

Владимир Башкиров

## IRAMxx – ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИЛОВЫЕ IGBT-МОДУЛИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ШИРОКОГО ПРИМЕНЕНИЯ

*Новые интеллектуальные силовые модули IRAMxx компании International Rectifier предназначены для использования в массовом промышленном электроприводе и приводе бытовой техники мощностью до нескольких киловатт. Эти устройства особенно популярны при производстве привода небольшой мощности. А выгодное соотношение эффективности/цена делает их весьма привлекательными для разработчиков.*

### Особенности схемотехники и устройства интеллектуальных модулей IR

Модули нового семейства, как и их аналоги, предназначены для реализации управления трехфазными бесконтактными электродвигателями — асинхронными и бесконтактными двигателями постоянного тока.

Поэтому в их состав входит трехфазный инвертор со схемой управления и защиты.

В отличие от своих аналогов, модули IR выпускаются в варианте с открытыми эмиттерами нижних ключей инвертора и в варианте со встроенным шунтом в цепи шины нулевого потенциала. Это позволяет реализовать различные комбинации токовых обратных связей.

Модули IR отличаются от модулей Mitsubishi, где применяются Trench IGBT, и модулей Fairchild, выполненных с применением так называемых Current Sense IGBT (часть структуры кристалла используется для получения информации о токе коллектора) тем, что в них используются 600-вольтовые NPT IGBT 5-го поколения, позволяющие работать на ультразвуковых частотах ШИМ (до 20 кГц включительно). К их достоинствам также относятся прямоугольная зона безопасной работы и низкий уровень потерь на переключение (особенно при выключении) при относительно низких потерях на проводимость. Возможность работы на более вы-

соких частотах ШИМ обеспечивает отсутствие акустических шумов (одно из требований для бытовой техники) и более широкий диапазон регулирования скорости.

Для управления ключами инвертора в модулях IR вместо трех кристаллов драйверов верхних ключей и одного драйвера нижних ключей использован один кристалл трехфазного драйвера IR21365. Драйверы серии IR2136x были специально разработаны с учетом специфики привода небольшой мощности, совместимы со всеми типами КМОП и TTL логики с уровнями от 3,3 В. Это позволяет подавать управляющие сигналы от микроконтроллера непосредственно на входы управления верхних и нижних ключей (HIN, LIN) без использования дополнительных преобразующих каскадов. Для снижения цены драйвера снижены выходные токи. Они обеспечивают блокировку по низкому напряжению питания, защиту от перегрузки по току и перегреву. ИС серии IR2136x питаются от единственного источника питания с напряжением 15 В. Как и модули Fairchild, модули IR содержат цепь тепловой защиты на термисторе Rt, но в них дополнительно введены бутстреп-ные диоды и резистор источника питания драйвера, RC-цепи управления временем срабатывания защиты от перегрузки по току, а также ограничительные резисторы в затворах ключей инвертора. В модулях версии «А» эмиттеры нижних ключей соединены непосред-

# International IOR Rectifier

### Первый 200-вольтовый DirectFET транзистор от IR

Новый транзистор разработан для применения в изолированных DC/DC-конверторах с питанием от универсальной шины (36...75 В). Обладая ультранизким сопротивлением канала (51 мОм) и низким зарядом затвора, IRF6641TRPbF идеально подходит для синхронных выпрямителей высокоэффективных силовых DC/DC-конверторов, работающих на высокой частоте, последнего поколения конверторов шины, привода постоянного тока и даже для 48-вольтовых конверторов ветрогенераторов. Кроме того, он может использоваться в силовых AC/DC-конверторах компьютеров и телекоммуникационных серверов с питанием от 48-вольтовой шины.

Новый транзистор в корпусе DirectFET типа MZ при габаритах корпуса SO-8 и высоте корпуса 0,7 мм обеспечивает ток 25 А при минимальных потерях проводимости и переключения. Он заменяет до 3 транзисторов в корпусе SO-8 и экономит до 50% площади печатной платы. Транзистор обеспечивает КПД синхронных выпрямителей до 95% или такой же уровень КПД, что при удвоенном количестве транзисторов в корпусе SO-8 и выходном токе 7 А.

редственно с выводами модуля, к которым подсоединяются шунты для получения информации о токах в фазах двигателя. Модули версии «В» содержат встроенный прецизионный безындуктивный



Рис. 1. Интеллектуальный модуль в корпусе SIP

шунт  $R_s$  в цепи нулевой шины силового питания.

Модули IR принципиально отличаются от аналогов по технологии корпусирования. Модули Mitsubishi производятся в корпусе DIP одного типоразмера, как и модули Fairchild. В семействе модулей IR применяются корпуса с односторонним расположением выводов (SIP-типа) трех типоразмеров (рис. 1).

В отличие от корпуса DIP, у SIP-модуля за счет различной заводской формовки выводов (рис. 2) возможны варианты взаимного расположения платы управления и корпуса модуля (теплоотвода).

В модулях IR применена более прогрессивная технология корпусирования IMS (Insulated Metall Substrate). Она позволяет увеличить плотность монтажа до 3 раз и снизить стоимость корпуса на 60% по сравнению с технологиями, используемыми в модулях-аналогах.

IMS-материал представляет собой фольгированный материал, где слой медной фольги отделен от алюминиевой подошвы тонким изолирующим адгезивным мате-

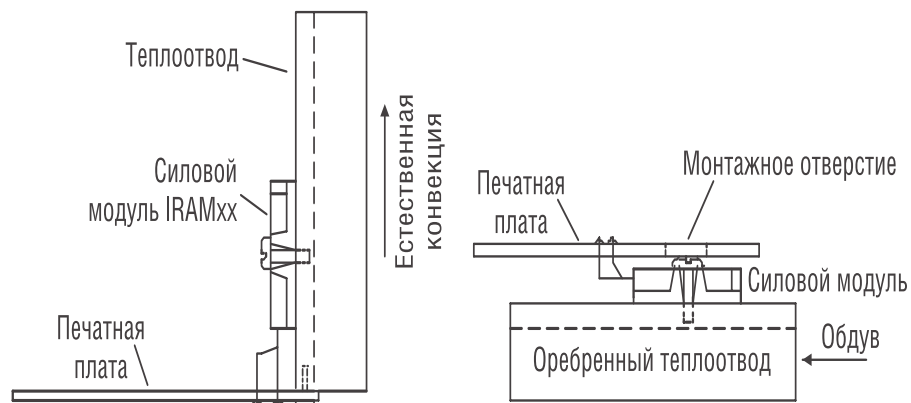


Рис. 2. Варианты монтажа интеллектуальных модулей с различной формовкой выводов

риалом с высокой теплопроводностью.

Толщина фольгированного слоя составляет 20...70 мкм, толщина адгезивной пленки 20 мкм, толщина подошвы из алюминия с двусторонним анодированием 1,5...3 мм. В отличие от аналогов модули IR относятся к типу FullPack (полностью изолированные). После заливки компаундом внешняя поверхность подошвы покрывается слоем пластмассы толщиной 500 мкм.

Применяемые в модулях IR NPT IGBT уступают по потерям

проводимости Trench и PT IGBT в модулях аналогов, но существенно выигрывают по потерям переключения. Они быстрее включаются и выключаются и имеют гораздо более короткое время спада при выключении, определяющее в основном потери на переключение. Поэтому в балансе потерь мощности модули IR могут иметь преимущество до 30%.

Наличие паразитных индуктивностей и емкостей в модуле приводит к генерации высокочастотных шумов. Для обеспечения соответствия мощности генерируемых шу-

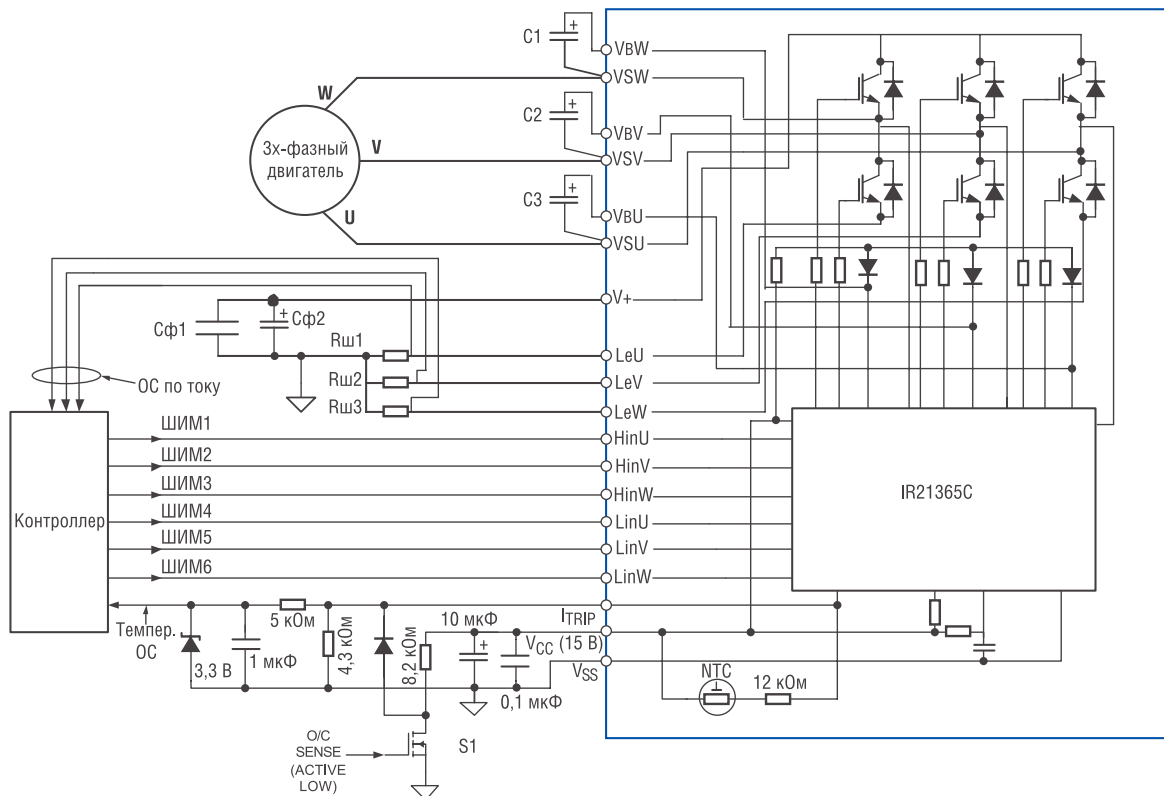


Рис. 3. Схема подключения модулей версии «А»

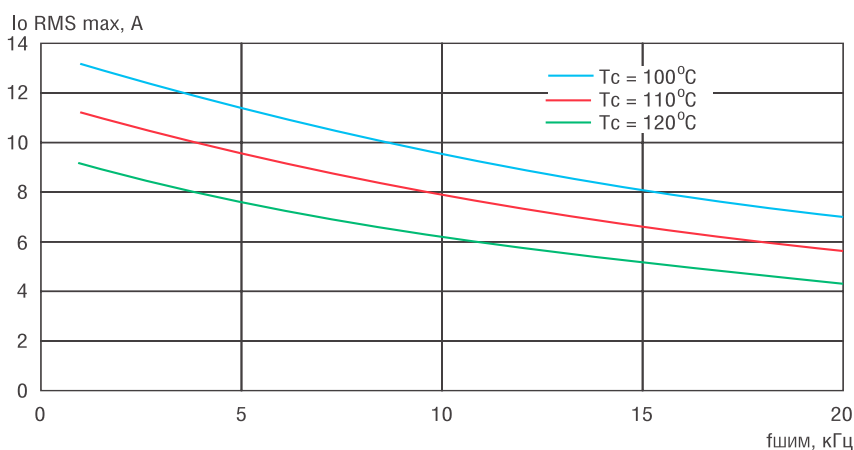


Рис. 4. Зависимость выходного тока от частоты и температуры корпуса ( $U_{\text{шины}}=400$  В,  $T_J=150^\circ\text{C}$ , коэффициент мощности 0,6, глубина модуляции 0,8)

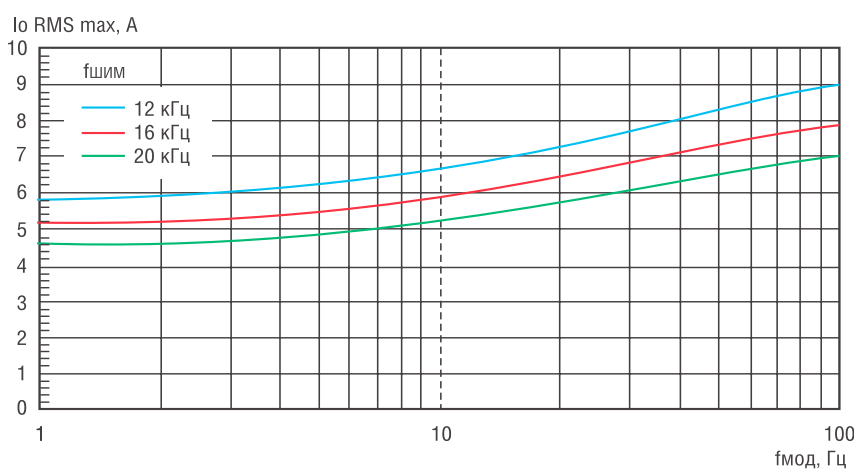


Рис. 5. Зависимость выходного тока от частоты модуляции в двигателе и частоты ШИМ

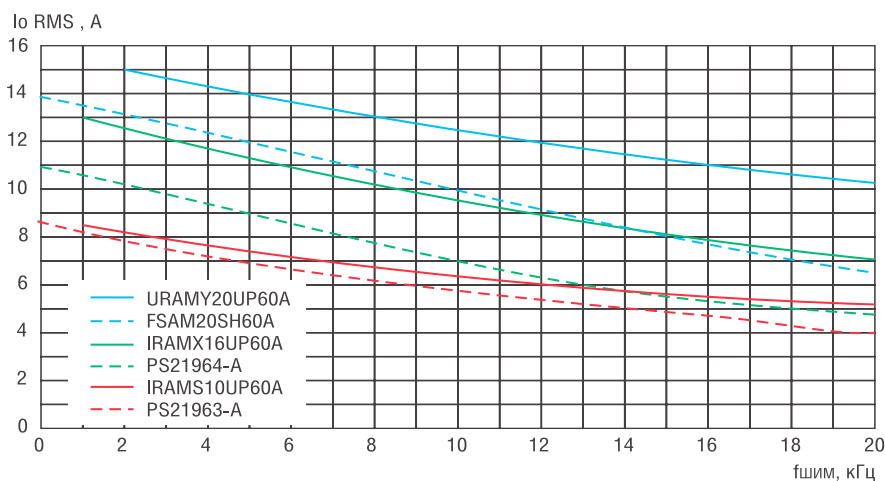


Рис. 6. Сравнение нагрузочной способности по току модулей IR и аналогов

мов требованиям стандартов, во многих случаях приходится искусственно снижать частоту ШИМ. При использовании в модулях IMS-материалов, металлическое

теплоотводящее основание платы, обладающее хорошей электропроводимостью, может быть использовано для реализации внутренней эквипотенциальной поверхности с

нулевым потенциалом (EGP) вместо общей точки. Распределенная между этой поверхностью и шиной питания емкость является проводником с низким импедансом для высокочастотных помех, генерируемых инвертором, что способствует эффективному снижению генерируемых шумов. Как показали испытания модулей IR, уровень паразитных индуктивностей может быть снижен почти на два порядка, что обеспечивает чрезвычайно высокое качество работы инвертора и низкий уровень генерируемых шумов.

Для реализации функционально законченного устройства управления трехфазным электродвигателем с применением интеллектуальных модулей требуется минимальное количество дополнительных компонентов (рис. 3) – микроконтроллер, три бутстрепных конденсатора С1-С3, сетевой фильтр Сф1, Сф2, три шунта токовых ОС Rш1-Rш3 и несложный интерфейс на пассивных компонентах для передачи на микроконтроллер информации о нештатных ситуациях (перегрев, перегрузка по току).

### Номенклатура интеллектуальных модулей IRAM

Номенклатура силовых модулей семейства IRAMxx представлена в табл. 1. В сетях переменного тока с диапазоном напряжения от 85 до 253 В эти модули обеспечивают управление трехфазными электродвигателями мощностью от 100 Вт до 2,2 кВт. В целях обеспечения максимальной компактности и минимальной цены модули выпускаются, в зависимости от величины нормируемого тока, в трех типах SIP-корпусов.

Почти все модули семейства выпускаются с двумя вариантами формовки выводов (цифра 2 в обозначении – вариант формовки с отгибом на  $90^\circ$  по отношению к посадочной плоскости корпуса). Конструкция SIP-корпусов позволяет обеспечивать надежную эксплуатацию при питании от сетей переменного тока с напряжением до 380 В (шина постоянного тока 550 В). Сопротивление изоляции модулей нормировано на напряжение 2000 В. Температурный диапазон при эксплуатации и хранении

Таблица 1. Номенклатура интеллектуальных силовых модулей IRAMxx

Типономинал	P <sub>м</sub> , кВт	I <sub>о</sub> 25°C (A rms)	I <sub>о</sub> 100°C (A rms)	P <sub>d</sub> , Вт	F <sub>шим</sub> , кГц	R <sub>ш</sub> , мОм	R <sub>t</sub> , кОм	R <sub>th</sub> (J-C), °C/Вт	Тип корпуса	Размеры корпуса, мм
IRAMS06UP60A	0,10...0,50	6	3	20	20	—	100	4,2	SIP1	62x22,3x5
IRAMS06UP60A-2	0,10...0,50	6	3	20	20	—	100	4,2	SIP1	62x22,3x5
IRAMS06UP60B	0,10...0,50	6	3	20	20	50	100	4,2	SIP1	62x22,3x5
IRAMS06UP60B-2	0,10...0,50	6	3	20	20	50	100	4,2	SIP1	62x22,3x5
IRAMS10UP60A	0,40...0,75	10	5	20	20	—	100	4,2	SIP1	62x22,3x5
IRAMS10UP60A-2	0,40...0,75	10	5	20	20	—	100	4,2	SIP1	62x22,3x5
IRAMS10UP60B	0,40...0,75	10	5	20	20	33	100	4,2	SIP1	62x22,3x5
IRAMS10UP60B-2	0,40...0,75	10	5	20	20	33	100	4,2	SIP1	62x22,3x5
IRAMX16UP60A	0,75...1,50	16	8	35	20	—	100	4,0	SIP2	62x29x5,5
IRAMX16UP60A-2	0,75...1,50	16	8	35	20	—	100	4,0	SIP2	62x29x5,5
IRAMX16UP60B	0,75...1,50	16	8	31	20	18	100	3,5	SIP2	62x29x5,5
IRAMX20UP60A	0,75...1,50	20	10	38	20	—	100	1,5	SIP2	62x29x5,5
IRAMY20UP60B	0,75...2,20	20	12.5	68	20	17	100	1,6	SIP3	78x31,6x6

**Примечание:** P<sub>м</sub> — мощность электродвигателя (при напряжении сети ~85 В и ~253 В), P<sub>d</sub> — максимальная мощность рассеиваемая модулем на одну фазу, I<sub>о</sub> — среднеквадратический выходной ток (ток фазы двигателя), F<sub>шим</sub> — максимальная частота ШИМ, R<sub>ш</sub> — сопротивление шунта, R<sub>t</sub> — сопротивление термистора, R<sub>th</sub>(J-C) — тепловое сопротивление кристалл-корпус.

составляет от -40 до 150°C. В модулях варианта «В» применяются прецизионные безындуктивные шунты с предельным отклонением 1% и рассеиваемой мощностью от 1,5 до 4,5 Вт. Во всех модификациях модулей используется один типономинал термистора с номинальным сопротивлением 100 кОм, максимальным отклонением 5% и температурным коэффициентом сопротивления 4250. Применяемый во всех типах модулей трехфазный драйвер IR21365 обеспечивает блокировку работы при низком напряжении сети, паузу 300 нс на переключение верхних и нижних ключей для исключения сквозных токов, синхронное отключение всех ключей инвертора спустя 750 нс после получения сигнала о перегреве или перегрузке по току. Помимо этого, все 600-вольтовые IGBT-транзисторы инвертора нормируются на устойчивость к короткому замыканию (в этом режиме они выдерживают 10-кратное увеличение тока по отношению к номинальному в течение 10 мкс).

При выборе типономинала модуля IR следует иметь в виду, что в отличие от аналогов они сохраняют высокую нагрузочную способность по току в широком диапазоне частот ШИМ и модуляции в двигателе и кроме того по иному нормируются. Модули-аналоги нормируются по току на постоянном токе. В отличие от них модули IR нормируются по току при предельных режимах — максимальной частоте ШИМ (20 кГц), максималь-

ном напряжении на шине питания, максимальной глубине модуляции, более высокой температуре кристалла (150°C). Справочные листы модулей IR содержат информацию о зависимости максимального выходного тока от частоты ШИМ и частоты модуляции в двигателе при различных температурах корпуса (рис. 4 и 5), что значительно упрощает конструктору задачу выбора рабочих режимов.

Из графиков видно, что реальная нагрузочная способность по току может возрасти вдвое при снижении частоты ШИМ и на 50% при повышении частоты модуляции в двигателе.

В приложениях модули IR, нормированные на меньший по сравнению с аналогами ток, могут иметь преимущество по выходному току, особенно с повышением частоты ШИМ. На рис. 6 представлены зависимости максимального синусоидального тока на выходе модуля (ток фазы двигателя) в зависимости от частоты ШИМ. Сравнение проводилось между интеллектуальными модулями компании International Rectifier, ультрабыстрыми интеллектуальными модулями четвертого поколения компании Mitshubishi и ультрабыстрыми интеллектуальными модулями компании Fairchild при максимально допустимой температуре кристалла (150°C для модулей IR и 125°C для остальных). Как следует из графиков, модуль FSAM20SH60A компании Fairchild, нормиро-

ванный на ток 20 А, значительно уступает по выходному току модулю IRAMY20UP60A компании IR, нормированному на такой же ток, и фактически близок по току 16-амперному модулю IR IRAMX16UP60A. Нормированный на 15 А модуль PS21964-A компании Mitshubishi существенно уступает 16-амперному IRAMX16UP60A компании IR. На частотах ШИМ выше 10 кГц он уже равноценен 10-амперному IRAMS10UP60A, который, в свою очередь, превосходит 10-амперный PS21963-A компании Mitshubishi во всем диапазоне частот ШИМ.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. M. Battelo, P. Wood, M. Hezi, A. Guerra "A new flexible low-cost IGBT inverter power module for appliance applications". PCIM 2003
2. A. Gorderino, A. Guerra "Application-specific current rating of advanced power modules for motion control" Power Systems World, 2003
3. Application note AN-1044 "IRAM series application overview", IR, 2003
4. Application note AN-9018 "Smart power module user's guide", Fairchild, 2002
5. "DIP-IPM Ver. 4 application note", Mitshubishi, 2005.

По вопросам получения технической информации, заказа образцов и поставки обращайтесь в компанию КОМПЭЛ.

E-mail: power.vesti@compel.ru.