

Интеллектуальная силовая электроника:

Вчера, сегодня, завтра

Одна из бурно развивающихся областей электроники в XXI веке — это силовая электроника. Наиболее перспективным направлением в ней являются интеллектуальные силовые компоненты: интегрированные силовые микросхемы, ключи и модули. Сегодня данный процесс стремительно происходит благодаря успехам в совершенствовании технологии изготовления и, как следствие, значительному улучшению параметров мощных полевых транзисторов (MOSFET), биполярных транзисторов с изолированным затвором (IGBT), силовых драйверов более высокой степени интеграции. Интеграция схем управления (драйверов, контроллеров) в силовые ключи и затем в исполнительные устройства и механизмы стала и необходимым, и оправданным шагом. В настоящее время, а тем более в будущем, интеллектуальным силовым компонентам в силовой электронике альтернативы не предвидится.

Владимир Ланцов

vvlantsov@list.ru

**Саркис Эраносян,
К. Т. Н.**

sarkiseran@svs.ru

История возникновения интеллектуальных силовых компонентов

В конце XX века бурное развитие получили такие секторы рынка электроники, как компьютерные и программные продукты, — другими словами, все, что называется компьютерными технологиями. То же самое можно сказать о мобильной связи, об интернет-технологиях, включая приложения для промышленности, силовой электроники. Но если, по оценкам специалистов, первые из упомянутых областей электроники прошли или уже проходят свой пик, то подъем силовой электроники только начинается. Такое положение связано не только с усовершенствованием всех систем энергоснабжения и энергопотребления (эффективность — бесперебойность электропитания, его надежность и живучесть), но и с глобальными задачами повышения их экономичности на фоне постоянного роста потребности в электроэнергии и цен на энергоносители. Поэтому многие специалисты считают XXI век эпохой силовой электроники.

Первая информация о «разумных» силовых микросхемах появилась в статье Г. Бирмана «Начало промышленного выпуска «разумных» мощных ИС» в 1985 году в журнале «Электроника» («Electronics»). По нашему мнению, начальный период развития интеллектуальных силовых компонентов составляет по разным оценкам 10–12 лет. Поиск перспективных типов мощных интегральных схем (ИС) для систем преобразования энергии привел к появлению нового класса полупроводниковых приборов на основе так называемых «разумных» (иначе они называются интеллектуальными — *smart*) мощных интегральных схем (**Smartpower**).

Структура «разумных» силовых ИС представляла собой сочетание на одном кристалле силовых элементов с логическими и аналоговыми ИС. Это, в частности, могут быть логические CMOS (КМОП) — структуры с высокой плотностью элементов, прецизионные биполярные линейные схемы, мощные биполярные или полевые транзисторы с изолирован-

ным затвором (МОПТ или MOSFET). Также могут использоваться стабилитроны, поликремниевые и другие резисторы, оксидно-полупроводниковые, керамические конденсаторы и т. д. [1, 2]. Предполагалось, что **Smartpower** найдут широкое применение в автономных импульсных источниках питания, стабилизаторах напряжения, в регуляторах скорости электродвигателей, в автомобильной электронике и т. п. Рынок сбыта таких микросхем оценивался для того времени достаточно высоко — от \$8 млн в 1985 до \$80 млн в 1986 году. В дальнейшем, по прогнозу Артура Фьюри (фирма Siliconix), к 1992 году общий объем продаж данных ИС должен был достичь \$1,2 млрд [3]. Как показала практика, подобный оптимизм не оправдался. Фактически все ограничилось выпуском сравнительно небольшой номенклатуры специальных устройств. Рассмотрим для примера интеллектуальные силовые микросхемы фирмы STMicroelectronics семейства **L290** [4].

Все микросхемы выполнены в мощных 15-выводных корпусах с однорядным расположением выводов. Силовое питание 5(12)–40(46) В. Выходная мощность — до 160 Вт в импульсе при напряжении питания 40(46) В и выходном токе до 4 А. В микросхемах предусмотрена защита от токовых перегрузок и К.З., от перегрева и другие функции, выходные ключевые каскады — на мощных биполярных транзисторах. Силовые (замыкающие) диоды, используемые при работе на индуктивную нагрузку, в состав не входят и устанавливаются извне. Микросхема **L294** представляет собой одноканальный драйвер для управления нагревательными и электромагнитными (соленоиды) устройствами по релейному закону. Микросхема **L295** — это двухканальный драйвер аналогичного типа. С помощью двух таких микросхем уже можно управлять шаговым двигателем. Микросхема **L296** была первым мощным монолитным (твердотельным) интегральным стабилизатором в пластиковом корпусе. Регулирование напряжения осуществляется на основе широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Кроме стабилизации напряжения **L296**

могла использоваться для стабилизации тока специальных источников света, скорости вращения электродвигателей постоянного тока и в других целях.

Укажем и на ряд импульсных источников вторичного электропитания (ИВЭ) мощностью до 240 Вт (Λ) со встроенной схемой ограничения по току и защиты от перегрева, на сборки высоковольтных (500 В) транзисторов на одном кристалле. В том же ряду можно отметить выпуск моделей **Smartpower** упомянутой фирмы Silconix [5]. Например, **Smartpower** — кристалл ИС типа **DG568/569** содержал матрицу, состоящую из 500 ячеек CMOS-вентилей, а также восемь мощных MOSFET на 200 В. Как пример максимального приближения приборов **Smartpower** к интеллектуальным (интегрированным) силовым модулям назовем Integrated Power Modules (**IPM**), а также отметим разработки фирмы Omnirel. Прибор типа **OM9015FS** — это комбинация мощных полупроводниковых приборов в миниатюрных и герметичных толстопленочных модулях с улучшенными тепловыми характеристиками. Мощные элементы, дополненные схемами управления, образовывали практически законченную схему источника питания без моточных элементов.

К середине 1990-х параллельно с интеллектуальными силовыми микросхемами зарубежные фирмы стали разрабатывать более продвинутое модели «самозащитных» интеллектуальных силовых ключей. Эти ключи, также называемые *Integrating Power Switches* — **IPS**, создавались уже не на биполярных транзисторах, а на более совершенных и надежных MOSFET. К их числу относятся низковольтные (50–70 В), **TOPFET** (*Temperature and Overload Protection*), **PROFET** (*PROtected*) и другие **Smart Switches**. В силовой MOSFET-ключ была встроена схема защиты от различных перегрузок с выполнением и других «разумных» функций. Вот некоторые из них: токовое ограничение выхода и защита от К.З.; защита от перегрева; защита от перенапряжений и К.З. по цепи питания управления; детектирование (диагностика) разрыва цепи нагрузки, быстрое размагничивание сердечника индуктивной нагрузки (трансформатор).

В качестве примеров можно привести такие модели низковольтных **IPS** общего назначения, как **VNP20N07** (STMicroelectronics), **BUK106-50L** (Philips), **BTS442E2** (Infineon/Siemens) [6]. Наиболее широко они стали применяться в автомобильной электронике, для управления различными электромеханическими устройствами (электродвигатели, соленоиды, заслонки) и в других целях. В частности, в **BTS442E2** силовой MOSFET-ключ имеет напряжение сток-исток $U_{DS\max} = 60$ В, ток стока $I_{D\max} = 21$ А (70 А при К.З.), мощность рассеивания $P_{D\max} = 125$ Вт, типовое сопротивление открытого канала сток-исток $R_{DS\,on} = 0,02$ Ом.

Тогда же ведущие фирмы Siemens, Toshiba, Motorola, International Rectifier и прочие начинают промышленный выпуск интеллектуальных (интегрированных) силовых модулей (**IPM**). Модули представляют собой комбинацию (полумосты и мосты, одно- и трехфазные) мощных высоковольтных MOSFET (500 В) или

IGBT (600–1200 В) с силовыми диодами (антипараллельными, свободными). Модули выполнялись в специальных корпусах, в которых все выводы электрически изолированы от металлического основания.

Начальный период развития интеллектуальных силовых компонентов условно закончился в 1994–1995 годах. Подведем некоторые итоги данного периода. Чрезмерный оптимизм относительно рынка сбыта подобных приборов не подтвердился, а энтузиазм разработчиков и изготовителей «разумных» мощных микросхем оказался недостаточным. В чем основные причины «торможения» этого направления мощной электроники? По нашему мнению, прежде всего в высоких ценах на наиболее сложные изделия, в неподготовленности широкого круга потребителей к восприятию новых идей и продуктов, а главное — к их применению. Следует принять во внимание и сравнительно невысокий, по современным меркам, уровень параметров мощных силовых ключей с преобладанием в их массе биполярных транзисторов; несовершенный уровень технологии и компонентов сборки (чипов, SMD-компонентов). Правдоподобно выглядит и другая версия «противодействия» развитию этого направления микроэлектроники: «саботаж» со стороны производителей «рассыпных» компонентов — транзисторов, диодов, микросхем и прочего. Дело в том, что развитие рынка **Smart powers** привело бы к резкому сокращению выпуска отдельных компонентов и соответственно к уменьшению прибыли от продажи крупных партий таких изделий и готовых устройств на их основе. Большинство известных фирм производит эти элементы не только в своих странах, но и по лицензиям в других странах (Тайвань, Таиланд, Малайзия и т. д.). В итоге фирмы получили большую прибыль, используя практически технологию «вчерашнего» дня с минимальными затратами на изготовление и рекламу.

В общем, в те годы не произошло широко распространения устройств **Smartpower**. Они несколько обогнали свое время, но их разработка и применение заложили основу для дальнейшего развития интегрированных силовых компонентов.

Современные интеллектуальные силовые компоненты

Итак, одной из первых областей применения **Smart powers** стала автомобильная электроника. Благодаря огромному спросу на автомобили, неуклонному повышению требований к их параметрам, автомобильная электроника сегодня развивается очень быстрыми темпами. Важнейшим ее применением в современном автомобиле является электронное зажигание, которое позволяет снизить энергопотребление и токсичность отработанных газов, повысить мощность и экономичность двигателя за счет более полного сгорания топлива, облегчить холодный пуск. При этом важно, что микропроцессорное управление обеспечивается достаточно просто.

Фирма STMicroelectronics [4] выпускает несколько типов таких микросхем. И лучшая

из них — **VB027**. Это мощный драйвер для системы зажигания. В нем предусмотрены возможность установка начального напряжения на катушке, предельного тока через катушку, совместимость по входу с логическими уровнями напряжений управления и другие. Основные параметры: напряжение фиксации (*clamp*) $U_{cl} = 360$ В, $I_{cl} = 8,5$ А.

Несколько слов непосредственно о развитии силовых компонентов. На современном этапе многие фирмы значительно усовершенствовали технологию изготовления (CoolMOS, TrenchMOS) мощных высоковольтных (≥ 500 В) MOSFET и благодаря этому улучшили их параметры. В частности, значение $U_{DS\max}$ для некоторых MOSFET фирмы Advanced Power Technology уже сейчас достигло 1000–1200 В, значение тока стока $I_{D\max}$ составляет до 100 А; также было уменьшено значение сопротивления открытого канала сток-исток $R_{DS\,on}$ (доли Ом).

Еще более быстрыми темпами развивались IGBT. Уже в 1996 году основную массу IGBT составляли низкочастотные (3–20 кГц) модели с напряжением коллектор-эмиттер U_{CES} , равным 600 и 1200 В. А к 2004 году появились быстродействующие (*fast*) и «сверхбыстродействующие» (*ultrafast*) IGBT с частотным диапазоном 50–150 кГц и более. Среди них можно указать, например, IGBT модели **SKW25N120** фирмы Infineon или **IRG4PF50WD**, **IRG4PH40UD** компании International Rectifier (IR) [6]. У стандартных IGBT напряжение U_{CES} было увеличено до 1700 и 2500 В.

Для примера приведем некоторые параметры IGBT типа **IRG4PF50WD**: $U_{CES} = 900$ В, коллекторный ток $I_C = 51$ А, мощность рассеивания на коллекторе $P_{CE\max} = 200$ Вт; быстродействие: время нарастания $tr = 26$ нс, время спада $tf = 220$ нс

С учетом сказанного сформулируем основные направления развития интеллектуальных силовых компонентов:

- интеграция в одном корпусе нескольких MOSFET или чаще IGBT для образования более сложных силовых структур стала обычной практикой;
- встраивание (интеграция) в силовые ключи или их конфигурацию (полумосты, мосты) управляющих драйверов или/и ШИМ-контроллеров и т. п.

Первое применение в AC/DC-преобразователях таких продвинутых компонентов предложила фирма Power Integrations. Это были **IPS** средней «высоковольтности» (700 В), в частности различные модификации TOP Switches [7]. Они по своей структуре представляют комбинацию MOSFET с интегрированным в одном SIPMOS-чипе несложным ШИМ-контроллером. Имеется также схема защиты от токовых перегрузок, перегрева и перенапряжения на выходе.

Первое поколение семейства импульсных преобразователей — стабилизаторов **TOPSwitches 204–214** — было выполнено в стандартных транзисторных корпусах (ТО-220) и рассчитано на создание обратных преобразователей. Рабочая частота 90–110 кГц. При входном напряжении 100–230 В переменного тока можно получить выходную мощность 10–100 Вт. Но уже модели **четвертого поколения** семейства **TOP Switches-GX** (**TOP242–250**) при частоте 100–130 кГц и работе от сети поз-

волили реализовать выходную мощность 9–150–260 Вт. Выходная мощность зависит от диапазона входного переменного напряжения: 220 В ±20% или 85–265 В, 50 Гц.

За 1998–2001 гг. мировой рынок ИВЭ и интегральных микросхем для них вырос с \$2,8 млрд до \$4,9 млрд. На период с 2002 по 2005 год прогнозировалось увеличение объемов продаж этих изделий с \$5,1 млрд до \$7,8 млрд [8]. Такая активность объясняется в том числе и выпуском **новой продукции универсального применения на основе высокотехнологичной (hi-tech)**.

Недавно появились рекламные сообщения, что фирма Infineon [9] разработала и подготовила к выпуску основные ИРМ для сетевых ИВЭ: активный корректор коэффициента мощности (ККМ/PFC) и работающий на него однотактный инвертор. ИРМ включают только полупроводниковые структуры (без моточных изделий). Вероятно, следующее поколение этих и других ИРМ мы будем условно называть силовыми модулями высшей степени интеграции (**Super IРМ**, или **SIPM**). Они должны представлять собой **функционально полную совокупность «самозащищенных» силовых ключей со встроенными интегральными контроллерами (драйверами) управления и комплексной защиты от различных перегрузок**.

В свою очередь авторы статьи предлагают для сетевых ИВЭ применить три наиболее распространенных сегодня типа схем, а именно:

- схема на основе однотактного обратного преобразователя (*flyback DC/DC*);
- схема однотактного прямоходового преобразователя (*forward DC/DC*) с двумя одновременно коммутируемыми ключами (транзисторами);
- сдвоенный преобразователь по схеме «б», в котором ключи работают со сдвигом по фазе на 180° и имеют общий LC-фильтр. При этом целесообразно ограничить количество SIPM в синтезируемых ИВЭ — не более четырех типов [10, 11]. Некоторые типы SIPM уже теоретически проработаны авторами применительно к мощному (400 Вт) ИВЭ.

Однако более быстрыми темпами растет применение ИРМ в системах электропривода. Следует отметить, что, по оценкам специалистов [12], сектор маломощного (приблизительно до 4 кВт) электропривода занимает свыше половины рынка промышленных электроприводов малой и средней (до 40 кВт) мощности. То же можно сказать и о приводах бытовой техники: холодильников, стиральных машин, кондиционеров. Пока ИРМ имеет реальное воплощение лишь в регулируемом промышленном электроприводе, который развивается все более быстрыми темпами. По оценке специалистов, в последнее время выпуск электродвигателей переменного тока с интегрированными в них преобразователями частоты существенно возрастает. Так, если в 1999 году их выпустили примерно 40 тыс. штук (около \$46 млн), то в 2006-м их число должно возрасти до 220 тыс. штук (приблизительно \$195 млн) [12].

Еще недавно на рынке ИРМ для регулируемого электропривода переменного тока доминировали Eupes, Semikron, Fairchild, Mitsubishi и другие фирмы. Модули представляют собой трехфазные мосты на 6 или 7 IGBT, причем

в последнем случае один IGBT (7-й) мог использоваться, например, как «тормозной». В состав модуля также входят (могут входить) трехфазный выпрямитель и терморезистор. Драйвер выполнен на отдельной печатной плате и может устанавливаться непосредственно на модуль (фирма Semikron). В связи с этим следует упомянуть ИРМ [14], также разработанные Semikron для гибридных транспортных средств — гибридомобилей. Своим названием они обязаны тому, что используют для двигателя внутреннего сгорания с электродвигателем. Модули получили название — SKAI (сначала **Semikron Automotive Inverter**, а потом — **Semikron Advanced Integration**). Но поскольку область применения таких модулей оказалась широкой (подъемники, транспортеры, погрузчики и другие), то в некоторых вариантах за ними окончательно закрепилось название **SKADS (Semikron Advanced Drive Systems)**.

Фирма International Rectifier предложила ИРМ для электроприводов малой мощности, в частности для использования в массовом промышленном электроприводе и приводе бытовой техники [12]. Предложены две версии модулей — А и В. Версия А использует 3-фазный мост на IGBT: 6 кристаллов 600-вольтных IGBT (NPT, 5-го поколения) и 6 антипараллельных диодов — с открытыми эмиттерами нижних плечей. Версия В имеет ту же структуру, но с включением силового шунта для контроля тока в нулевой провод. Управление ключами осуществляется с помощью силового драйвера, который использует кристалл трехфазного драйвера типа **IR21365** в широком диапазоне частот ШИМ — до 20 кГц.

Появилась информация о встраивании ИРМ и интеллектуальных силовых драйверов в маломощные электродвигатели (шаговые двигатели), что является важным и очень перспективным направлением развития современного электропривода. Фирма Animatics (США) — пионер и признанный лидер в области интеллектуального электропривода — недавно анонсировала выпуск семейства интеллектуальных (высоко интегрированных) шаговых двигателей (ШД), именуемых **Smart motor** [15]. Семейство **Smart motor** серий **ST230** и **ST340** — это совершенные, компактные «интеллектуальные» ШД со встроенными силовыми драйверами, контроллерами с достаточно большим объемом памяти (энергонезависимая — 28 Мбайт и энергозависимая — 32 Мбайт) и с возможностью внешнего управления по интерфейсу RS232/RS485. Кроме того, в них встроены инкрементные декодеры для считывания угла поворота вала двигателя. Таким образом, для функционирования данного **Smart motor** необходимы только внешние источники питания (20–80 В) и канал связи с компьютером для задания законов и режимов работы. Современный этап развития интеллектуальной силовой электроники заканчивается. Он характеризуется:

- уверенным развитием **Smart Powers** (микросхем, **IPS**, **IPM**) как по количеству фирм-участников, так и по объемам выпуска этих изделий, в частности для ИВЭ, автомобильной электроники, электропривода;

- началом внедрения (встраивания) интеллектуальных силовых компонентов в исполнительные устройства и механизмы, в том числе в электродвигатели на примере ШД (**Smart motor**);
- значительными темпами развития технологии производства и улучшением параметров силовых компонентов — MOSFET и IGBT, особенно IGBT;
- совершенствованием устройств управления (драйверы, контроллеры), встраиваемых в **Smart Powers**.

Дальнейшее развитие интеллектуальной силовой электроники

На основе имеющейся информации попытаемся заглянуть в будущее интеллектуальной силовой электроники. Безусловно, дальнейшее развитие получат как архитектура (структуры) этих компонентов, так и входящие в них узлы и устройства. Серьезно возрастут объемы применения интеллектуальных силовых компонентов: микросхем, **IPS** и **IPM (SIPM)**. Следует отметить последние достижения в полупроводниковой (MOSFET, IGBT, мощные высоковольтные диоды Шоттки) и микроэлектронной (чипы высокой степени интеграции, SMD-компоненты и т. д.) технологии. Очевидны успехи в компьютерной технологии (микроконтроллеры, цифровые сигнальные процессоры или микроконтроллеры, флэш-память большого объема), в области полимеров, планарных моточных изделий, «микрочечатных» плат. Все это наряду с успехами в силовых компонентах дает мощный импульс развитию интеллектуальной силовой электроники. Рассмотрим подробнее данные направления.

Дальнейшее улучшение параметров собственно силовых компонентов

По оценкам специалистов, можно реально прогнозировать, что MOSFET прочно займут нишу примерно до 10 кВт при напряжениях сначала 1500 В, а затем и до 1700–2000 В. IGBT уверенно утвердятся в диапазоне мощностей от сотен до тысяч киловатт при напряжениях до 6000–8000 В [16]. Одновременно расширится частотный диапазон их работы, но уже без больших прорывов. Будут предприняты шаги по интеграции в одном модуле силовых компонентов различного вида (в связи с чем, собственно, и появились сами IGBT). Уже сегодня в некоторых работах предложено комбинирование MOSFET и IGBT в одном корпусе по схеме параллельного соединения [17]. Такая структура позволяет при сравнительно небольших рабочих токах использовать канал (плечо) MOSFET для уменьшения статических потерь благодаря малой величине сопротивления открытого канала. При этом улучшаются и динамические параметры силового ключа. В то же время при больших токах, в том числе в аварийных режимах, дополнительно используется канал IGBT. Общая рассеиваемая мощность комбинированного ключа меньше, чем при использовании только одного вида транзисторов.

Следует ожидать, что в силовую часть модулей большой и очень большой мощности

будет дополнительно встроено ряд датчиков для диагностики работоспособности. Возможны и другие варианты совершенствования собственно силовой части **IPS** и **IPM**.

Переход IPM от аналогового на цифровое управление при использовании более продвинутых драйверов и контроллеров

Широкое применение при встраивании получают микроконтроллеры с развитой инфраструктурой (обрамлением) и большим объемом памяти. Это позволит реализовать функции, которые сейчас выполняются в простейшем виде или вообще отсутствуют.

Микроконтроллеры являются более совершенными устройствами управления, защиты и необходимого информационного обеспечения, включая организацию внешнего интерфейса. Для понимания проблемы приведем некоторые функции, осуществляемые микроконтроллером:

- безаварийное включение/выключение по заданному алгоритму, в том числе и/или при возникновении экстремальных ситуаций;
- формирование последовательности импульсов управления, регулируемых по определенному закону: по длительности — ШИМ, по частоте — ЧИМ, позиционное (релейное) регулирование;
- выполнение адаптивных функций: регулирование по изменению сигналов обратной связи по напряжению, по току модуля, по частоте, коррекция по изменению питающего (сетевому) напряжения и т. п.;
- активное выравнивание токов при параллельном соединении или резервировании однотипных модулей (силовых каналов);
- одновременное управление как активным корректором коэффициента мощности (ККМ/PFC), так и преобразователем (преобразователями) в ИВЭ;
- сбор опережающих сигналов о перегрузках **IPM** или силовых драйверов, приводящих к его выключению, и выдача их в систему.

То же самое можно сказать и о цифровых сигнальных процессорах (DSP-контроллерах), которые фирма Texas Instruments успешно продвигает для управляемого интеллектуального электропривода [18]. Изменение правил и алгоритмов функционирования интеллектуальных силовых объектов осуществляется не аппаратно, а изменением программ, записываемых во флэш-память.

Расширение сферы применения интеллектуальных силовых компонентов

Интеллектуальные силовые компоненты станут привычными электронными компонентами для разработчика, такими как сегодня дискретные MOSFET, IGBT, драйверы, ШИМ, ЧИМ и ККМ/PFC-контроллеры. В идеале можно предположить (как показано на примере **Smart motor**), что для организации автоматизированных систем потребуются только персональный компьютер (компьютерный комплекс), каналы связи (в том числе беспроводные), источник(и) электропитания (при необходимости) и программное обеспечение. Возможно встраивание в **IPM (SuperIPM)** и модулей **Ethernet** подобно тому, как сегодня это

происходит в промышленных компьютерах. В качестве примеров можно указать следующие перспективные сферы применения интеллектуальных силовых компонентов:

- источники вторичного электропитания — низковольтные и высоковольтные;
- электроприводы различного назначения со встраиванием **IPM (SIPM)** и силовых драйверов непосредственно в корпуса электродвигателей;
- интеллектуальные исполнительные механизмы и устройства (электромагнитные, пневмо- и гидроклапаны, заслонки, вибропитатели и прочие) со встроенными интеллектуальными силовыми компонентами, что особенно важно при работе в тяжелых условиях эксплуатации;
- автомобильная электроника;
- бытовые электроприборы и установки;
- робототехнические системы и устройства.

Последняя область применения очень важна для повышения качества продукции, а также для увеличения производительности труда. Подобное наблюдается сейчас в Японии, которая вынуждена все больше конкурировать с промышленностью Китая, имеющего огромные резервы дешевой рабочей силы. Не менее важно это и для России при складывающейся неблагоприятной демографической ситуации и вступлением в ВТО. Именно интеллектуальная силовая электроника и является одним из реальных направлений hi-tech, о чем так много говорят и пишут на самых высоких уровнях.

Вместе с тем применение новой интеллектуальной силовой электроники поставит перед разработчиками, технологами и производителями новые серьезные задачи и предъявит к ним повышенные требования. В этом контексте прежде всего отметим следующее: а) интеграция в одном корпусе очень мощных, высоковольтных силовых ключей и низковольтной управляющей микроэлектроники предъявит повышенные требования **к обеспечению качества электрической изоляции** силовой и управляющей частей, в том числе и в динамических режимах (du/dt и di/dt), а также к их **электромагнитной совместимости (помехоустойчивости, помехозащищенности)**;

б) потребуется существенно повысить инженерную, технологическую и производственную культуру, поскольку эти изделия будут сложными и дорогими. В связи с этим, в частности, изготовители интеллектуальных силовых компонентов еще больше внимания должны уделять рекомендациям по применению (*application notes*) своих изделий; в) еще более актуальной станет необходимость дополнительных **мер по обеспечению надежности** функционирования при воздействии экстремальных внешних факторов: несанкционированные включения/отключения, в том числе при техногенных авариях и катастрофах; значительные импульсные помехи; сбои в системах автоматизированного управления, климатические и иные воздействия и т. п.

Как известно, любые прогнозы — вещь благодарная. Однако следует иметь в виду вечноистинные: «новое — это хорошо забытое

старое»; «развитие происходит по диалектической спирали». Так что удивляться ничему не следует, а надо лучше знать историю развития данной отрасли. К сожалению, в настоящее время в России интеллектуальной силовой электронике уделяется мало внимания. Поэтому, по мнению авторов, целесообразно развивать интеллектуальные силовые компоненты в инновационных центрах или технопарках как реальную область высоких технологий.

Литература

1. Лаймен Дж. Функциональные модули — простой способ реализации мощных гибридных ИС. «Разумные» МОП-транзисторы фирмы Siemens, изготовленные по технологии SIPMOS // Электроника. 1988. № 7.
2. Полуказные «разумные» мощные ИС на базе матричных кристаллов, создаваемые всего за 45 суток // Электроника. 1988. № 10.
3. Низкий уровень продаж мощных ИС с логическими функциями // Электроника. 1988. № 5.
4. SMART POWER. Application manual. STMicroelectronics (www.st.com), 1989.
5. www.siliconix.com (www.vishay.com)
6. Каталог электронных компонентов FARNELLINONE (www.farnellinone.com), 2004–2005.
7. Power Integrations, Inc. (www.powerint.com). Date Book, Design Guide and Seminar Handbook, 2002.
8. Лукин А., Лазученков А., Пилягина Ю. Всемирный рынок источников питания и интегральных микросхем силовой электроники // Практическая силовая электроника. 2003. № 9.
9. www.infineon.com
10. Эраносян С., Ланцов В. Интеллектуальные силовые модули для источников электропитания — один из путей возрождения отечественной микроэлектроники XXI века // Электрическое питание. 2005. № 1–2.
11. Эраносян С., Ланцов В. Пути развития и архитектура отечественных интегрированных силовых модулей для импульсных источников вторичного электропитания // Электрическое питание. 2005. № 3–4.
12. Башкиров В. Интеллектуальные силовые модули компании International Rectifier для электропривода малой мощности // Силовая электроника. 2005. № 1.
13. Колпаков А. Перспективы развития электропривода // Силовая электроника. 2004. № 1.
14. Колпаков А. Модули SKAI/SKADS — предельный уровень интеграции // Силовая электроника. 2005. № 3.
15. www.animatics.com
16. Флоренцев С. Современное состояние и прогноз развития приборов силовой электроники // Современные технологии автоматизации. 2004. № 2.
17. Ширяев А. Конструируем силовой ключ // Современная электроника. 2004. № 2.
18. Лапин А. Новое поколение изделий компании TEXAS INSTRUMENTS для управляемого электропривода // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. 2005. № 6.