	2	16	6,6	7,6	SIP1 <sup>2</sup> 62×22,3×5	340±1%	22±5%	NPT-IGBT	10,2
IRAMS06UP60A	3-фазный мостовой инвертор	100-500	600	450	6	3	-	-	6,5	SIP1 62×22,3×5	не установлен	100±3% <sup>4</sup>	NPT-IGBT	10,2
IRAMS06UP60B	3-фазный мостовой инвертор	100-500	600	450	6	3	-	-	6,5	SIP1 62×22,3×5	50±1%	100±3%	NPT-IGBT <sup>5</sup>	13,1
IRAM136-0760A	3-фазный мостовой инвертор	100-500	600	450	5	3,5	18	6,4	7,0	SIP05 44×26,5×5,5	не установлен	100±3%	Trench-IGBT	13,1-13,8
IRAM136-1060A	3-фазный мостовой инвертор	250-750	600	450	10	5	25	4,6	5,0	SIP05 44×26,5×5,5	не установлен	100±3%	Trench-IGBT	14,4
IRAM136-1060B	3-фазный мостовой инвертор <sup>6</sup>	250-750	600	450	10	5	25	4,6	5,0	SIP05 <sup>5</sup> 44×26,5×5,5	33,3±1,2%	100±3%	Trench-IGBT	15,0
IRAM136-1060BS	3-фазный мостовой инвертор <sup>6</sup>	250-750	600	450	10	5	25	4,6	5,0	SIP05 <sup>2</sup> 44×26,5×5,5	73,3±1%	100±3%	Trench-IGBT	-
IRAMS10UP60A	3-фазный мостовой инвертор	400-750	600	450	10	5	20	4,2	4,7	SIP1 62×22,3×5	не установлен	100±5% <sup>4</sup>	NPT-IGBT	14,4
IRAMS10UP60B	3-фазный мостовой инвертор	400-750	600	450	10	5	27	4,2	4,7	SIP1 62×21,8×5	33,3±1%	100±3%	NPT-IGBT <sup>5</sup>	14,4
IRAM136-1061A	3-фазный мостовой инвертор	250-750	600	450	10	5	29	3,8	4,6	SIP1A 62×21,8×5,7	не установлен	47±5%	Trench-IGBT	12,3
IRAM136-1561A	3-фазный мостовой инвертор	до 1500	600	450	15	7,5	32	3,2	3,8	SIP1A 62×21,8×5,7	не установлен	47±5%	Trench-IGBT	-
IRAMX16UP60A	3-фазный мостовой инвертор	750-2000	600	450	16	8	31	3,5	4	SIP2 62×25,8×5,5	не установлен	100±3% <sup>4</sup>	NPT-IGBT	19,8
IRAMX16UP60B	3-фазный мостовой инвертор	750-2200	600	450	16	8	31	3,5	4	SIP2 62×25,8×5,5	18,1±1,1%	100±3% <sup>4</sup>	NPT-IGBT <sup>5</sup>	20,6
IRAMX20UP60A	3-фазный мостовой инвертор	750-1500	600	450	20	10	38	1,5	2,2	SIP2 62×25,8×5,5	не установлен	100±3% <sup>4</sup>	NPT-IGBT	21,3
IRAMY20UP60B	3-фазный мостовой инвертор <sup>7</sup>	750-2200	600	450	20	10	68	1,6	1,8	SIP3 <sup>2</sup> 78×31,6×6	17±1,2%	100±3%	NPT-IGBT <sup>5</sup>	24,1
IRAM136-3063B	3-фазный мостовой инвертор <sup>7</sup>	до 3300	600	450	30	15	73	1,5	1,7	SIP3 78×31,6×6	9,6±2%	100±3%	NPT-IGBT <sup>5</sup>	30,0
IRAM109-015SD	1-фазный мостовой инвертор	60-250	500	400	2	1	18	5,1	6,9	SIP-S <sup>2,8</sup> 29,2×14,4×4,5	220±1%	100±3%	MOSFET	-
IRAM336-025SB	3-фазный мостовой инвертор	до 250	500	400	2	1	15	5,8	8	SIP-S <sup>2,8</sup> 29,2×14,4×4,5	не установлен	100±3%	MOSFET	9,1
IRAM136-3023B	3-фазный мостовой инвертор <sup>7</sup>	до 1000	150	100	30	15	89	1,2	1,4	SIP3 <sup>3</sup> 78×31,1×6	8,3±2,4%	100±3%	MOSFET	19,2

Примечания: 1 — в модуль дополнительно интегрирован однофазный выпрямительный мост для питания от сети переменного тока; 2 — имеется единственное исполнение корпуса (только с прямыми выводами); 3 — имеется единственное исполнение корпуса (только с отогнутыми под прямым углом выводами); 4 — последовательно с терморезистором включен добавочный постоянный резистор; 5 — форсированное выключение IGBT; 6 — имеется возможность перестройки (программирования) порога срабатывания защиты по току и продолжительности послеаварийной паузы внешними резисторами; 7 — встроенный в модуль позистор корректирует порог срабатывания защиты по току, снижая его при повышении температуры; 8 — основание корпуса не изолировано и соединено с минусом питания.

Таблица 3. Основные параметры модулей серии IRSM836

Наименование модуля	Максимально допустимое напряжение «сток-исток», В	Сопротивление «сток-исток» включенного транзистора при +25 °С, Ом		Максимальный выходной фазный ток, мА (эфф.)*
		типовое	максимальное	
IRSM836-024MA	250	2,0	2,4	470
IRSM836-044MA	250	0,9	1,04	750
IRSM836-025MA	500	3,5	4	360
IRSM836-035MA	500	1,85	2,2	420
IRSM836-035MB	500	1,85	2,2	420
IRSM836-045MA	500	1,45	1,7	550

Примечание:\* — данные приведены для частоты ШИМ 16 кГц, температуры окружающей среды +25 °С и температуры корпуса +95 °С

выбора наиболее подходящего по мощности (нагрузочной способности) модуля, позволяет пользователю оптимизировать свой проект по габаритам, стоимости, удобству сопряжения с управляющим МК и другим специфическим требованиям.

В начале 2013 г. International Rectifier представила новую серию модулей  $\mu$ IPM — IRSM836 для построения сверхминиатюрных электроприводов переменного тока мощностью до нескольких сотен ватт. Модули выполнены по трехфазной мостовой топологии и размещены в корпусах PQFN размером 12×12×1 мм для поверхностного монтажа на печатную плату, которая используется и в качестве теплоотво-

да. Нагрузочная способность модулей в значительной мере определяется суммарной толщиной слоев меди на плате и температурой окружающей среды. Инвертор реализован с использованием высоковольтных полевых транзисторов Trench-FREDFET с улучшенным быстродействием встроенных в них диодов. Основные характеристики модулей серии IRSM836 представлены в таблице 3.

### Заключение

Интеллектуальные силовые модули IRAM компании International Rectifier позволяют создать высокоэффективные системы электро-

привода для промышленных применений мощностью до нескольких киловатт при использовании минимального набора внешних компонентов. Электродвигатели средней мощности (до 400 Вт) могут управляться с помощью новейших модулей серии  $\mu$ IPM, что позволяет значительно уменьшить массогабаритные характеристики решения и делает модули  $\mu$ IPM отличным решением для применения в бытовой технике.

### Литература

1. Башкиров В. Интеллектуальные силовые модули компании International Rectifier для электроприводов малой мощности // Силовая электроника. 2005. № 2.
2. Wood P., Batello M., Guerra A. IPM application overview. Application note AN-1044. IR. 2003.
3. Башкиров В. IRAMxx — интеллектуальные силовые IGBT-модули для электропривода широкого применения // Новости электроники. 2007. № 7.
4. Староверов К. Новое поколение модулей IRAM // Новости электроники. 2008. № 18.
5. Староверов К. Решения IR для построения регулируемых электроприводов энергосберегающей техники // Новости электроники. 2009. № 1.