

# Особенности и параметры силовых модулей на МОП-транзисторах компании IXYS

Юрий Петропавловский (Ростовская обл.)

В статье рассмотрены номенклатура, параметры и конструктивные особенности современных силовых модулей на МОП-транзисторах компании IXYS.

Основанная в 1983 г. доктором Натаном Зоммером, компания IXYS (США) достаточно быстро заняла лидирующие позиции на рынке высоковольтных силовых полупроводниковых приборов в США. В течение ряда лет компанией был приобретён ряд производителей полупроводниковых и электронных приборов, в том числе Direct Energy Inc. (быстродействующие силовые приборы), Westcode Semiconductor Limited (приборы большой мощности), MicroWave Technology Inc. (ВЧ/СВЧ-полупроводниковые приборы и устройства), Leadis Technology Inc. (драйверы светодиодов и дисплеев), Zilog Inc. (микропроцессоры и системы на кристалле). Таким образом, компания IXYS стала одним из ведущих производителей разнообразных полупроводниковых изделий и устройств. В настоящее время продукция компании покрывает до 90% номенклатуры мирового рынка силовой электроники [1].

Компания IXYS выпускает продукцию для силовой электроники в сле-

дующих категориях: дискретные МОП-транзисторы, IGBT (биполярные транзисторы с изолированным затвором), тиристоры и модули на их основе; диоды и диодные сборки; корректоры коэффициента мощности; высоковольтные регуляторы; переключатели; приборы защиты; алюминиевые подложки DCB (Direct-Copper-Bonded); выпрямители и IGBT в корпусах для монтажа на поверхность.

В каталоге IXYS от 2011 г. представлена широкая номенклатура МОП-модулей различных конфигураций; все приборы компании разделены на группы [2]. Классификационные параметры силовых модулей приведены в таблице. В подстрочных индексах (в таблице и далее по тексту) указана температура измерения (°C).

*H-Bridge* – H-мостовые модули с n-канальными МОП-транзисторами семейства HDMOS, оппозитными (встроенными, защитными) диодами и встроенными терморезисторами с отрицательным ТКС, выполненные в корпусах ECO-PAC 2 (см. рис. 1) и V2-

Pack (см. рис. 2). Модули имеют следующие особенности:

- электрически изолированное основание, выполненное по технологии DCB, обеспечивает хороший отвод тепла от кристаллов и повышенную стойкость к термоциклированию;
- инверторы выполнены по технологии HiPerFET (семейство HDMOS) с низким сопротивлением сток-исток в открытом состоянии ( $R_{ds\ on}$ ), малым зарядом переключения затвора и высоким быстродействием;
- высокая надёжность при работе на индуктивные нагрузки (UIS, Unclamped Inductive Switching) [3];
- устойчивость к высокой скорости нарастания напряжения ( $dv/dt$  ruggedness).

Области применения приборов, рекомендованные изготовителем: драйверы приводов двигателей и источники питания; управление системами батарей и топливных элементов; автомобильное оборудование, промышленные средства передвижения (Industrial Vehicle); схемы мощных источников вторичного электропитания; схемы импульсных источников первичного электропитания (прибор VBN 40-05B со встроенным мостовым выпрямителем).

*Phase-Leg* (однофазные приборы) – модули, состоящие из двух коммутационных или n-канальных МОП-транзисторов с оппозитными диодами и терморезисторами с отрицательным ТКС (в ряде приборов). Транзисторы модулей выполнены по технологиям HiPerFET, Polar P & N-Channel, Trench P & N-Channel, PolarHV HiPerFET, Trench Gate HiperFET, TrenchT2 HiperFET в корпусах ISOPLUS i4-Pak (см. рис. 3), Y3-Li (с низкой индуктивностью соединений, см. рис. 4), Y3-DCB, Y4-M5 (прибор VMM85-02F, структура и внешний вид см. на рис. 5), TO-240AA (прибор VMM45-02F, структура и внешний вид см. на рис. 6). Изолированные основания всех модулей рассматриваемой группы реализованы по технологии DCB. Приведём основные особенности перспективных приборов группы Phase-Leg, справочные листки на которые выпущены в 2008–2011 гг.:

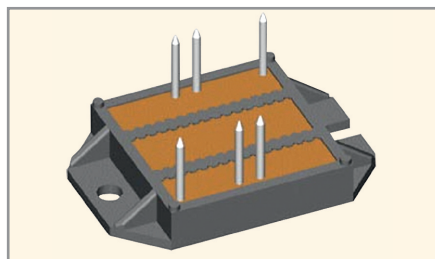


Рис. 1. Внешний вид модулей в корпусе ECO-PAC 2

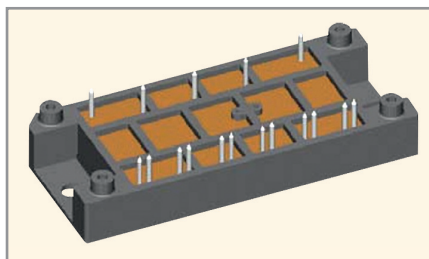


Рис. 2. Внешний вид модулей в корпусе V2-Pack

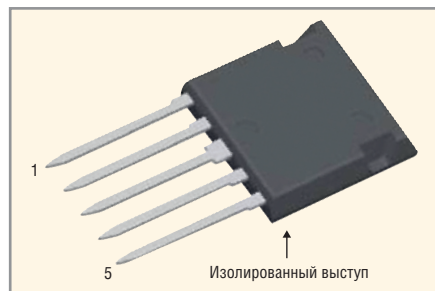


Рис. 3. Внешний вид модулей в корпусе ISOPLUS i4-Pak

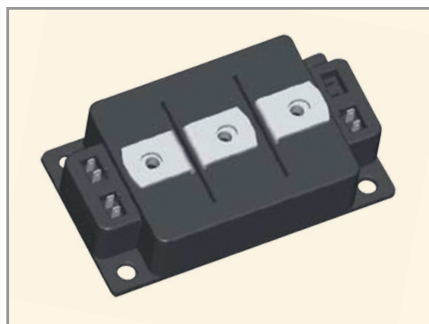


Рис. 4. Внешний вид модулей в корпусе Y3-Li

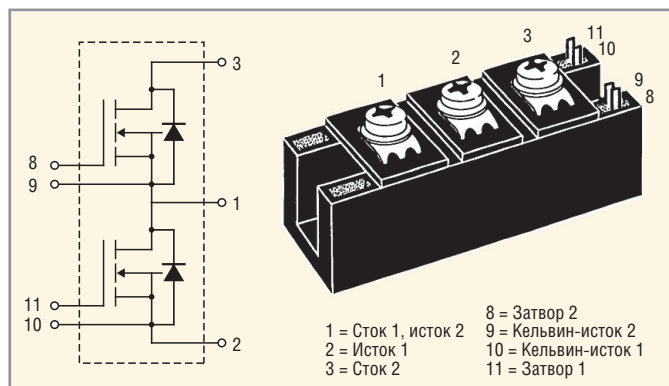


Рис. 5. Структура и внешний вид модуля VMM85-02F в корпусе Y4-M5

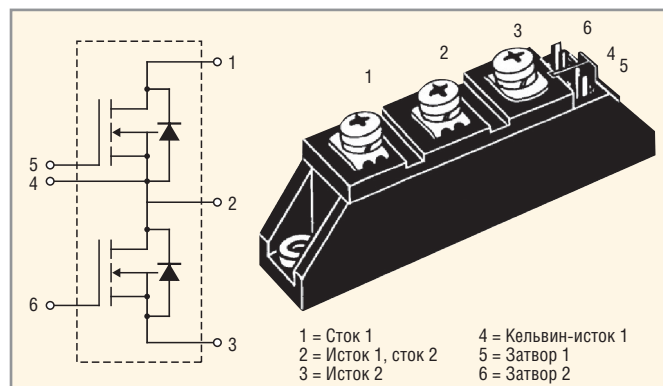


Рис. 6. Структура и внешний вид модуля VMM45-02F в корпусе TO-240AA

- малый заряд переключения затвора  $Q_g$ ;
- малые ёмкость стока/подложка и индуктивности внутренних соединений;
- высокое быстродействие;
- диапазон допустимых температур кристаллов  $-55...150^{\circ}\text{C}$ ;
- допустимое напряжение изоляции выводы/подложка 2500 В (с.к.з. 50/60 Гц, 1 мин).

Области применения модулей, рекомендованные изготовителем: драйверы электродвигателей постоянного и переменного тока, звуковые усилители (комплементарные выходные прибо-

ры), многофазные DC/DC-преобразователи, промышленные зарядные установки; импульсные источники питания; синхронные выпрямители, инверторы для источников бесперебойного питания, солнечных и ветрогенераторов, тормозные прерыватели постоянного тока.

*Trench Gate, Isoplus-DIL Trench* – в 2011 г. фирма выпустила более десяти типов модулей, выполненных на полевых транзисторах с изолированными затворами типа Trench серий GMM, GWM, VWM. В состав всех новых трёхфазных модулей входят шесть n-канальных по-

левых транзисторов с оппозитными диодами. Приборы выполнены в корпусах с прямыми выводами (SL) и для монтажа на поверхность (SMD). Изолированные основания модулей реализованы по технологии DCB, их внешний вид показан на рисунке 7, структура – на рисунке 8.

Полевые транзисторы с затворами Trench имеют примерно на 40% меньшую площадь кристаллов по сравнению с сопоставимыми по мощности приборами, выполненными по другим технологиям. В них существенно уменьшен путь протекания тока и снижены

Классификационные параметры силовых модулей компании IXYS на МОП-транзисторах

Категория	Тип прибора	Ucc, В	Ic25, А	Ic80/90, А	Rds on, мОм	tf, нс	tr, нс	Qз, нК	Rth jc, К/Вт	Структура	Стиль корпуса
H-bridge	VKM60-01P1	100	75		25	60	60		0,5	VKM	ECO-PAC 2
	VBH40-05B	500	45	33	116	80	100		0,32	VBH	V2-PACK
	VHM40-06P1	600	38	/25	70	10	95		0,45	VHM	ECO-PAC 2
	VKM40-06P1	600	38	25/25	70	10	95		0,45	VKM	ECO-PAC 2
Phase-Leg	FMP26-02P	-200	-17		170	21	33	56	1		ISOPLUS-i4-Pak
	FMP36-015P	-150	-22		110	15	31		1		ISOPLUS-i4-Pak
	FMP76-010T	-100	-54		24	20	40		0,95		ISOPLUS-i4-Pak
	FMP76-01T	-100	-54		0,024	20	40	197	0,95		ISOPLUS-i4-Pak
	FMM150-0075X2F	75	120		0,0058	15	18	178	0,88		ISOPLUS-i4-Pak
	FMM150-0075P	75	150		4,2	90	100		0,6	FMM	ISOPLUS i4-PackTM (5 выводов)
	VMM1500-0075T2	75	1500		0,55	120	170	1200	0,06	VMM	Y3-Li
	FMM75-01F	100	75		25	60	60	180	0,5	FMM	ISOPLUS-i4-PackTM (5 выводов)
	VMM650-01F	100	680		2,2	200	250	1440	0,08	VMM	Y3-Li
	FMM60-02TF	200	33		40	42	46		1		ISOPLUS-i4-Pak
	VMM45-02F	200	45		45	45	45	190	0,63	VMM	TO-240AA
	VMM85-02F	200	84		25	100	80	380	0,33	VMM	Y4-M5
	FMM50-025TF	250	30		50	25	25		1		ISOPLUS-i4-Pak
	VMM300-03F	300	290		8,6	150	400	1440	0,08	VMM	Y3-DCB
	FMM22-05PF	500	13		270	21	25		0,95		ISOPLUS-i4-Pak
	FMM22-06PF	600	12		350	23	20		0,95		ISOPLUS-i4-Pak
VMM90-09F	900	85		76	140	180	960	0,08	VMM	Y3-Li	
Trench Gate	GWM180-004 x 2-SL/SMD	40	180	/136	2,5	170	240		1	GWM/VMM	ISOPLUS-DILTM
	GWM220-004P3	40	190	/145	2	190	270		1	GWM/VMM	ISOPLUS-DILTM
	GWM160-0055X1-SL/SMD	55	150	/115	3,3	120	125		1	GWM/VMM	ISOPLUS-DILTM
	GMM3x160-0055x1-SMD	55	150	/115	3,1	100	110		1	GMM	ISOPLUS-DILTM
	GMM3x180-004X2	40	180	/136	1	170	240		1	GMM	ISOPLUS-DILTM
	GWM120-0075x1-SL/SMD	75	110	/85	4,9	100	100		1	GWM/VMM	ISOPLUS-DILTM
	GMM3x120-0075x2-SMD	75	110	/85	4,9	100	100		1	GWM/VMM	ISOPLUS-DILTM
	GWM120-0075P3	75	125	/90	5,5	100	80		1	GWM/VMM	ISOPLUS-DILTM
	VVM270-0075x2	75	270	215	2,1	15	20		0,44	GWM/VMM	V2-PACK
	VVM350-0075P	75	340	250	2,3	200	170		0,26	GWM/VMM	V2-PACK
	VMM1500-0075P	75	1500	1200	0,55	200	170		0,06	VMM	Y3-Li
	VMM1500-0075x2	75	1560	1240	0,38	880	1680		0,08	VMM	Y3-Li
	GWM100-0085x1-SL/SMD	85	103	/77	6,2				1	GWM/VMM	ISOPLUS-DILTM
	GMM100-01x1-SL/SMD	100	90	/68	8,5	55	95		1	GWM/VMM	ISOPLUS-DILTM
	GMM3x100-01x1-SMD	100	90	/68	8,5	55	95		1	GMM	ISOPLUS-DILTM
	VVM200-01P	100	210	170	3,6	100	100		0,26	GWM/VMM	V2-PACK
	VMM1000-01P	100	100	800	0,75	100	100		0,06	VMM	Y3-Li
	FMM110-015x2F	150	53		20	18	16		0,83	FMM	ISOPLUS i4-PackTM
	GMM3x60-15x1-SMD	150	57	/45	22				1	GMM	ISOPLUS-DILTM
	FMM65-015P	150	65	/50	13	100	80		0,6	FMM	ISOPLUS-i4-PackTM (5 выводов)
Boost and Buck	IXFN100N10S1	100	100	/75	12	30	70		0,35	Copack (FRD)	SOT-227B
	IXFN100N10S2	100	100	/75	12	30	70		0,35	Boost	SOT-227B
	IXFN100N10S3	100	100	/75	12	30	70		0,35	Buck	SOT-227B
	FMD21-05QC	500	21	/15	220	15	70		0,5	Boost	ISOPLUS i4-PACTM
	IXFE44N50QD2	500	39	/29	120	10	22		0,31	Boost	ISOPLUS227TM
	IXFE44N50QD3	500	39	/29	120	10	22		0,31	Buck	ISOPLUS227TM
	IXFE48N50QD2	500	41	/31	110	10	22		0,31	Boost	ISOPLUS227TM
	IXFE48N50QD3	500	41	/31	110	10	22		0,31	Buck	ISOPLUS227TM
	IXFN44N50U2	500	44	/33	120	30	60		0,24	Boost	SOT-227B
	IXFN44N50U3	500	44	/33	120	30	60		0,24	Buck	SOT-227B
	IXFN48N50U2	500	48	/36	100	30	60		0,24	Boost	SOT-227B
	IXFN48N50U3	500	48	/36	100	30	60		0,24	Buck	SOT-227B
	IXFN6450PD2	500	50		0,085	22	25		0,2	Boost	SOT-227B
	IXFN6450PD3	500	50		0,085	22	25		0,2	Boost	SOT-227B
	FDM15-06KC5	600	15	/11	165	5	5		1,1	Buck	ISOPLUS i4-PACTM
	FMD15-06KC5	600	15	/11	165	5	5		1,1	Boost	ISOPLUS i4-PACTM
	MKE11R600DCGFC	600	15	/11	165	4	6		1,1	Boost/SiC diod	ISOPLUS i4-PACTM
	FMD40-06KC	600	38	/25	70	10	30		0,45	Boost	ISOPLUS i4-PACTM
FDM47-06KC5	600	47	/32	45	10	20		0,45	Buck	ISOPLUS i4-PACTM	
FMD47-06KC5	600	47	/32	45	10	20		0,45	Boost	ISOPLUS i4-PACTM	
Dual Switch	VMK165-007T	70	165		7	110	280		0,32	VMK/FMK	TO-240AA
	VMK90-02T2	200	83	60	25	100	80		0,33	VMK/FMK	TO-240AA
Single Switch	VMO550-01F	100	590	440	2,1	200	500		0,057	Single	Y3-DCB
	VMO650-01F	100	690	520	1,8	200	500		0,048	Single	Y3-DCB
	VMO1200-01F	100	1220	970	1,25	1020	1620		0,053	Single	Y3-Li
	VMO580-02F	200	580	430	3,8	350	500		0,05	Single	Y3-Li
	VMO1600-02P	200	1900	1600	1,7	700	1220		0,03	Single	Y3-Li
	VMO60-05F	500	60	37	75	30	45		0,21	Single	TO-240AA

потери на проводимость. В большей степени преимущества Trench-транзисторов проявляются для самых мощных приборов, однако основной выигрыш эта технология даёт при работе на высоких частотах переключения.

Для современной электроники требуются силовые приборы (и модули), обеспечивающие преобразование напряжения на частотах выше 100 кГц, коммутацию тока до 200 А и более, высокую устойчивость к лавинному пробое. Для низковольтных цепей автомобильного электрооборудования перечисленным выше требованиям удовлетворяют силовые полевые транзисторы. Традиционная планарная технология двойной диффузии с горизонтальным каналом позволяет изготавливать транзисторы с  $R_{ds\ on}$  2,3...3,6 мОм и пробивным напряжением 40 В. При токах более 100 А даже при таком низком внутреннем сопротивлении потери мощности превышают 20...30 Вт. Поэтому принципиально важно уменьшить внутреннее сопротивление транзисторов даже на несколько десятых ома. Однако дальнейшее увеличение площади кристал-

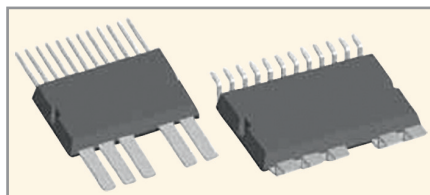


Рис. 7. Внешний вид модулей в корпусах Isoplus-DIL

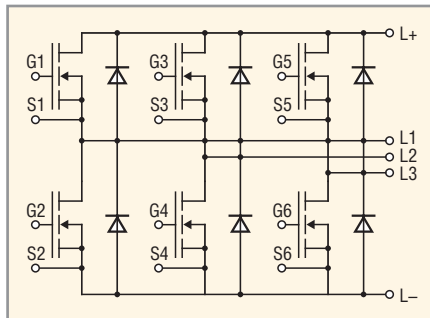


Рис. 8. Структура модулей серий GMM, GWM, VWM

лов транзисторов ограничено габаритами корпуса и ростом входной ёмкости, что приводит к снижению быстродействия и увеличению мощности в цепях управления.

Конструктивной особенностью кристаллов Trench-транзисторов является

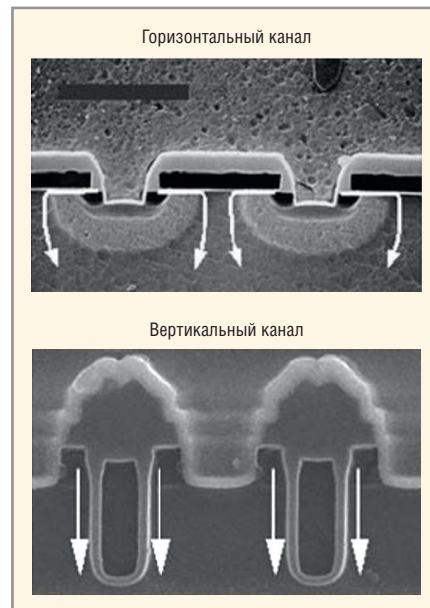


Рис. 9. Структуры кристаллов МОП-транзисторов с горизонтальным и вертикальным каналами

с вертикальное расположение канала, создаваемого на стенках канавок (Trench), которыми прорезываются пластины (предварительно сформированные двойной диффузией области истока  $p^+$  и более глубокие области канала  $p$ ). На рисунке 9 показаны попе-

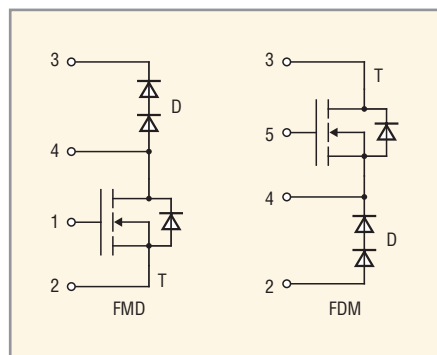


Рис. 10. Структуры модулей серий FMD, FDM

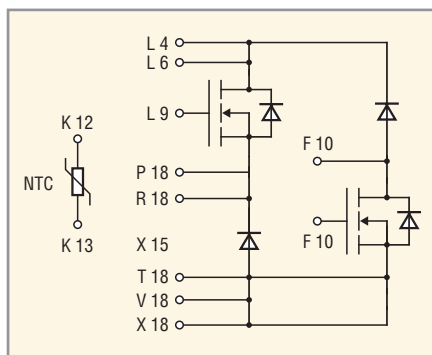


Рис. 11. Структура модуля VHM 40-06P1

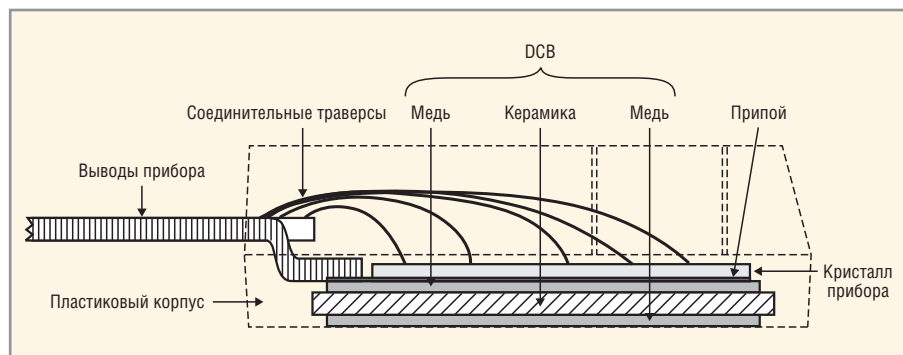


Рис. 12. Устройство приборов с основанием DCB

речные структуры кристаллов транзисторов с горизонтальным и вертикальными каналами; стрелками отмечено направление тока. Носители зарядов в структурах с вертикальным каналом движутся только в вертикальном направлении, в структурах с горизонтальным каналом – в горизонтальном направлении вдоль планарной поверхности и затем вертикально в дрейфовой области стока, и проходят при этом гораздо больший путь. Приборы с вертикальными каналами характеризуются следующими особенностями:

- в структурах, формируемых по Trench-технологии, достигается максимальная плотность ячеек на единицу площади, что обеспечивает увеличение общей ширины канала;
- в Trench-транзисторах отсутствует присущее планарным конструкциям «сжатие» верхней дрейфовой части стока областями пространственного заряда соседних ячеек;
- в структурах с вертикальным каналом в режиме обратного смещения и лавинного пробоя практически отсутствует горизонтальная составляющая тока вдоль истока  $n^+$ ; в горизонтальных структурах это является причиной включения паразитного биполярного транзистора и развития разрушающего лавинного процесса;

- конструктивные особенности вертикального затвора обеспечивают улучшение зарядовых характеристик и снижение времени восстановления обратного сопротивления встроенного диода;
- сопротивление  $R_{ds\ on}$  для Trench-транзисторов примерно на 40% меньше, чем у планарных аналогов [4].

Новые (2011 г.) приборы Trench MOSFET серий GMM, GWM, VWM имеют следующие особенности:

- низкое сопротивление  $R_{ds\ on}$ ;
- оптимизированные параметры встроенных антипараллельных диодов;
- высокая степень интеграции;
- большие рабочие токи (для серии GWM до 300 А);
- вспомогательные выводы для контроля параметров пайки или сварки и доступа ко всем электродам транзисторов модулей;
- изолированное основание DCB с оптимизированными параметрами отвода тепла;
- малые габариты и вес;
- два типа выводов приборов серии GWM – прямые (SL – Straight Leads) и для монтажа на поверхность (SMD);
- новые модули серии VWM выполнены в корпусах V2-Pack (см. рис. 2).

Основные области применения модулей серий GMM, GWM, VWM, рекомендованные изготовителем: драйве-

ры систем управления рулём автомобилей, драйверы стартеров двигателей, драйверы силовых промышленных установок, драйверы вилочных погрузчиков, оборудование с питанием от аккумуляторов.

На основе приборов Trench MOSFET выполнены и модули компании более ранних разработок (2009 и 2010 гг.), например, VMM 1500-0075X2 (2010 г.) содержит два последовательно включённых МОП-транзистора с оппозитными диодами и выполнен в корпусе Y3-Li (см. рис. 4). Прибор характеризуется очень низким сопротивлением  $R_{ds\ on}$  (0,38 мОм) при токе 1560 А. Области применения модуля: компактные драйверы большой мощности главных и вспомогательных электрических двигателей переменного тока; четырёхквadrантные драйверы постоянного тока большой мощности; источники питания с низким входным напряжением (топливные и солнечные элементы и т.п.).

*Boost and Buck* – модули различных конфигураций, в состав которых входят одиночный МОП-транзистор и дополнительные диоды, выполненные в различных корпусах. Новые приборы серий FMD, FDM (2008–2010 гг.) выполнены в корпусах ISOPLUS i4 (см. рис. 3), структура модулей приведена на рисунке 10. Приборы имеют следующие особенности:

- технология CoolMOS фирмы Infineon (3-го и 4-го поколения);
- высокое блокирующее напряжение и малое сопротивление  $R_{ds\ on}$ ;
- нормированные лавинные параметры при подключении индуктивной нагрузки (UIS);
- повышенная плотность мощности (Enhanced Total Power density);
- низкое тепловое сопротивление вследствие малой толщины кристалла;
- встроенные диодные сборки HiPerDyn FRED, состоящие из нескольких последовательно соединённых диодов и обеспечивающие высокие динамические характеристики и рабочие частоты;
- изолированная подложка, выполненная по технологии DCB, обеспечивает большую мощность рассеяния, напряжение изоляции 2500 В и малую (менее 40 пФ) ёмкость сток/основание.

Основные области применения модулей: выходные каскады импульсных источников питания (SMPS), источни-

ки бесперебойного питания, корректоры фактора мощности.

*Dual Switch Common Source/Single Switch* – сдвоенные или одиночные МОП-транзисторы со встроенными оппозитными диодами; для новых разработок предназначены только два прибора – VMO1200-01F и VMO1600-02P, – выполненные в корпусах Y3-Li (см. рис. 4, один вывод отсутствует). Модули изготовлены по технологии PolarHT, которая обеспечивает очень низкое сопротивление  $R_{ds\ on}$  и устойчивость к высоким значениям  $dv/dt$ . Приборы предназначены для использования в драйверах большой мощности главных и вспомогательных электрических двигателей переменного тока, драйверах постоянного тока и источниках питания.

Рассмотрим особенности и параметры некоторых перспективных модулей более подробно.

*VHM 40-06P1* (2009 г.), группа H-Bridge. Структура модуля приведена на рисунке 11. Прибор выполнен в корпусе ECO-PAC 2 на изолированном основании DCB. Подложки DCB применяют многие производители полупроводников; устройство одного из приборов с таким основанием показано на рисунке 12. Подложка DCB выполняется из керамики с изоляцией  $Al_2O_3$  или AlN, имеющей высокие значения теплопроводности и напряжения изоляции. Для изготовления подложки на медную пластину толщиной порядка сотен микрон при температуре свыше  $1000^\circ C$  сверху и снизу наплавляют изолирующий материал. Кристаллы модуля припаиваются к верхней части подложки, а её нижняя часть припаивается к основной пластине модуля толщиной в несколько миллиметров. Достоинства технологии DCB: хорошая изоляция кристаллов модулей от главного основания; небольшая емкостная связь с главным основанием способствует уменьшению уровня электромагнитных помех; большая мощность рассеяния; хорошая стойкость к термоциклированию конструкции кристалл/подложка; возможность пайки выводов модулей к изолирующему слою подложки [5, 6].

В модулях применены быстродействующие полевые транзисторы, выполненные по технологии CoolMOS и характеризующиеся высокой стойкостью к блокировке, низким сопро-

тивлением  $R_{ds\ on}$ , нормированными лавинными параметрами при коммутации индуктивных нагрузок (UIC), низким тепловым сопротивлением. Основные параметры прибора (кроме приведённых в таблице):

- максимальное значение  $dv/dt$  составляет 6 В/нс;
- заряд затвора  $Q_g/Q_{gs}/Q_{gd}$  – 220/55/125 нК (типичные значения при  $U_{зи} = 10$  В,  $U_{сн} = 350$  В,  $I_c = 50$  А,  $T = 25^\circ C$ );
- время задержки включения/выключения  $t_{d(on/off)}$  30/100 нс;
- параметры оппозитных диодов:  $U_{пр} = 1$  В;  $I_{пр\ макс} = 47$  А;  $t_{rr} = 80$  нс;  $Q_{rr} = 3$  мКК;
- параметры обратных диодов (FRED):  $I_{пр80} = 12$  А;  $t_{rr} = 70$  нс;  $R_{thjc} = 0,35^\circ K/W$ ;
- параметры терморезистора с отрицательным ТКС  $R_{25} = 5$  кОм,  $B_{25/50} = 3375^\circ K$ ;
- допустимые рабочие температуры кристаллов модуля  $-40...150^\circ C$ .

*FMP26-02P* (2011 г.), группа Phase-Leg. Структура модуля приведена на рисунке 13, прибор выполнен в корпусе ISOPLUS i4-Pak с изолированным основанием DCB. В состав прибора входит комплементарная пара полевых транзисторов с общим стоком и оппозитными диодами, выполненная по технологии Polar P & N-Channel. Транзисторы модуля отличаются низкими зарядами затвора, малыми ёмкостями сток/основание

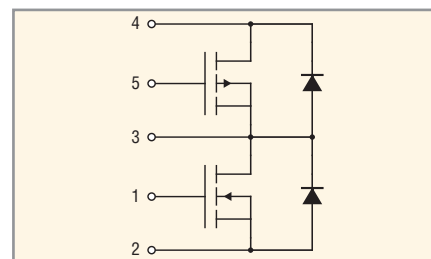


Рис. 13. Структура модуля FMP26-02P

и высоким изолирующим напряжением (2500 В). Основные параметры модуля (кроме приведённых в таблице):

- диапазон рабочих температур кристаллов  $T_{vj} -55...150^\circ C$ ;
- параметры р-канального транзистора:
  - мощность рассеяния  $P_{расс} = 25...125$  Вт,
  - время задержки включения/выключения  $t_{d(on/off)} = 18/46$  нс,
  - заряд затвора  $Q_g/Q_{gs}/Q_{gd} = 56/18/20$  нК,
  - параметры оппозитного диода:  $U_{пр} = -3,2$  В,  $I_{пр\ макс} = -17$  А,  $t_{rr} = 240$  нс;
- параметры n-канального транзистора:
  - напряжение сток/исток  $U_c = 200$  В;
  - ток стока  $I_{c25} = 26$  А,
  - мощность рассеяния  $P_{расс} = 25...125$  Вт,
  - время задержки включения/выключения 26/70 нс,
  - заряд затвора  $Q_g/Q_{gs}/Q_{gd} = 70/17/37$  нК,

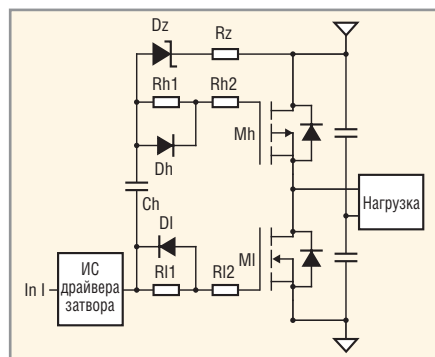


Рис. 14. Схема включения модуля FMP26-02P

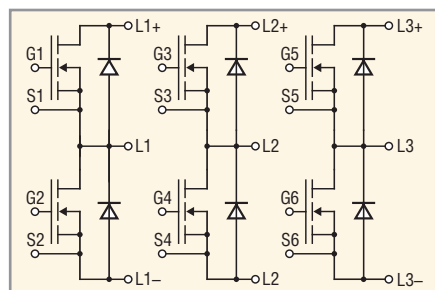


Рис. 15. Структура модуля GMM 3x180-004X2

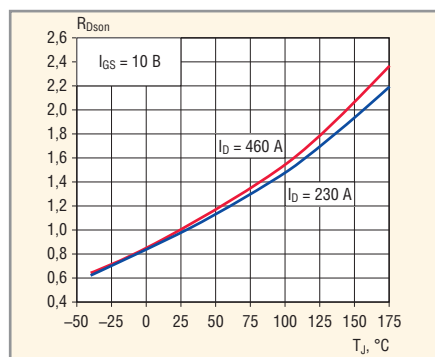


Рис. 16. Зависимости нормированного сопротивления Rds on модуля VWM 270-0075X2 от температуры перехода

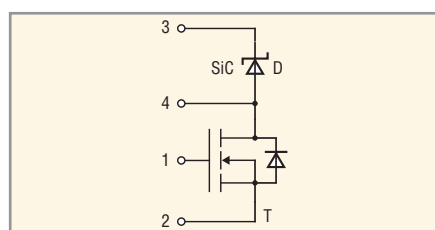


Рис. 17. Структура модуля MKE 11R6DCGFC

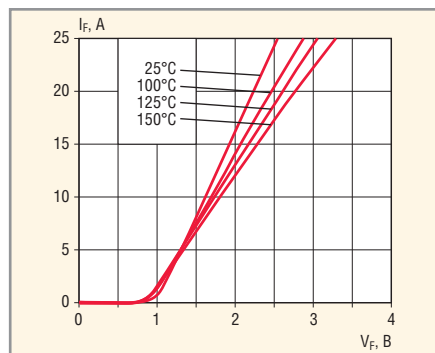


Рис. 18. Зависимость прямого тока ускоряющего диода модуля MKE 11R6DCGFC от прямого напряжения

– параметры оппозитного диода:  
 $U_{пр} = 1,5 \text{ В}$ ,  $I_{пр макс} = 26 \text{ А}$ ,  $t_{rr} = 150 \text{ нс}$ .

Главным преимуществом р-канальных транзисторов является простота управления в схемах верхнего ключа. Источник питания для них может быть однополярным, в то время как управление п-канальными транзисторами возможно с помощью изолированного драйвера либо импульсного трансформатора. Пример схемы включения модуля с одним драйвером управления приведён на рисунке 14 [7].

GMM 3x180-004X2 (2011), группа Trench Gate. Структура этого полномостового трёхфазного модуля приведена на рисунке 15. Прибор отличается полностью изолированными плечами моста (питание на каждую фазу может подаваться отдельно по выводам L+, L-). Транзисторы Trench MOSFET модуля отличаются очень низким сопротивлением  $R_{ds on} = 2,8 \text{ мОм}$  при  $T_{vj} = 125^\circ\text{C}$  и токе 120 А и большим температурным диапазоном ( $T_{vj} = -55...175^\circ\text{C}$ ). В приборах применены оппозитные диоды с оптимизированными параметрами для достижения минимальных потерь переключения. Основные параметры модуля (за исключением приведённых в таблице):

- параметры Trench MOSFET:
  - заряд затвора  $Qg/Qgs/Qgd$  110/33/30 нК,
  - время задержки включения/выключения  $t_{d(on/off)}$  150/350 нс;
  - энергия включения/выключения  $E_{on}/E_{off}$  0,12/0,51 мДж,
- параметры оппозитных диодов при  $T = 125^\circ\text{C}$ :
  - $t_{rr} = 38 \text{ нс}$ ,  $Q_{rm} = 0,31 \text{ мкК}$ ,  $U_{пр} = 0,9 \text{ В}$  (при  $I_{пр} = 100 \text{ А}$ ).

GWM 180-004X2 (2011 г.), группа Trench Gate. Структура модуля приведена на рисунке 8 (прибор имеет общие цепи питания всех трёх фаз). Приборы выпускаются в двух исполнениях – с прямыми выводами и для монтажа на поверхность. Основные параметры модуля практически не отличаются от соответствующих параметров модуля GMM3x180-004X2.

VWM 270-0075X2 (2011 г.), группа Trench Gate. Структура модуля соответствует приведённой на рисунке 8. Прибор выполнен в корпусе V2-Pack (см. рис. 2) и отличается очень низким сопротивлением  $R_{ds on}$  – не более 2,1 мОм при  $I_c = 100 \text{ А}$ . Параметры Trench MOSFET при  $I_c = 230 \text{ А}$ ,  $R_3 = 10 \text{ Ом}$ ,  $T = 125^\circ\text{C}$ :

- заряд затвора  $Qg/Qgs/Qgd$  360/105/80 нК;
- время задержки включения/выключения  $t_{d(on/off)}$  145/410 нс;
- энергия включения/выключения 0,3/2,95 мДж.

Параметры оппозитных диодов при  $T = 25^\circ\text{C}$ :

- $t_{rr} = 85 \text{ нс}$ ,  $Q_{rm} = 2,2 \text{ мкК}$ ,  $U_{пр}$  не более 1,1 В;
- диапазон рабочих температур кристаллов  $T_{vj} -40...175^\circ\text{C}$ .

Зависимости нормированного сопротивления  $R_{ds on}$  от температуры модуля при различных токах приведены на рисунке 16.

MKE 11R600DCGFC (2010 г.), группа Boost and Buck. Структура модуля, выполненного в корпусе ISOPLUS i4 с основанием DCB (см. рис. 3), приведена на рисунке 17. В приборе реализована интеграция технологии на основе карбида кремния (SiC) и технологии Super Junction MOSFET CoolMOS четвёртого поколения фирмы Infineon в корпусе ISOPLUS i4. Модуль обладает повышенными предельной плотностью мощности и эффективностью в таких приложениях, как импульсные источники питания (SPMS) с быстрой коммутацией, инверторы солнечных батарей и популярные у разработчиков узлы boost-chopper корректоров коэффициента мощности для высокочастотных приложений. Из-за отсутствия инжекции неосновных носителей зарядов в SiC, встроенный ускоряющий диод имеет минимальное время восстановления обратного сопротивления, что уменьшает потери на переключение. Использование технологии Isoplus позволяет расположить транзистор и диод очень близко друг к другу и таким образом минимизировать паразитную индуктивность [8]. Основные параметры модуля (за исключением приведённых в таблице):

- параметры MOSFET при  $I_c = 12 \text{ А}$ ,  $R_3 = 10 \text{ Ом}$ ,  $T = 125^\circ\text{C}$ :
  - допустимое значение  $dv/dt$  50 В/нс,
  - заряд затвора  $Qg/Qgs/Qgd$  40/9/13 нК,
  - время задержки включения/выключения  $t_{d(on/off)}$  12/75 нс,
  - энергия включения/выключения  $E_{on}/E_{off}$  0,09/0,01 мДж;
- параметры оппозитного диода при  $T = 25^\circ\text{C}$ ,  $I_{пр} = 12 \text{ А}$ ,  $di/dt = 100 \text{ А/мкс}$ ,  $U_{обр} = 400 \text{ В}$ :
  - $t_{rr} = 390 \text{ нс}$ ,  $Q_{rm} = 7,5 \text{ мкК}$ ,  $U_{пр} = 0,9 \text{ В}$ ;
- параметры ускоряющего диода SiC:

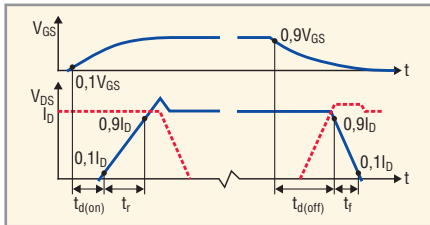


Рис. 19. Временные характеристики модуля MKE 11R6DCGFC

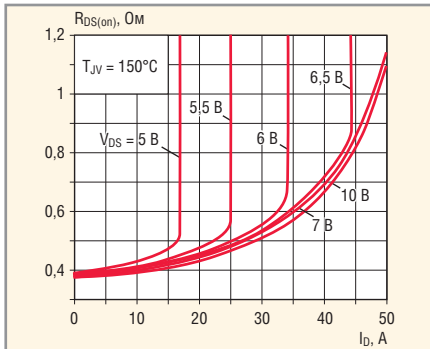


Рис. 20. Зависимости сопротивления  $R_{DS\ on}$  модуля MKE 11R6DCGFC от тока стока

- $U_{обр} = 600\text{ В}$  ( $T = 25...150^\circ\text{C}$ ),  $I_{пр25/90} = 15/9,5\text{ А}$ ,
- $U_{пр}$  не более  $1,9\text{ В}$  ( $T = 25...150^\circ\text{C}$ ),
- $Q_c = 19\text{ нК}$ ,  $t_c$  не более  $10\text{ нс}$  (при  $T = 150^\circ\text{C}$ ,  $di/dt = 200\text{ А/мкс}$ ,  $U_{обр} = 400\text{ В}$ ,  $I_{пр} = I_{макс}$ );

● диапазон рабочих температур модуля  $T_{vj}$  составляет  $-55...150^\circ\text{C}$ .

Зависимости прямого тока ускоряющего диода модуля от прямого напряжения при различных температурах приведены на рисунке 18. Временные характеристики модуля приведены на рисунке 19. На рисунке 20 показаны зависимости сопротивления  $R_{DS\ on}$  модуля от тока стока при различных напряжениях сток-исток.

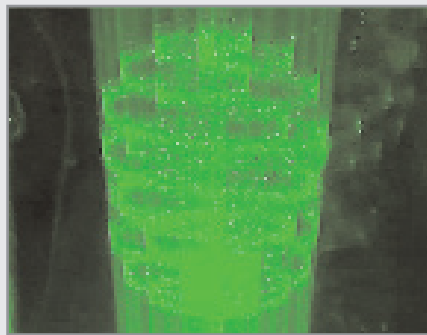
## ЛИТЕРАТУРА

1. <http://www.ixys.com/Corporate/history.aspx>.
2. <http://www.ixys.com/ProductPortfolio/PowerDevices.aspx>.
3. <http://www.fairchildsemi.com/onlineseminars/unclampedInductiveSwitchingEnvironment.pdf>.
4. Голубев Н. Новая технология полевых МОП-транзисторов для современной автомобильной электроники. Силовая электроника. 2004. № 1.
5. [http://www.tu-chemnitz.de/etit/le/downloads/amro/amro\\_pesc04\\_homepage.pdf](http://www.tu-chemnitz.de/etit/le/downloads/amro/amro_pesc04_homepage.pdf).
6. [http://www.gaw.ru/html.cgi/txt/doc/transistor/igbt\\_semi/2\\_4\\_1.htm](http://www.gaw.ru/html.cgi/txt/doc/transistor/igbt_semi/2_4_1.htm).
7. Абдус Самтар. Применение новой серии р-канальных MOSFET-транзисторов компании IXYS. Силовая электроника. 2009. № 2.

## Новости мира News of the World

### True 3D: парящее в воздухе объёмное изображение

Представленный компанией Burton дисплей True 3D позволяет создавать светящиеся пиксели в любой точке трёхмерного пространства в воздухе или в воде. В основе системы лежит модернизированная версия технологии, совместно разработанной учёными японского института AIST и университета Кэйю, впервые она была анонсирована в 2006 г. Фокусируя лазерный луч в какой-то одной точке, система создаёт плазменное возбуждение кислорода и азота в воздухе и вызывает свечение.



Учёные говорят, что это первая в мире технология, позволяющая создавать изображение даже без какого-то подобия дисплея. Большинство современных 3D-систем создаёт картинку на двухмерном экране, и она кажется трёхмерной из-за оптической иллюзии, которая производит разные изображения для левого и правого глаза. Однако в данном случае изображение получается прямо в воздухе, оно полностью трёхмерно, и объёмные предметы выглядят натурально.

Текущая версия системы создаёт порядка 50 тыс. точек в секунду, частота смены кадров составляет примерно 10–15 в секунду, сейчас учёные работают над увеличением этого показателя до 24–30 кадров в секунду. Создание картинки в водной среде более экономично в аспекте потребления энергии, а в воздухе требуется более мощный лазер. Проще всего работать с зелёным лазером, однако если использовать комбинацию красного, зелёного и синего, можно добиться полноцветного изображения. Возможностей практического применения данной технологии поистине бесчисленное множество, но прежде её нужно будет усовершенствовать, увеличить разрешение и частоту смены кадров, чтобы картинка смотрелась правдоподобно.

<http://www.diginfo.tv/>

### Цены на NAND-чипы продолжили падать в конце ноября

Согласно данным аналитического агентства DRAMeXchange, контрактные цены на микросхемы NAND продолжили снижаться во второй половине ноября. Рост заказов на SSD-диски стимулирует спрос на чипы, но из-за перепроизводства цены медленно идут ко дну.

С одной стороны, как отмечают аналитики, наводнение в Таиланде привело к дефициту жёстких дисков и, соответственно, последующему росту спроса на SSD-накопители, использующие NAND-память. С другой стороны, перебои с поставками цифровых камер вызвали падение спроса на флэш-карты. Совокупные поставки NAND-чипов для ПК, смартфонов и планшетов оказались низкими в конце прошлого месяца.

Контрактные цены на MLC-чипы mainstream-сегмента упали в среднем на 4...6%, при этом наибольший отрицательный скачок зафиксирован среди микросхем ёмкостью 32 Гбит.

<http://www.digitimes.com>

### Доходы большинства производителей ЖК-панелей упали в октябре

Отраслевые источники считают, что производители жидкокристаллических панелей переживают сейчас свои чёрные дни, но уже в следующем году, по их мнению, может появиться свет в конце туннеля.

В октябре доходы компании AU Optronics (AUO) снизились на 5,2%. Chunghwa Picture Tubes (CPT) также показала спад на уровне 2,6%, а вот доходы HannStar, наоборот, хоть и незначительно, но выросли – на 0,6%.

Совокупные объёмы поставок крупных панелей AUO в прошедшем месяце составили 9,03 млн., что на 8,6% меньше, чем в сентябре. Отгрузки панелей малого и среднего размера снизились на 11,9%. У CPT ситуация немного лучше. Несмотря на то что поставки её крупных панелей также упали, в сегменте малых и средних панелей зафиксирован рост на уровне 1,8%. Всего на этот рынок CPT отгрузила 52,5 млн. панелей. Хотя доходы HannStar немного увеличились, её объёмы поставок панелей в октябре уменьшились на 7,4% – до 37,64 млн.

Сейчас в Северной Америке в отрасли ЖК-телевизоров наблюдается традиционный сезонный подъём. Цены на крупные панели стабилизировались, и обозреватели надеются, что это продлится до первого квартала 2012 г., после чего цены и начнут повышаться.

<http://www.digitimes.com>