

Успехи, трудности и проблемы

на пути развития силовой электроники в России

Отмечаются успехи развития в России, как самих силовых устройств, так и электронных компонентов. При этом речь идет не только об ускорении внедрения лучших импортных компонентов, но и об увеличении выпуска лучших отечественных, а также о разработке и изготовлении современных силовых компонентов.

На конкретных примерах разработок и проблем внедрения мощных импульсных источников питания в статье показаны организационно-технические, кадровые трудности и препятствия, которые ожидают разработчиков при создании действительно современных силовых устройств. Авторы попытались сделать некоторые обобщения и выдвинуть предложения, которые помогли бы существенно улучшить положение дел в силовой электронике.

Владимир Ланцов

vvlantsov@list.ru

**Саркис Эраносян,
к. т. н.**

sergera840@mail.ru

Наряду с бурным развитием в XXI веке таких технологий, как вычислительная техника, Интернет, средства мобильной связи, а в последнее время и нанотехнологии, на первый план выходит также развитие силовой электроники. Эта тенденция отражает как рост потребности общества в энергоресурсах, различных видах энергии, так и насущную необходимость в их экономном использовании. Электроэнергия является наиболее универсальным, относительно безопасным и необходимым видом энергии, обеспечивающим потребности промышленности и человека. Потребность в ней все время растет: вводятся в строй новые промышленные предприятия, банки и бизнес-центры, торговые комплексы. Также прирост потребления электроэнергии связан с объемом жилищного строительства, с новыми газо- и нефтепроводами, с увеличением приборовой оснащенности человека в быту и т. п. Поэтому повышение экономической эффективности, которая включает в себя как уменьшение металлоемкости изделий, так и снижение энергозатрат на единицу производимой продукции, является актуальной проблемой. Эксплуатационная эффективность, одним из показателей которой является КПД силовых устройств и входящих в них силовых компонентов, приобретает первостепенное значение. По образному выражению одного из руководителей восточно-европейского центра фирмы International Rectifier, если бы удалось повысить КПД силовых устройств до 95–97%, то на несколько лет проблемы с нехваткой электроэнергии удалось бы в значительной степени ослабить.

Успехи в развитии силовой электроники в России

Налицо успехи развития в России как самих силовых устройств, так и электронных компонентов [1–2]. При этом речь идет не только об увеличении объемов выпуска устройств управления электроприводом, импульсных источников питания, других ус-

ройств, но и о повышении их мощности, качества функционирования, расширения областей применения. Отрадно, что можно указать не только на ускорение внедрения современных импортных компонентов, но и на увеличение выпуска лучших отечественных компонентов, а также на разработку и выпуск новых силовых элементов. Это относится, в частности, к диодам из карбида кремния, запираемым тиристорам, MOSFET, IGBT, а также интегрированным силовым модулям на основе MOSFET и IGBT-структур. На одном из петербургских предприятий успешно внедрили интеллектуальные двигатели фирмы Animatics, о которых авторы писали ранее [3]. Сообщалось также об успехах российской компании «Электрум АВ», которая, в частности, выпускает модули управления для систем электропривода мощностью до 15 кВт [4]. В публикациях рассмотрены особенности применения интеллектуальных силовых модулей [5]. Наконец, было приведено обоснование и выполнены расчеты серии интегрированных силовых модулей для мощных силовых блоков питания [6, 7], которые, к сожалению не выпускаются. Можно отметить, что доля электроники, вовлеченной в мировое производство и потребление, все время растет, при этом в информационных и телекоммуникационных системах она составляет не менее 70%, в других отраслях экономики до 60%: в авиации — до 55%, в научном приборостроении — до 40% [8]. Интересное сочетание нанотехнологий с разработкой магнитомягких материалов для силовых трансформаторов и реакторов проводится в НПП «ГАММАМЕТ» (г. Екатеринбург) [9]. Многие российские производители электронной аппаратуры различного назначения успешно применяют отечественные источники вторичного питания (ИВЭ) фирм «Александр Электрик», ММП «Ирбис», группы компаний «Континент», фирмы «Ладомир», ООО НПП «ПИК», ООО «Матрикс» и др. Эти фирмы нашли своего потребителя как в промышленности, так и среди производителей спецтехники. Можно указать и на другие успехи в этой области техники.

Однако нельзя не понимать, что они несут все же ограниченный характер. Возможно, авторы не упомянули еще многие отечественные предприятия, имеющие достижения в силовой электронике, но это объясняется недостаточным количеством рекламно-информационных материалов. Такое положение дел лишь раз подчеркивает актуальность данной статьи.

Попробуем на конкретных примерах показать те трудности и проблемы, которые тормозят более успешное развитие силовой электроники в России. В качестве примера трудностей разработки некоторых мощных импульсных источников питания можно привести проблемы, с которыми в настоящее время встречаются разработчики «на местах». Рассмотрим несколько реальных примеров подобного рода из разработок мощных ИВЭ (авторы либо лично имели отношение к некоторым из них, либо имели достоверную информацию об этих примерах). Нам кажется, что примеры поучительны и типичны. Разумеется, в целях корректности, а также ввиду «повторяемости» приводимых ситуаций названия и другие сведения об упоминаемых объектах специально обезличены, то есть названия фирм и фамилии носят условный характер, а любые совпадения случайны.

Пример 1. Научно-производственное предприятие приборостроительного профиля АО «Альбатрос» (Санкт-Петербург)

Предприятие специализируется на разработке приборов, аппаратуры и оборудования в основном с применением рентгеновского излучения — рентгеновских трубок (РТ). Для питания РТ используются высоковольтные источники питания (сокращенно ВВИП), которые выполнялись на основе громоздких и тяжелых однофазных и трехфазных высоковольтных низкочастотных (50 Гц) трансформаторов с умножителями напряжения. В середине 1990-х годов возникла «плодотворная дебютная идея»: для анализа минерального сырья вместо таких ВВИП с выходом на постоянном токе и сеточной модуляции анодного тока РТ (например БХВ-18) разработать мощный импульсный ВВИП с анодной модуляцией. Выходные параметры: амплитуда выходного напряжения 10–40 кВ, амплитуда анодного тока 50–350 мА, мощность в импульсе — до 12 кВт. Частота следования импульсов — сотни герц (чаще всего 250 Гц), скважность импульсов порядка 5–8 (обычно 8). В ходе короткой НИР небольшой группой из 3–4 специалистов (руководитель — ведущий научный сотрудник В. Медведев) была разработана структура мощного высоковольтного источника питания:

- стабилизированный оптоэлектронный выпрямитель на +40...+200 В с питанием от трехфазной сети переменного тока 3×220 В, 50 Гц («звезда» с заземленной нейтралью);
- одноактный прямоходовый преобразователь с импульсным низкочастотным трансформатором на магнитопроводе из тонкой электротехнической стали, в котором кроме первичной и высоковольтной обмоток имеется и размагничивающая обмотка;

- в начале «по инерции» традиционно планировалось выполнить силовой ключ из N (12–15) параллельно включенных мощных высоковольтных биполярных транзисторов, например ВUX48А: 450 В (1000 В), 15 А, 175 Вт, 1,5 В (sat), корпус ТО-3 — с эмиттерной коммутацией, но затем был закономерно выбран мощный высоковольтный IGBT-модуль типа BSM300GA120DN2 Siemens (Infineon) с параметрами: $U_{CE\ max} = 1200\ В$, $I_C = 400\ А$, $P_D = 2500\ Вт$ ($U_{CE\ sat} = 3,3\ В$).

Далее, в процессе проведения ОКР, выполнялись дополнительные расчеты, был изготовлен практически полный макетный образец, на котором проведены настройка и отработка узлов и модулей. Схема и конструктивные особенности аналогичного блока описаны в работе [10]. Затем был изготовлен опытный образец, настроен и испытан (к сожалению, в малом объеме и непродолжительно). Пока все шло сравнительно неплохо и ничего не вызвало особых опасений. Надо было отправлять к потребителю для эксплуатационных испытаний, а затем запустить ВВИП в мелкосерийное производство. Отметим, что уже шел печальный известный 1998 год.

Испытания у потребителя на горнообогатительной фабрике также прошли вполне успешно. Осенью 1998 года начался выпуск аппаратов с импульсными ВВИП. И почти сразу же друг за другом на двух аппаратах после N включений–выключений и некоторого периода работы («прогона») при очередном включении произошел выход из строя блока. Причина — отказ (пробой) мощных IGBT-модулей типа BSM300GA120DN2. Если описать чувства разработчиков ВВИП, а также их руководителей, то это были недоумение, разочарование и легкая паника. Как же так: IGBT-модуль BSM300GA120DN2 имеет в рабочих режимах огромные запасы по паспортным данным: по коллекторному напряжению (1200 В \gg 200 В напряжения питания), по коллекторному току, даже в непрерывном режиме работы (400 А $>$ 80 А_{имп}), по допустимой мощности рассеивания (2500 Вт \gg 30 Вт — расчетное и фактическое при выбранном теплотехнике). Кроме того, суммарная наработка первого образца составляет несколько сотен часов в разных режимах! Картина произошедшего в полной мере не была ясна ни одному специалисту, так как ВВИП был совершенно новым по схемотехнике, по элементной базе, мало исследовался. Поэтому, как обычно бывает в подобных случаях, по результатам обсуждения было принято решение: после некоторых проверок выявить слабые места, по поводу которых возникли определенные опасения. В итоге была повышена надежность управления (устранена некоторая неоднозначность при запуске микроконтроллера). В цепи размагничивающей обмотки силового трансформатора заменены диоды на более высоковольтные, улучшена защита перехода затвор–эмиттер IGBT и выполнены некоторые другие мероприятия. Количество отказов ВВИП из-за выхода из строя IGBT и при настройке, и при эксплуатации значительно уменьшилось, однако отказы не прекратились. Было принято решение — укомплекто-

вать ЗИП запасным IGBT-модулем типа BSM300GA120DN2. При эксплуатации периодически, во время сильных гроз, на обогатительных фабриках как в Восточной Сибири, так и в Центральной Африке (туда также поставлялись сепараторы) фиксировалось увеличенное количество отказов (3–5) IGBT-модуля. Специалисты по-разному объясняли причины таких отказов. Одни считали, что не совсем четко отлажен алгоритм включения в работу аппарата, а также отработка нестандартных аварийных ситуаций. Другие видели причину в недостаточной помехозащите при таких сильных импульсных помехах, которые создают мощные молнии. Тем более, что сетевой трехфазный фильтр помех был «слабым» (а до определенного момента его вообще не было). Кроме того, нейтраль питающей трехфазной сети для простоты являлась и обратным проводом оптоэлектронного выпрямителя (+200 В).

В дальнейшем этот модуль был заменен на IGBT-модуль типа МТКИ2-300-12 отечественного производства (ОАО «Электровыпрямитель», г. Саранск). Кроме того, высоковольтные ИВЭ питания драйвера IGBT-модуля и устройства защиты заменили на импортные источники питания с универсальным входом. Количество отказов стабилизировалось на уровне 1,5–2,5% в год. Далее поиски причин отказов практически прекратились, тем более, что руководитель разработки перешел на другую работу. Группа разработчиков этого ВВИП функционирует в составе двух человек и, конечно, им трудно установить причины «оставшихся» отказов, то есть «сдвинуть с места оставшийся подводный камень»!

Пример 2. Научно-производственное предприятие корабельного профиля «Аметист» (Санкт-Петербург)

Предприятие в 2001–2002 годах, наряду с другими заказами для морского флота, взяло заказ на разработку и поставку большой партии мощных импульсных ИВЭ, выполненных на современном уровне. Номинальная мощность источников порядка 500–600 Вт, выходное напряжение 27 В, КПД равен 0,84–0,86. Питание от трехфазной сети переменного тока 3×380 В ($\pm 20\%$), 50 Гц («треугольник»). Ввиду сложности и важности задания в группу разработчиков ИВЭ стали срочно набирать специалистов и попутно заключили договор на проведение совместных работ с одной малой частной фирмой. Поскольку постоянное напряжение питания преобразователя равно 560 В ± 110 В, то была выбрана мостовая схема преобразователя на IGBT с напряжением 1200 В. В качестве одного из вариантов можно было выбрать прибор АРТ25GT120BRDQ2 (1200 В, 54 А при 25 °С, 347 Вт, 3,7 В (sat), корпус ТО-247) фирмы Advance Power Technology, позволяющий уверенно работать на частоте переключения 40–50 кГц. Первоначально предусматривалось возложить на микроконтроллер все функции управления, контроля и защиты. Это представлялось и рациональным, и современным решением. Однако «гладко было на бумаге, да забыли про овраги». Силовой преобразовательный мост на IGBT применялся для этих целей едва

ли не впервые. Кроме того, хорошо известны принципиальные трудности при практической его реализации: возможность подмагничивания силового трансформатора, сквозные токи в плечах моста, влияние паразитных параметров силового трансформатора и др. Составление алгоритма работы микроконтроллера в мощном специализированном источнике требует, во-первых, опыта такой работы; во-вторых, тесного взаимодействия и понимания между разработчиком и программистом; в-третьих, возможности промежуточного тестирования и отладки. В условиях срочной, напряженной работы ничего этого не получилось, и пришлось отказаться от микроконтроллера, применив микросхему ШИМ-контроллера с двухтактным выходом типа SG3525 (МС34025) с соответствующим дополнительным обрамлением. Некоторые доработки схемотехники ИВЭ пришлось вести уже непосредственно на производстве. Опытные образцы ИВЭ все же прошли стендовые испытания с замечаниями. Поэтому «устранение подводных камней» продолжилось и позже. А это значит, что в разных партиях образцы будут отличаться друг от друга как по схемотехнике, так и по параметрам компонентов.

Пример 3. Электронная переписка авторов с разработчиком мощного (1 кВт) импульсного источника питания (г. Пенза, П. Авдеев, ноябрь–декабрь 2006)

«Обращаюсь к Вам по поводу публикации в журнале «Силовая электроника», 2006, № 2. Я разрабатываю импульсный источник питания мощностью 1 кВт, но еще не решил: будет ли это 48 В, 20 А или 96 В, 10 А. Источник предназначен для работы в качестве блока для станции катодной защиты подземных коммуникаций (основная задача — низкая себестоимость). В источнике применена мостовая схема преобразователя на мощных импортных MOSFET типа 20N60S, на выходе 4 диода 30CPQ, включенные по 2 диода параллельно. Микросхема ШИМ-контроллера типа UC3825. Частота преобразования — 27 кГц. Источник постоянно возбуждается, особенно при увеличении тока нагрузки. Силовые ключи очень нагреваются и выходят из строя; также сильно нагреваются и диоды выпрямителя. Пробовал заменить транзисторы 20N60S на 47N60S с меньшим RDS on. Но это практически не помогло. Чувствую, что здорово мешают паразитные связи, схема плохо «корректируется», и я не могу добиться от нее надежной работы.

Наверно, надо улучшить монтаж, применить элементы поверхностного монтажа? А может, мне перейти на Вашу схему с корректором коэффициента мощности (ККМ)? Пришлите мне, пожалуйста, тип ККМ-контроллера, который Вы используете и рекомендации по его включению».

В ответах авторов читателю был дан совет не бросаться из стороны в сторону, меняя «на ходу» схемные решения, а постараться ослабить известные недостатки мостового преобразователя известными способами (подмагничивание сердечника силового трансформатора, сквозные токи в плечах моста и другие). Кроме того, необходимо минимизировать па-

разитные связи между силовыми цепями и цепями управления. С этой целью приведена необходимая литература, в частности [11]. Скорее всего, придется существенно изменить монтажную схему печатной платы или лучше сделать новую разводку печати. Также читателю было дано несколько практических советов о порядке настройки мощных импульсных источников питания, чтобы избежать неоправданных выходов из строя дорогостоящих силовых компонентов.

Пример 4. Электронная переписка авторов с ОАО «Трубопровод» (г. Волгодонск, технический директор А. Чигаев; ноябрь–декабрь 2006)

«Обращаюсь к Вам по следам публикации в «Силовой электронике», 2'2006. Можете ли Вы по нашему заказу разработать линейку источников питания на мощности 1, 3 и 5 кВт? Например, для самого мощного устройства по первому варианту $U_{\text{вых}} = 50 \text{ В}$ (100 А) и по второму — $U_{\text{вых}} = 100 \text{ В}$ (50 А). Важным требованием является возможность плавной регулировки выходного напряжения в пределах от 0 до максимального значения с точностью не ниже 0,5%. Требования к качеству выходного напряжения не жесткие».

Согласитесь — далеко не идеальное техническое задание с массой неясных моментов. Поэтому мы попросили, как это обычно принято: указать назначение, уточнить важнейшие параметры, возможность вначале разработки базовой модели (например, источника на 3 кВт), вид отчетности и сроки разработки, условия эксплуатации и т. п.

Был получен достаточно полный ответ, дающий более точное представление о предмете разработки, но и еще больше повышающий ее сложность: «назначение — работа на станциях катодной защиты»; условия эксплуатации: $-45 \dots +45$ (50) °С. Питающая сеть — однофазная 180–250 В, 50 Гц. В начале должна быть разработана базовая модель на 3 кВт (50 В, 60 А или 100 В, 30 А). Коэффициент пульсаций — не более 3%.

Заказчик предложил нам разработать схему, конструкцию и изготовить 3 опытных образца (или полномасштабных макета) за полгода и на них провести испытания. Желательно также заранее подсчитать стоимость компонентов, исходя из выпуска 1000 образцов в год.

В очередном сообщении авторы, подробнее познакомившись в Интернете с требованиями к уже выпускаемым низкочастотным (50 Гц) трансформаторным источникам питания диодно-тиристорного типа для станций катодной защиты, напомнили о них заказчику. В частности, срок службы — не менее 20 лет, технический ресурс — не менее 100 000 ч (с учетом ЗИП). Источник должен размещаться во влагозащищенном корпусе повышенной прочности («вандалоустойчивом») и т. д. При простом промышленном исполнении удельная стоимость единицы мощности составляет 1–1,5 евро/Вт, а при специальном исполнении для жестких (полевых) условий — порядка 2,5–4 евро/Вт. После этого письма авторов переписка закончилась.

Что общего между вышеприведенными примерами?

1. Описанные трудности характерны при разработке мощных специализированных импульсных источников питания.
2. Все источники должны были быть разработаны практически или без задела, или на малом заделе, причем необходимо было применить современные силовые компоненты, с которыми разработчики ранее практически не работали.
3. Группы разработчиков, несмотря на сложность задач, были малочисленны, недоукомплектованы (особенно опытными специалистами), консультации получить было негде и т. д.

Анализ причин трудностей разработки современных силовых устройств

Попробуем взглянуть на проблему более широко с учетом исторического опыта разработки и выпуска ИВЭ и других силовых устройств, в том числе импульсных, в Советском Союзе. Трудности и неудачи, конечно, были и тогда, но в процентном отношении их было гораздо меньше. В чем причина?

1. В организационном и организационно-техническом плане. Практически во всех крупных и средних предприятиях (НПО, НИИ, КБ) существовали специализированные подразделения (отделы, лаборатории). Они были укомплектованы научными работниками, опытными инженерно-техническими кадрами и рабочими (монтажниками, регулировщиками). Приходили молодые специалисты из институтов, а также из техникумов. Эти молодые работники хотели специализироваться в этой области силовой электроники. Проводились не только ОКР, но и НИР, как заделы или «предшественники» ОКР. Существовали устойчивые связи с кафедрами вузов и проводились совместные исследования. Выполняя их, специалисты росли в научном плане: писали статьи, делали доклады, создавали изобретения, а иногда и защищали диссертации. При этом, конечно, большое внимание, особенно на предприятиях оборонного комплекса, уделялось отработке надежности функционирования ИВЭ, его унификации, серийности.

Конечно, сейчас другая (рыночная) обстановка. Многие предприятия свободно покупают и применяют в своей аппаратуре импортные источники питания высокого качества. Такие источники (DC/DC и AC/DC) покрывают весь стандартный ряд напряжений: 3, 5, 12, 15, 24 (27), 48 В. Они поставляются в различном конструктивном исполнении (плоские модули, «открытое шасси», в «еврокорпусах» и т. д.), могут, при определенных условиях, поставляться и регулируемые в широком диапазоне напряжений источники питания, в том числе и высоковольтные. Успешно работают многие отечественные фирмы, специализирующиеся на разработке и выпуске ИВЭ, которые были названы выше. Вместе с тем, для некоторых предприятий нужны специализированные нестандартные мощные ИВЭ. Такие, как в описанных приме-

рах — невыгодные или из-за непрофильности, или из-за малого числа образцов, а также недостаточного финансирования или по другим причинам. Поэтому отдельные предприятия вынуждены иметь пусть не очень многочисленные подразделения, но оптимальные по знаниям, опыту специалистов («золотой слав» опытных специалистов и молодежи). Это не значит, что «по старинке» эти специалисты все будут разрабатывать сами. Не менее важно выдать грамотное техническое задание соисполнителям, потом принять от них готовое разработанное устройство и встроить его в силовой блок. К сожалению, надо признать, современные руководители предприятий не все это понимают. Некоторые из них считают, что «какие-то там источники» могут «сделать», например, опытные специалисты по аналоговой технике. Другие уповают на то, что можно внезапно набрать опытных специалистов и решить все проблемы разом, не имея забот на выделение финансирования для «содержания» своих специалистов. Подобная ситуация наблюдается на ряде больших предприятий, демонстрирующих гипертрофированное стремление к получению большой прибыли за счет чрезмерной экономии на специалистах, а также на приобретении перспективных компонентов, оборудования и т. д. (при одновременном сохранении большого управленческого и бухгалтерского аппарата). Все это существенно замедляет техническое развитие предприятия, обновление его продукции и, в конечном счете, может сделать его продукцию неконкурентоспособной. Здесь невольно вспоминаются известные высказывания важных персон нашего государства. Дело в том, что в России избыток юристов, экономистов и бухгалтеров, но мало менеджеров высшей квалификации — просто голод на высококвалифицированных технических специалистов, в том числе и в силовой электронике.

2. В информационном плане. Регулярно происходили всесоюзные, отраслевые и региональные конференции, семинары по источникам питания, реже по силовой электронике. С доброй памятью вспоминаю, например, семинары по ИВЭ, проходившие в Московском Доме научно-технической пропаганды. Делались интересные доклады, сообщения, работали секции по специализации, происходили дискуссии, давались консультации. Специалисты вступали друг с другом в контакты, знали уровень развития источников в стране и за рубежом. Это была хорошая школа для всех, особенно для молодых специалистов. Некоторые творческие и личные связи сохранились до сих пор.

В настоящее время ежегодно проводится, например, выставка «Силовая электроника», на которой проводится ряд семинаров. Их участникам предлагается много рекламных листов, информационных дисков, иногда брошюры с рекомендациями по применению средств и компонентов силовой электроники. Много представлено натуральных образцов. Вместе с тем роль личных контактов, взаимных консультаций заметно упала. Если взять тематические семинары, про-

водимые дистрибьюторами, то положение еще проще. Там в первую очередь проводится реклама своих изделий, даются краткие рекомендации по их применению. Консультации, которые нужны специалистам (например, по описанным выше примерам), реально мало что дают разработчику из-за их ограниченного времени (3–5 мин).

Определенный вклад в этом направлении могли бы внести общества силовой электроники, существующие в Санкт-Петербурге и других городах, но ни авторам, ни даже редакции журнала «Силовая электроника» практически ничего не известно об их деятельности.

3. В плане технической учебы и переподготовки кадров. В Советском Союзе в каждом отраслевом министерстве (9 ведущих) был институт совершенствования знаний ведущих специалистов, в том числе и специалистов по силовой электронике. В таких институтах преподавали опытные специалисты из НИИ, КБ и вузов; они же консультировали «стажеров». Курсы обучения были рассчитаны на 10–20 дней, естественно, с отрывом от производства. Необходимость переподготовки специалистов не подвергалась сомнению. Надо сказать, что за рубежом (Япония, Тайвань и др.) переподготовка специалистов производится практически ежегодно, прежде всего, в самих фирмах. К сожалению, в настоящее время в отечественных фирмах это редкость. Чаще руководство требует, чтобы специалист сам занимался самообразованием и всегда был готов к выполнению любого задания. Так удобнее и спокойнее, меньше затрат средств и времени. К сожалению, это не ирония и не шутки авторов.

4. Трудности с изданием научно-технической литературы и ее распространением, в том числе по силовой электронике. Такие трудности существуют практически при издании любой книги по всем электронным устройствам. Может быть, немного легче издателям справочников, книг и руководств по ремонту бытовой электроаппаратуры. Тиражи книг небольшие — максимально 5000 экземпляров. Но и это редкость. Для сравнения укажем, что книга одного из авторов по сетевым источникам питания в начале 1990-х годов вышла первым тиражом в 50 000 экземпляров. Книги больших специалистов по импульсным источникам питания и преобразователям напряжения, таких как Моин В. С., Ромаш Э. М., Мкртчян Ж. А., Лаптев Н. Н., выпускались тиражами от 15 000 до 40 000 экземпляров. Сборники статей по электронной технике под ред. Конева Ю. И. и Николаевского И. Ф. выпускались тиражами от 10 000 до 14 000 экземпляров. Кроме того, достаточно быстро после появления за рубежом, переводились и публиковались лучшие иностранные технические книги. Причем тиражи этих изданий были от (10 до 20) тысяч экземпляров. Количество книг, которые опубликованы по тематике современного электропривода и импульсных источников питания, за последние 7 лет можно пересчитать по пальцам. А за хорошую книгу по этой проблематике, например, объе-

мом 7 условных печатных листов, можно заработать примерно 15 000 рублей (при тираже не менее 3000 экземпляров). Отметим, что это зарплата продавца небольшого супермаркета. Подчеркнем, что при таком положении дел очень сложно системно заниматься самообразованием. Интернет, информационные диски, статьи в журналах — это все необходимо, но согласитесь, что «переварить» весь этот огромный объем информации, привести его в стройную систему знаний и отбросить лишнее совсем непросто.

5. Кадровая проблема. Эта проблема — одна из самых серьезных, а главное, что она не решается быстро! Ушли в другие области многие опытные специалисты. Остальные специалисты высшей квалификации «сходят со сцены» силовой электроники. Некоторым из них «помогает» это сделать руководство фирм путем осуществления политики «омоложения кадров». Политика в принципе правильная. Кстати, она проводилась и в советские времена, но постепенно, хотя условия для ее осуществления были значительно более благоприятными. Сейчас, как уже отмечалось ранее, условия совсем другие:

- а) вузы выпускают гораздо меньше специалистов по этой тематике;
- б) профессия утратила в молодежной среде свою привлекательность;
- в) зарплата на предприятиях, разрабатывающих технические средства силовой электроники, у разработчиков-«силовиков» меньше, чем у других специалистов, а ответственность и напряженность труда выше. Отношение руководства многих фирм к вопросам важности различных форм технической учебы практически везде отрицательное. Но даже если молодой специалист все-таки решил работать в сфере, например, создания импульсных источников питания, то без «шефской помощи» со стороны опытных специалистов высокой квалификации ему не обойтись. Дело в том, что разработка силовых электронных устройств, особенно большой мощности, консервативна в хорошем смысле этого слова. При применении любых современных силовых компонентов необходимо обязательно разработать и проверить «в деле» работу всего комплекса защит от аварийных ситуаций: от перегрузок по току, от короткого замыкания, от перенапряжений, от перегрева силовых компонентов, от больших пусковых токов и т. п. При этом нужно всегда учитывать и решать вопросы обеспечения электромагнитной совместимости. А еще необходимо обеспечить правильный и не критичный процесс перематывания сердечника силового трансформатора во всем диапазоне изменения окружающей температуры и сетевого напряжения. Все эти задачи и процедуры надо скрупулезно и методично выполнять на протяжении всего времени разработки устройства силовой электроники.

Выводы и предложения

1. Несмотря на отмеченные успехи силовой электроники в России, нужно подчеркнуть, что они носят локальный, ограниченный характер. Главная причина такого положения — это слабые темпы развития промышленности, в том числе и ВПК, который всегда был локомотивом развития электроники в нашей стране. Наряду с этим нам представляется, что поставленные проблемы, а также возможные пути их решения, на которые указали авторы статьи, безусловно, могут быть дополнены и уточнены другими авторами, а также читателями журнала.
2. По нашему мнению, можно определить какие-то предприятия головными, определяющими научно-техническую политику в области средств электропитания и управления электроприводом. При этом можно решать вопросы обобщения накопленного опыта, перспектив развития, создания и обновления баз данных по проблематике силовой электроники и т. д. Финансирование этого направления деятельности головного предприятия должно взять на себя государство.
3. Следует начать организацию в границах территорий федеральных округов (например, в крупных городах на одном из ведущих НИИ или вузов соответствующего профиля) подразделений усовершенствования знаний специалистов по современным задачам разработки электронных систем и приборов, в том числе импульсных источников питания, устройств управления электроприводом и других силовых устройств. Привлечь к проведению переподготовки ведущих специалистов, в том числе по силовой электронике. Здесь же могут быть организованы и консультационные центры. Финансирование этого мероприятия может быть организовано как доленое: 25–30% возьмет на себя государство (регион, город), остальное — предприятия и фирмы в виде паевых

или целевых взносов (при направлении специалистов на переподготовку).

4. Было бы полезно возродить в крупных городах (например, сначала в Москве, Санкт-Петербурге, Нижнем Новгороде, Екатеринбурге, Новосибирске) организации типа ранее существовавших Домов научно-технической пропаганды. Конечно, сейчас их функции будут иными. Например, в них могли бы проводиться конференции, семинары, симпозиумы, в том числе по проблематике силовой электроники, здесь можно организовать информационный центр, как электронный, в том числе с использованием Интернет, так и традиционный (на бумажных и иных носителях).
 5. Одна из самых важных проблем — это кадры. В перспективе фирмы должны заказывать специалистов в учебных заведениях «под себя». В этом плане должна происходить их целевая подготовка (контракт, оптимальная практика, осознание перспективы и т. п.). Но пока все это будет организовано, надо осуществлять переподготовку специалистов, в том числе и в самих фирмах. Для этой цели могут привлекаться как «свои» ведущие специалисты по силовой электронике, так и со стороны. Руководители фирм разных уровней должны понимать, что при перспективных разработках, в которых чем мощнее и сложнее силовое устройство, тем больше нужны опыт и знания активно работающих специалистов высшей квалификации. Только «золотой сплав» молодежи и опытных профессионалов старшего поколения в такой особо сложной области, как силовая электроника, способен дать положительный результат. Об издержках и негативных моментах в этом вопросе немало сказано выше, поэтому не будем повторяться.
- Авторы надеются, что эта статья заинтересует как специалистов по электронике, так и некоторые федеральные и региональные ор-

ганы, которые также должны быть обеспокоены проблемами подготовки высококлассных специалистов в передовых отраслях науки и техники.

Литература

1. Живая электроника России 2006.
2. Широков Ю. Выставка «Силовая электроника»: удачное начало и хорошие перспективы // Современная электроника. 2004. № 2.
3. Ланцов В., Эраносян С. Интеллектуальная силовая электроника: вчера, сегодня, завтра // Силовая электроника, 2006. № 1.
4. Волошин С. «Электрум АВ» — «быстрее, выше, сильнее» // Компоненты и технологии. 2005. № 1.
5. Колпаков А. Особенности применения интеллектуальных силовых модулей // Компоненты и технологии. 2002. № 3.
6. Эраносян С., Ланцов В. Пути развития и архитектура отечественных интегрированных силовых модулей для импульсных источников вторичного электропитания // Электропитание. 2005. № 3–4.
7. Эраносян С., Ланцов В. Разработка интегрированных силовых модулей и их применение в источниках вторичного электропитания // Современная электроника. 2006. № 8.
8. Медведев А. Каким быть российскому производству электроники? // Компоненты и технологии. 2007. № 4.
9. Стародубцев Ю., Белозеров В. Нанокристаллические магнитомягкие материалы // Компоненты и технологии. 2007. № 4.
10. Владимиров Е., Ланцов В., Лебедева О. Высоковольтный импульсный источник питания большой мощности с управлением от микропроцессора (часть 1) // Современная электроника. 2007. № 7.
11. Силовые полупроводниковые приборы. Пер. с английского под редакцией В. В. Токарева. Воронеж, 1995.