

# Современные интегральные силовые модули DIP-IPM

фирм Mitsubishi и Powerex

**Одной из тенденций развития многих приложений силовой электроники в последнее время является ориентация на использование специализированных модулей вместо дискретных полупроводниковых приборов. Такие модули выпускают многие ведущие производители силовых полупроводниковых приборов, в том числе подразделение Mitsubishi Electric Semiconductors, входящее в состав одноименного концерна.**

Юрий Петропавловский

**К**онцерн (или группа) Mitsubishi — один из крупнейших производственных конгломератов Японии (keiretsu), оказавший огромное влияние на развитие экономики страны. История Mitsubishi началась с основания в 1873 году судоходной компании Mitsubishi Shokai, владельцем фирмы был предприниматель Ятаро Ивасаки (1834–1885 гг.).



**Рис. 1.** Ятаро Ивасаки — владелец судоходной компании Mitsubishi Shokai

Развиваясь, Mitsubishi превратилась в огромную фирму, принадлежавшую семье Ивасаки вплоть до окончания Второй мировой войны. В 1946 г. компания была реорганизована, вместо нее образовались 44 независимые фирмы, из них 20 носят имя Mitsubishi, в том числе и Mitsubishi Electric. В настоящее время число коммерческих организаций под торговой маркой Mitsubishi по всему миру составляет более 400 [1, 2].

Mitsubishi Electric Corporation (MELCO, «Мицубиси Дэнки Кабусики Кайся», корпорация «Мицубиси Электрик») основана 15 января 1921 г. Ее штаб-квартира находится в токийском деловом районе Маруноучи (Marunouchi). Консолидированный объем продаж корпорации — \$37,4 млрд, численность персонала — 106 931 человек (по состоянию на 31 марта 2009 г.). Президент и главный исполнительный директор — Сэцухиро Симомура (Setsuhiro Shimomura) [3, 14].

Представительства MELCO базируются более чем в 40 странах мира, в сферу деятельности европейского подразделения Mitsubishi Electric Europe B.V. (Нидерланды) входит и Россия [4]. Продукция Mitsubishi Electric известна в СССР еще с 1970-х годов, когда в нашу страну осуществлялись поставки промышленного оборудования и производственных линий. В декабре 1997 года было открыто представительство ЗАО «Мицубиси Электрик Юроп Б. В.» в Москве, в 2004 году — в Екатеринбурге, в 2008-м — в Санкт-Петербурге: деятельность этого подразделения направлена на активизацию продвижения продукции компании в Северо-Западном регионе страны. Компания предлагает к поставке системы кондиционирования, промышленную автоматику, силовые полупроводники, мультимедийные проекторы, проекционные кубы, домашние кинотеатры, фотосистемы, системы безопасности и медицинское оборудование [5].

Mitsubishi Electric имеет долю в акционерном капитале фирмы Powerex Inc. (г. Юнгвуд, Пенсильвания, США). Powerex Inc. основана в 1986 г. в результате слияния отделений силовых полупроводниковых приборов фирм General Electric Company и Westinghouse Electric Corporation. В 1994 году Westinghouse продала свои акции General Electric и Mitsubishi Electric. Номенклатура силовых полупроводниковых приборов Powerex во многом совпадает с номенклатурой Mitsubishi Electric.

«Мицубиси Электрик» выпускает широкую номенклатуру силовых полупроводниковых приборов. В каталоге фирмы 2009 года элементы силовой электроники сгруппированы в категориях Power Modules — силовые модули, High Power Devices — мощные

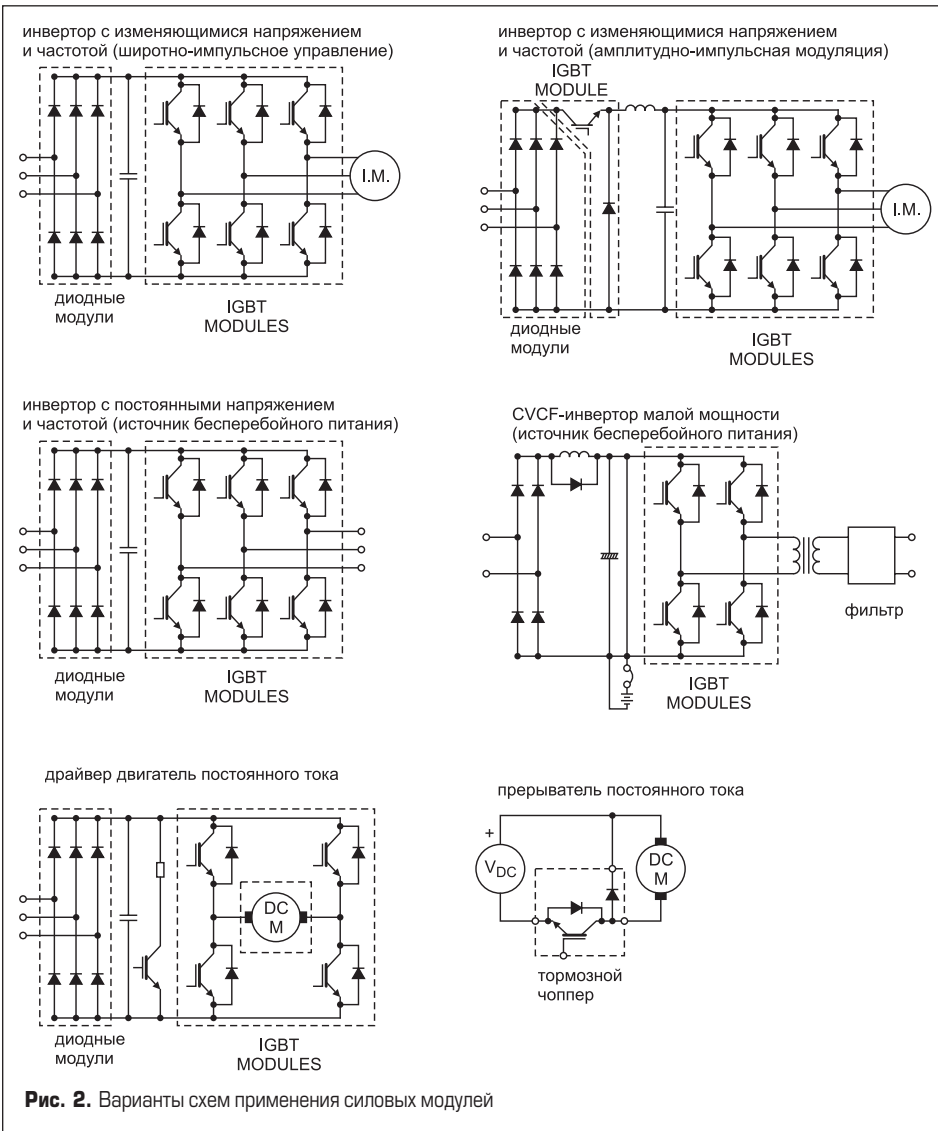


Рис. 2. Варианты схем применения силовых модулей

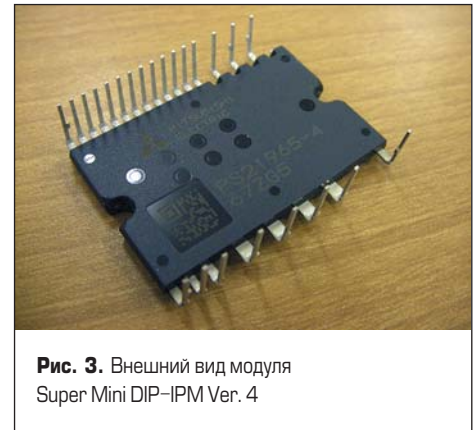


Рис. 3. Внешний вид модуля Super Mini DIP-IPM Ver. 4

полупроводниковые приборы. Выпускаются силовые модули следующих классов: IGBT-модули (83 наименования); Intelligent Power Modules — интеллектуальные силовые модули (137 наименований); DIP-IPM — интеллектуальные силовые модули в интегральном исполнении (в DIP-корпусах, 52 наименования); Power MOSFET Modules — силовые модули на полевых транзисторах; Thyristor Modules — тиристорные модули; Diode Modules — диодные модули, общее число наименований модулей исчисляется несколькими сотнями [6].

Силовые модули MELCO предназначены для применения в источниках бесперебойного питания; CVCF/VVVF-инверторах; индукционных нагревателях (Induction Heater); импульсных источниках питания (SMPS); сварочных выпрямителях (Welder); оборудовании для резки (Cutter) и электроэрозионной обработки металлов (Electrical Discharge Machine); медицинской аппаратуре; блоках питания тяговых двигателей; электроприводе двигателей; кондиционерах и сплит-системах; подъемниках и лифтах. На рис. 2 приведены некоторые варианты схем применения силовых модулей: VVVF-инверторы с ШИМ, и АИМ, управлением для привода двигателей переменного тока; CVCF-инверторы для источников бесперебойного питания (ИБП); драйвер двигателей постоянного тока; тормозной чоппер для управления двигателями постоянного тока (DC Chopper).

Наиболее широкая номенклатура силовых полупроводниковых приборов фирмы сосредоточена в категориях IGBT-модулей, интеллектуальных силовых модулей (IPM), в том числе в интегральном исполнении DIP-IPM. IPM MELCO обеспечивают управление токами в диапазоне порядка 50–800 А при напряжении 600–1200 В, модули DIP-IPM версий 3; 3,5; 4 — в диапазоне 3–50 А при напряжении до 600 В, версии 1200V — до 1200 В. Интеллектуальные силовые модули (в том числе модули DIP-IPM) представляют собой полупроводниковые приборы, в состав которых входят силовые IGBT, схемы управления и различные устройства защиты [7, 8]. Модули DIP-IPM широко применяются в кондиционерах, сплит-системах, холодильниках, стиральных машинах различных производителей, их с успехом можно использовать и для различных промышленных приложений. В таблице 1 приведены классификационные параметры модулей DIP-IPM

Таблица 1. Классификационные параметры модулей DIP-IPM фирмы Mitsubishi Electric

Наименование	Серия	Статус	I <sub>к</sub> , А	P <sub>к</sub> , Вт	U <sub>нас</sub> , В	t <sub>оп</sub> , нс	T <sub>г</sub> , °C/Вт
PS21562-P (SP)	Ver. 3	MP	5	16,7	2,1	1200	6
PS21563-P (SP)			10	20	2,1	1200	5
PS21564-P (SP)			15	22	1,95	1200	4,5
PS21869-P (AP)	Ver. 3.5	N	50	70	2	1300	1,42
PS21265-P (AP)			20	51,2	2,05	1250	1,95
PS21267-P (AP)			30	55,5	2	1250	1,8
PS21765	Ver. 4	MP	20	76,9	2,1	1300	1,3
PS21767 (V)			30	90,9	2,1	1300	1,1
PS21961-4 (4S,ST)			3	21,3	2,2	950	4,7
PS21962-4 (4S,T)			5	21,3	2,2	1000	4,7
PS21963-4S			10	27	2,2	1100	3,7
PS21964-4 (ST,4S)			15	33,3	2,2	1300	3
PS21965-4(4S,ST,T)			20	35,7	2,2	1300	2,8
PS21993-4			10	27	2,1	1100	3,7
PS21994-4			15	33,3	2,1	1300	3
PS21997-4			30	47,6	2,5	1300	2,1
PS22052	1200V	N	5	38,8	3,4	1500	2,61
PS22053			10	50	3,4	1500	2
PS22054			15	56	3,4	1500	1,76
PS22056			25	78,1	3,4	1500	1,28

Примечание. Максимально допустимое напряжение U<sub>к</sub> IGBT-модулей — 600 В (для версии 1200V — 1200 В), предельная температура кристаллов модулей — 125 °C. Аббревиатурой MP обозначены серийные модули (In mass production), N — новинки (New product). Модули DIP-IPM производства MELCO имеются и в ассортименте фирмы Powerex.

фирмы серий (версий) Ver. 3; Ver. 3,5; Ver. 4 (рис. 3) и Ver. 1200V из каталога фирмы по состоянию на лето 2009 г. (модули других серий в текущий каталог не включены и здесь не рассматриваются).

Основное назначение модулей DIP-IPM серии Ver. 3 — электропривод трехфазных двигателей переменного тока малой и средней мощности по алгоритму VVVF (Variable Voltage Variable Frequency): управление с изменяющимися напряжением и частотой. Модули серии могут управлять двигателями с номинальной мощностью 0,2 кВт (PS21562); 0,4 кВт (PS21563); 0,75 кВт (PS21564); 1,5 кВт (PS21865, в каталоге 2009 г. отсутствует); 2,2 кВт (PS21867, также отсутствует); 3,7 кВт (PS21869), эти двигатели рассчитаны на номинальное напряжение 100–200 В переменного тока. Модули PS21562/3/4 выпускаются в малогабаритных корпусах Mini DIP, PS21865/7/9 — в корпусах DIP-IPM (рис. 4) [9]. В каталоге Powerex 2009 г. имеются модули PS21869-P/AP (корпус DIP) [10]. Модули DIP-IPM серии Ver. 3.5 выпускаются в модифицированном DIP-корпусе (DIP-2 по классификации Powerex), по электрическим параметрам они относятся к модулям серии Ver. 3. Модули PS21265P (AP), PS21267-P (AP) выпускает и фирма Powerex.

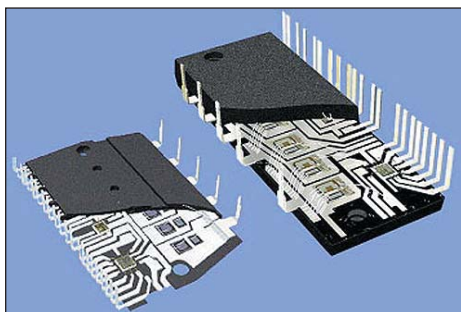


Рис. 4. Внешний вид модулей в корпусах Mini DIP, DIP

Модули DIP-IPM серии Ver. 3 характеризуются следующими особенностями (Product Feature):

1. В модулях использованы интегральные IGBT-инверторы с 3-фазным выходом переменного тока. Модули с выходным током 3–30 А основаны на планарных IGBT 5-го поколения (The 5<sup>th</sup> generation planar IGBT). В модулях с выходным током 50 А применены кристаллы со структурой CSTBT (Carrier Stored Trench-gate Bipolar Transistor), от «обычного» Trench IGBT этот транзистор отличается наличием в структуре кристалла дополнительного слоя под названием Carried stored layer — барьерный слой для накопления зарядов. В результате возникает так называемый эффект аккумуляции носителей, что способствует снижению прямого падения напряжения  $U_{нас}$ . Более подробно устройство CSTBT-приборов рассмотрено в [11]. CSTBT является зарегистрированной торговой маркой фирмы Mitsubishi Electric Corporation.
2. Топология модулей предусматривает использование одного источника для пита-

ния схем управления HVIC (bootstrap circuit scheme).

3. В состав модулей включены схемы управления и защиты:
  - в верхних плечах — схема защиты от пониженного напряжения UV (Under-Voltage) без вывода сигнала срабатывания защиты (fault signal);
  - в нижних плечах — схемы защиты от коротких замыканий SC (Short-Circuit) и от пониженного напряжения UV с выводом сигнала срабатывания защиты.
4. Управление модулями может осуществляться непосредственно от микропроцессоров систем управления без использования оптических или трансформаторных развязок.
5. Уровни входных логических сигналов — 3 или 5 В, обеспечивается КМОП/ТТЛ-совместимость.

Структура модулей серии Ver. 3 в корпусе DIP приведена на рис. 5 (за исключением SP-исполнений).

В состав модулей входят схемы управления верхними ключами HVIC1–HVIC3, схема управления нижними ключами LVIC, ключевые IGBT1–IGBT6 и антипараллельные диоды D1–D6. Рассмотрим особенности модулей

DIP-IPM Ver. 3 на примере самых мощных из них — PS21869-P/AP. Основные параметры приборов:

- $V_{cc}$  (максимально допустимое напряжение питания) — 450 В (измеряется между выводами P и N), рекомендуемое рабочее напряжение 300 В.
- $V_{iso}$  (напряжение изоляции) — 2500 В (измеряется между выводами и пластиной теплоотвода (Heat-sink plate)).
- $I_{cp}$  (пиковый ток коллекторов IGBT) — 100 А ( $t_{dumm}$  не более 1 мс).
- $I_o$  (максимальное действующее значение выходного тока) — 3,5 А при  $V_{cc} = 300$  В,  $V_d = V_{db} = 15$  В, P.F = 0,8,  $f_{umm} = 5$  кГц,  $T = 125$  °C (P.F — коэффициент использования мощности), при  $f_{umm} = 15$  кГц,  $I_o = 13,8$  А.
- $P_c$  (максимальная мощность рассеяния каждого IGBT) — 70,4 Вт.
- $V_D, V_{DB}$  (максимально допустимое напряжение питания) — 20В ( $V_D$  измеряется между выводами  $V_{p1}-V_{pe}, V_{N1}-V_{NC}, V_{DB}$  — между выводами  $V_{UFB}-V_{UFS}, V_{VFB}-V_{VFS}, V_{WFB}-V_{WFS}$ ), рекомендуемые напряжения — 15 В.
- $V_{ce}$  ( $U_{нас}$ , падение напряжения на открытых IGBT, типовое значение) — 1,5 В при  $I_k = 50$  А,  $T_{\theta vb} = 25$  °C, максимальное значение 2,1 В при  $I_k = 50$  А,  $T_{\theta vb} = 125$  °C.

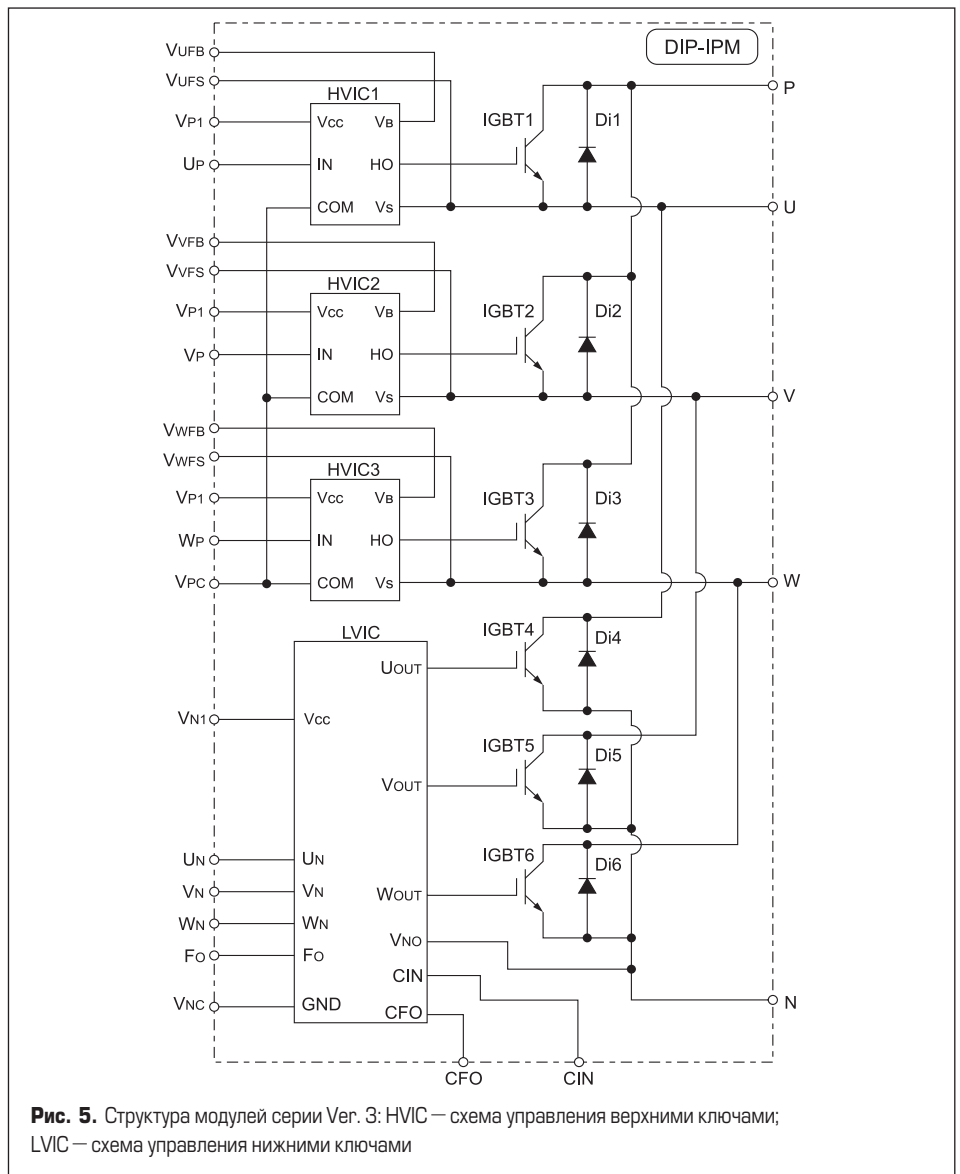


Рис. 5. Структура модулей серии Ver. 3: HVIC — схема управления верхними ключами; LVIC — схема управления нижними ключами

- $V_{ce}$  (падение напряжения на антипараллельных диодах, типовое значение) — 1,7 В ( $-I_k = 50$  А,  $T_{\text{выб}} = 25$  °С).
- Временные параметры переключения (рис. 6):  $t_{on} = 1,3$  мкс,  $t_{rr} = 0,3$  мкс,  $t_{c(on)} = 0,4$  мкс,  $t_{off} = 2$  мкс,  $t_c = 0,65$  мкс (приведены типовые значения при  $V_{cc} = 300$  В,  $V_D = V_{DB} = 15$  В,  $I_k = 50$  А,  $T_{\text{выб}} = 125$  °С).
- $f_{\text{макс}}$  (максимальная частота следования входных ШИМ-импульсов) — 20 кГц, рекомендуемый диапазон частот ШИМ-импульсов — 5–15 кГц, минимальная длительность импульсов — 3 мкс. Соответствующие пара-

тры других модулей приведены в таблице 2, ток  $I_o$  модулей PS22052/053/054/056 измерен на частоте входных ШИМ-сигналов 15 кГц, остальных — 5 кГц (параметры из листов данных Mitsubishi Electric 2005–2008 гг.).

Схема включения модулей в корпусах DIP без использования оптических развязок между схемой управления и модулем, рекомендуемая изготовителем, приведена на рис. 7.

В таком включении корпусная шина схемы не должна иметь соединения с общим корпусом агрегата, в который она устанавливается. При конструировании печатной платы

блока управления следует иметь в виду следующее:

1. Во избежание самовозбуждения схемы длина печатных проводников, подключенных к входам модуля (выводы  $U_p, V_p, W_p, U_n, V_n, W_n$ ), должна быть как можно короче.
2. Сигнал срабатывания защиты (fault signal) подается с каскада с открытым стоком, поэтому вывод  $F_o$  модуля необходимо соединить с цепью питания +5 В через резистор R2 (10 кОм). Длительность импульсов на выводе  $F_o$  определяется величиной емкости конденсатора C4, при емкости 0,022 мкФ длительность импульсов —  $\approx 1,8$  мс.
3. Для предотвращения сбоев в работе схем защиты длина цепей (печатных проводников) на участках А, В, С должна быть минимально возможной.
4. Постоянную времени R1C5 предпочтительно выбирать в пределах 1,5–2 мкс.
5. Конденсаторы C2, C3 схемы следует располагать вблизи соответствующих выводов модуля, это же относится и к демпферному конденсатору C6, его емкость выбирают в диапазоне 0,1–0,22 мкФ, емкости керамических конденсаторов C2, C3 выбираются в пределах 0,22–2,0 мкФ.
6. Для защиты от перенапряжений (surge destruction) в цепях питания желательно установить стабилитроны D1 на напряжение 24 В (1 Вт).
7. Индуктивность цепи между выводом N модуля и шунтирующим резистором (Shunt Resistor) не должна превышать 10 нГн, что эквивалентно индуктивности проводника из меди шириной 3 мм, толщиной 100 мкм и длиной 17 мм. Сопротивление шунтирующего резистора определяется величиной заданного тока короткого замыкания конкретных типов модулей, методика расчета приведена в [9].
8. Параметры «бустрепных» элементов схем  $R_b, D_b, C1$  рассчитываются для конкретных модулей и выбранных режимов работы по методике, приведенной в [9].

Модули DIP-IPM серии Ver. 4 (PS2196x-4/-T) выпускаются в малогабаритных корпусах Super Mini DIP, напряжение изоляции модулей — 1500 В [12]. Модули предназначены для управления двигателями переменного тока, рассчитанными на напряжение 100–200 В, со следующими номинальными мощностями (Motor Rating):

- 0,2 кВт — PS21961-4/-4A/-4C/-4S/-4W, PS21961-T/-AT/-CT/-TW/-ST;
- 0,4 кВт — PS21962-4/-4A/-4C/-4S/-4W, PS21962-T/-AT/-CT/-TW/-ST;
- 0,75 кВт — PS21963-4E/-4AE/-4CE/-4ES/-4EW, PS21963-4/-4A/-4C/-4S/-4W, PS21964-4/-4A/-4C/-4S/-4W, PS21963-T/-AT/-CT/-TW/-ST, PS21964-T/-AT/-CT/-TW/-ST;
- 1,5 кВт — PS21965-4/-4A/-4C/-4S/-4W, PS21965-T/-AT/-CT/-TW/-ST.

Суффиксы в наименованиях модулей означают: А — удлиненные выводы; С, W — зигзагообразные выводы; Т — наличие схемы температурной защиты; S — эмиттеры нижних IGBT выведены на отдельные выводы модулей. В сравнении с приборами серии

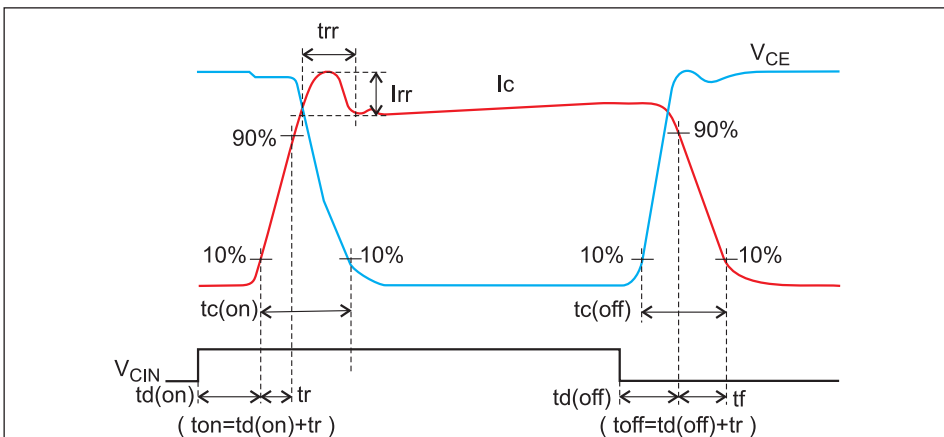


Рис. 6. Коммутационные характеристики:  $V_{cin}$  — входной управляющий импульс;  $I_c$  — выходной ток коллектора;  $V_{ce}$  — выходное напряжение коллектор-эмиттер;  $t_{c(on)}$  — время включения;  $t_{c(off)}$  — время выключения;  $t_{d(on)}$  — задержка включения;  $t_{d(off)}$  — задержка выключения;  $t_r$  — длительность выброса;  $t_f$  — длительность заднего фронта выходного импульса;  $I_{rr}$  — амплитуда выброса

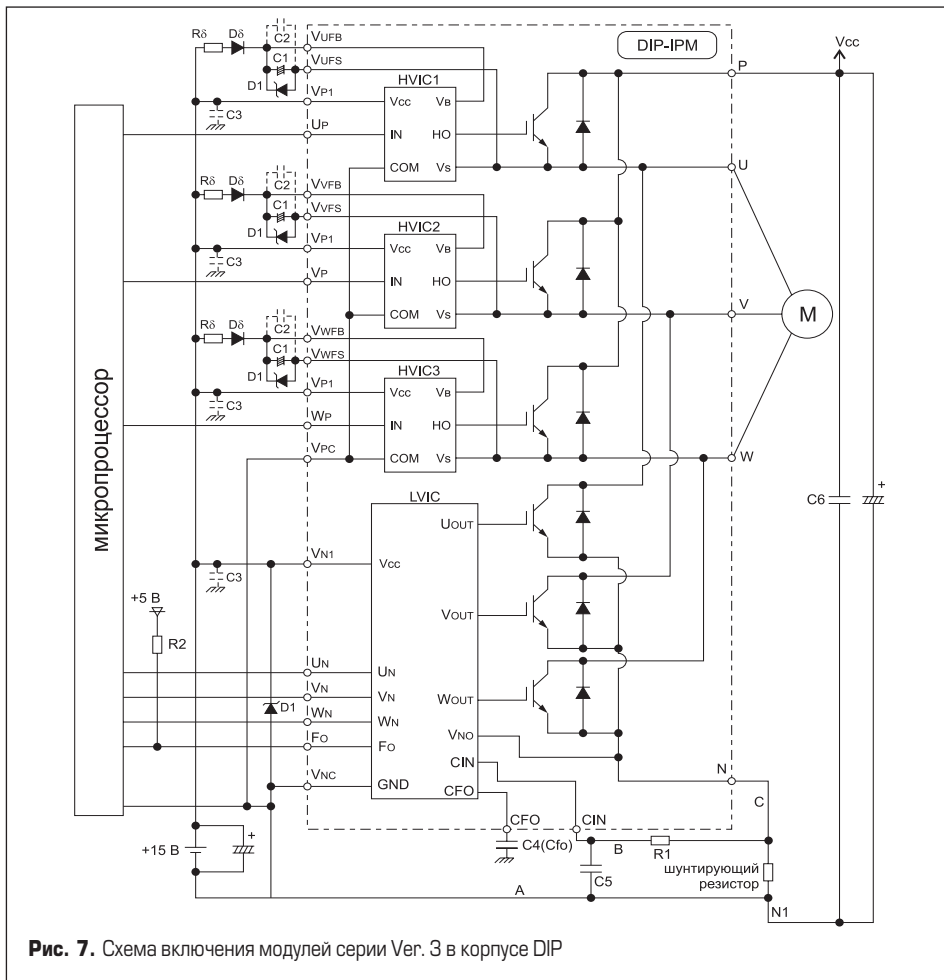


Рис. 7. Схема включения модулей серии Ver. 3 в корпусе DIP

Ver. 3 модули серии Ver. 4 имеют следующие особенности:

- Использована одна микросхема HVIC (вместо трех).
- С целью уменьшения теплового сопротивления применен новый изоляционный материал и более тонкие кристаллы IGBT.
- В модулях PS21965, PS21993, PS21994, PS21997 применены IGBT со структурой CSTBT, в остальных (кроме PS21961) — IGBT 5-го поколения.
- В модулях PS21961 использованы IGBT, обладающие обратной проводимостью, что достигнуто за счет встраивания в них антипараллельных диодов.

Такие структуры получили наименование RC-IGBT (Reverse Conducting IGBT) [8, 11]. Структура модулей приведена на рис. 8 (за исключением S-исполнений), внешний вид — на рис. 3, параметры — в таблицах 1, 2. Перечислим назначения основных выводов модулей:

- $V_{ufb}, V_{vlb}, V_{wfb}$  — напряжения питания HVIC;
- $U_p, V_p, W_p$  — входы управления HVIC;
- $V_{nl}$  — напряжение питания LVIC;
- $U_n, V_n, W_n$  — входы управления LVIC;
- $CIN$  — вход контроля выходного тока;
- $N$  — силовой корпус;
- $V_{nc}$  — корпус LVIC;
- $W, V, U$  — силовые выходы;
- $P$  — напряжение питания IGBT.

Все модули серии Ver. 4 оснащены встроенными схемами защиты от пониженного напряжения (UV) и от короткого замыкания (SC), а T-исполнения (буква T в суффиксах или окончаниях наименований модулей) — и от превышения предельно допустимой температуры (OT). Сигналы срабатывания схем защиты (fault signals) можно контролировать на соответствующих выводах модулей, особенности функционирования схем защиты приведены в [12].

Модули серии V1200 предназначены для электропривода 3-фазных двигателей переменного тока с номинальным напряжением 400 В и номинальной мощностью 0,4–5,5 кВт. Приведенные в таблице 1 модули этой серии разработаны в 2005 г., однако в каталоге MELCO они позиционируются в категории новинок. Предположительно, возросший спрос на высоковольтные модули вызван растущим применением более экономичных (и высоковольтных) двигателей в бытовой технике и промышленных приложениях. В 2008 году фирма анонсировала новые типы модулей в серии 1200V — PS22A72, PS22A73, PS22A74, PS22A76, PS22A78-E [13] — под логотипом 1200V DIP-IPM. В таблице 3 приведены основные параметры модулей Intellimod Module из каталога Powerex, не включенные в таблицу 1 (в каталоге Powerex имеются практически все типы модулей из таблицы 1). Структура модулей этой серии соответствует той, что показана на рис. 5. Модули выпускаются в корпусах DIP (42 вывода).

Максимальное действующее значение тока  $I_0$  в индуктивной нагрузке (обмотки двигателей) зависит от разных факторов, в том числе и от частоты управляющих ШИМ-импульсов, выбираемой разработчиками систем питания

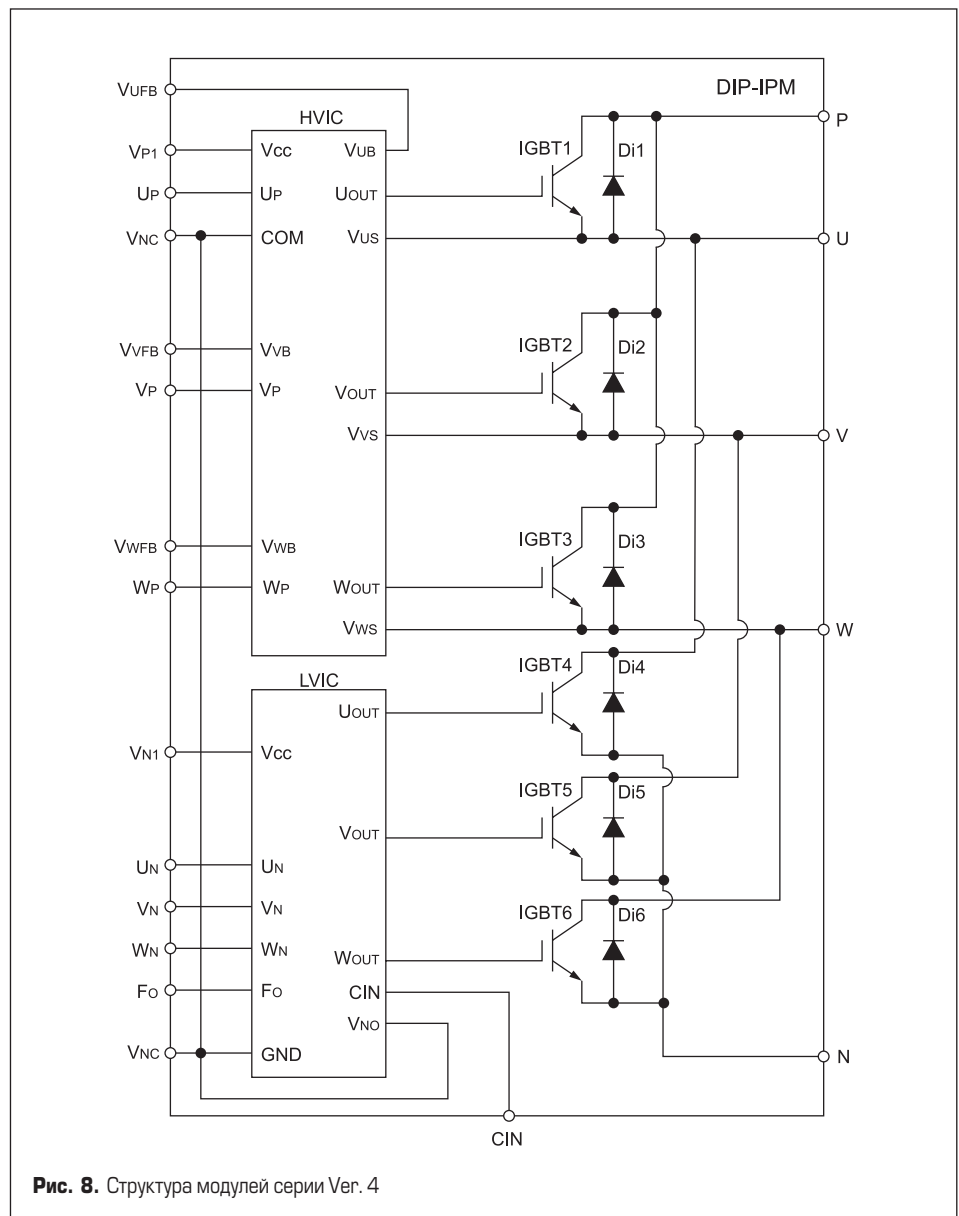


Рис. 8. Структура модулей серии Ver. 4

Таблица 2. Основные параметры модулей серий Ver. 3, Ver. 3.5, Ver. 4, V1200

Наименование	$V_{ce1}$ В	$I_{cr}$ А	$I_{cp}$ А	$P_c$ Вт	$V_{ce1}$ В	$V_{ce2}$ В	$V_{dr}$ В	$V_{dbr}$ В	$t_{on}$ мкс	$t_{off}$ мкс	$t_{con}$ мкс	$t_{coff}$ мкс	$t_{rr}$ мкс	$F_{max}$ кГц												
PS21562	450	3,5	10	16,7	1,6	1,5	20	20	1,2	1,3	0,4	0,5	0,3	20												
PS21563		6,5	20	20																						
PS21564		7,5	30	22,2																						
PS21869		23,6	100	70,4																						
PS21265		14	40	51,2																						
PS21267		19	60	55,5																						
PS21765		14	40	76,9																						
PS21767		21	60	90,9																						
PS21961		2	6	21,9																						
PS21962		2,5	10																							
PS21963		5	20	27																						
PS21964		7,5	30	33,3																						
PS21965		10	40	35,7																						
PS21993		5,5	20	27																						
PS21994		8	30	33,3																						
PS21997		15	60	47,7																						
PS22052		900	1,8	10											39,3	2,7	2,5	20	1,5	1,5	2,8	0,4	0,6	0,6	0,3	15
PS22053			3,4	20											50											
PS22054	5,5		30	56,8																						
PS22056	9,2		50	78,1																						

Таблица 3. Основные параметры модулей Intellimod Module из каталога Powerex 2009 г.

Наименование	$I_{кр} А$	$I_{ср} А$	$I_{ор} А$	$P_{кр} Вт$	$V_{ce} В$	$V_{ec} В$	$t_{on} мкс$	$t_{off} мкс$	$T_{rr} °C/Вт$	$f_{макс} кГц$	$V_{ce} В$
PS21A79	50	100	23,6/13,8	142	1,55	1,4	2,4	3	1,78	20	450
PS21A7A	75	150	37/17	162	2,05	2,2					
PS22A72	5	10	/1,8	44,6	1,9	2,5	1,5	2,8	1,25	20	900
PS22A73	10	20	/3,6	66,2							
PS22A74	15	30	/5,5	86,9							
PS22A76	25	50	/9,19	113,6							
PS22A78-E	35	70	/12,8	129,9							

Примечание. Параметр  $I_o$  указан для частоты  $f_{шум} = 5$  кГц, через дробь — для  $f_{шум} = 15$  кГц.

на основе рассматриваемых модулей. На рис. 9 приведены зависимости  $I_o$  от частоты ШИМ-импульсов модулей серии Ver. 3 (в том числе PS21865, PS21867, не представленных в таблицах 1, 3). Характеристики для модулей с типовыми параметрами сняты при  $V_{ce} = 300$  В,

$V_d = V_{db} = 15$  В,  $T = 125$  °C,  $P.F = 0,8$ , частота модуляции ШИМ-сигналов — 60 Гц. На рис. 10 приведены такие же характеристики для модулей серии Ver. 4.

Напряжение насыщения  $V_{ce}$  IGBT и падение напряжения на антипараллельных диодах  $V_{ec}$

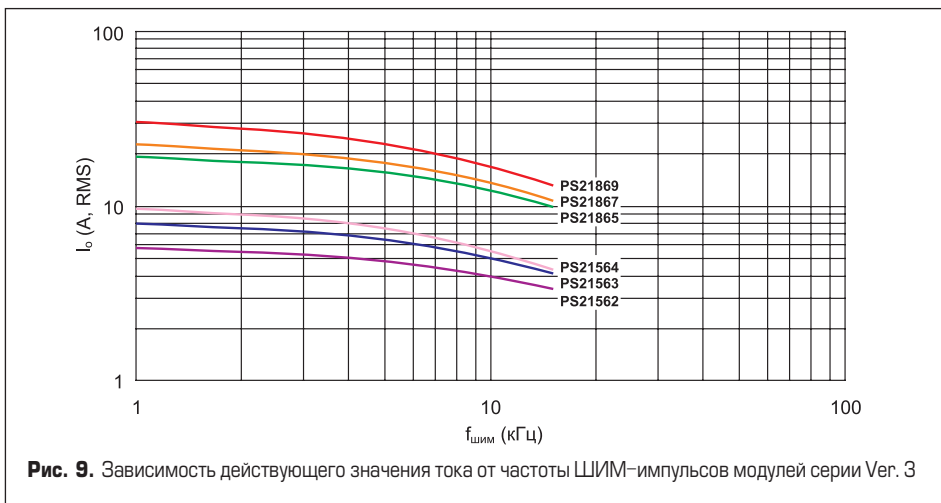


Рис. 9. Зависимость действующего значения тока от частоты ШИМ-импульсов модулей серии Ver. 3

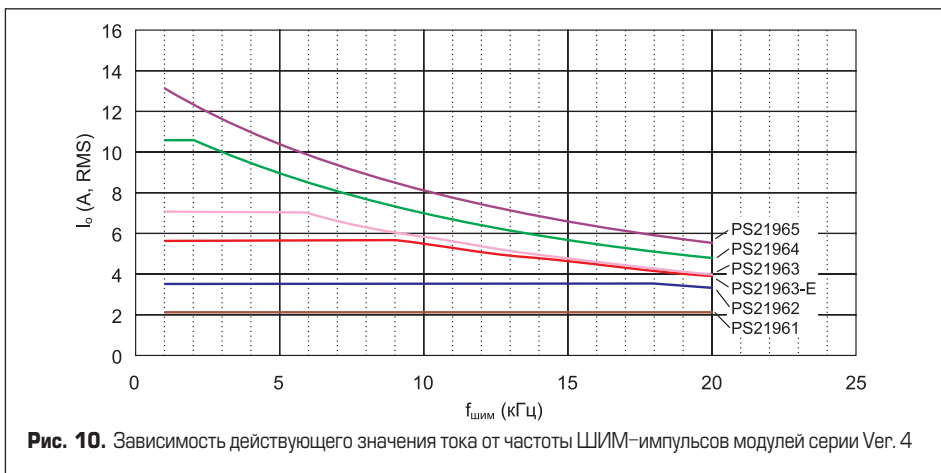


Рис. 10. Зависимость действующего значения тока от частоты ШИМ-импульсов модулей серии Ver. 4

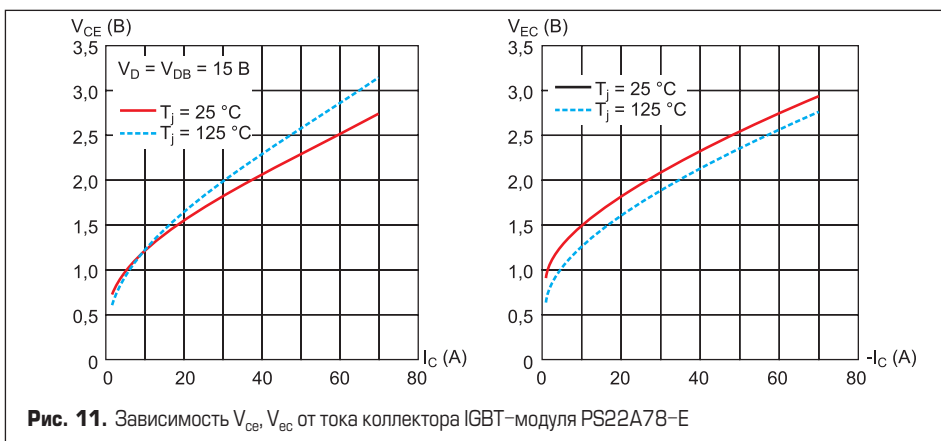


Рис. 11. Зависимость  $V_{ce}$ ,  $V_{ec}$  от тока коллектора IGBT-модуля PS22A78-E

модулей существенно зависит от величины выходного тока  $I_c$  ( $-I_c$ ). Для примера на рис. 11 показана типовая зависимость  $V_{ce}$  от  $I_c$  и  $V_{ec}$  от  $-I_c$  модулей PS22A78-E при различной температуре выводов  $T_j$ .

Чертежи и схемы расположения выводов рассмотренных модулей DIP-IPM приведены на сайте журнала <http://www.power-e.ru/files/Korpusa.zip> [корпуса DIP, Mini DIP, Super Mini DIP, DIP-2, DIP (42 вывода)].

Использованные термины и сокращения:

**CVCF inverter (Constant Voltage Constant Frequency Power Supply)** — преобразователь постоянного напряжения в переменное с постоянной частотой).

**Fault (signal, out, circuit)** — сигнал, выход устройства, цепь/схема индикации отказов или срабатывания схем защиты различных электронных приборов.

**HVIC (High Voltage Integral circuit)** — схема управления верхними ключами мостовых схем.

**LVIC (Low Voltage Integral circuit)** — схема управления нижними ключами мостовых схем.

**OT (Over Temperature)** — схема защиты от перегрева микросхем, устройств и т. д.

**OV/UV (Over/Under Voltage)** — схема защиты от перенапряжений/пониженного напряжения.

**SC (Short Circuit)** — схема защиты от коротких замыканий.

Литература

1. Виряскин С. Короли финансового капитала. Путь самурая: японский клан Ивасаки. <http://bankir.ru/analytics/history/1367648>
2. Mitsubishi Electric. [http://www.eurosv.ru/shop/catalog/mitsubishi\\_electric](http://www.eurosv.ru/shop/catalog/mitsubishi_electric)
3. Corporate data. <http://global.mitsubishielectric.com/company/corp/data/index.html>
4. [http://www.mitsubishielectric.eu/en/our\\_businesses/semi](http://www.mitsubishielectric.eu/en/our_businesses/semi)
5. <http://www.mitsubishielectric.ru/>
6. <http://www.mitsubishichips.com/Global/products/powermod/index.html>
7. Кокарева И. Отечественная силовая электроника // Электроника: НТБ. 2007. № 3.
8. Новые 3-амперные интеллектуальные силовые модули корпорации Mitsubishi // Силовая электроника. 2007. № 1.
9. DIP-IPM Ver. 3. Application Not. Mitsubishi Electric. <http://www.mitsubishichips.com/Global/files/manuals/dipv3-e.pdf>
10. <http://www.pwr.com/Result.aspx?g=112&m=65>
11. Колпаков А. NPT, Trench, SPT... Что дальше? // Силовая электроника. 2006. № 3.
12. Tominaga S. Super Mini DIP-IPM. Ver. 4. Application Note PS2196X-4 series, PS2196X-T series. Mitsubishi Electric, Jan 2008. <http://www.mitsubishichips.com/Global/products/powermod/note/index.html>
13. [http://www.mitsubishichips.com/Global/products/powermod/pro\\_info/index.html](http://www.mitsubishichips.com/Global/products/powermod/pro_info/index.html)
14. <http://www.mitsubishielectric.ru/about/>