

Мифы и легенды российских электронщиков

Единственной настоящей ошибкой является нежелание учиться на собственных ошибках, но даже эта ошибка исправима.

Р. Ассаджоли

Советская пропаганда тратила массу усилий на развенчивание разнообразных мифов, например, о преимуществах западного образа жизни. Мы знаем, как тщетны были эти усилия и насколько противоположным оказался эффект («Гуд бай, Америка, как нас долго учили любить твои запретные плоды...»). Тем не менее, стремление к опровержению всяческих ложных (или якобы ложных) убеждений живет и владеет умами. В частности, автор этих строк потратил немало сил на разоблачение сказок как о всемогуществе программ схемотехнического моделирования, так и об их беспомощности [1, 2].

Андрей КОЛПАКОВ
Andrey.Kolpakov@semikron.com

Все это в прошлом, и ничто на свете не заставило бы снова заняться столь неблагодарным делом, если бы не желание ответить на некоторые наболевшие вопросы, касающиеся основных проблем современной силовой электроники и репутации крупнейших представителей рынка. Вряд ли имидж таких фирм, как SEMIKRON, Mitsubishi или Infineon, поколеблется, если данные вопросы не будут решены в ближайшее время, но если их удастся снять, то это, несомненно, пойдет на пользу дела. Кроме того, есть надежда, что данная публикация избавит от необходимости в сотый раз повторять одно и то же. Мифы, которые создают наши технические специалисты, чрезвычайно живучи, но, к счастью, не бессмертны, поскольку против них есть реальная сила — знание.

В предлагаемой вашему вниманию статье нам бы хотелось, не вникая в технические подробности, разрушить некоторую романтику и объяснить таинственную природу происхождения сказок, которые витают в мире силовой электроники. Сказки эти милы на слух и доставляют (особенно рассказчикам) массу удовольствия. В мире рыночной экономики легенды о батарейках, «работающих до десяти раз дольше», помогают продавать товар и служат мощным рекламным рычагом. Однако техническим специалистам, то есть людям, живущим в реальном мире, полагаться на них не стоит, ибо, пытаясь жить по законам сказки, мы сможем делать только «сказочную» аппаратуру, которая вряд ли кому-нибудь нужна...

Легенда о надежности и безнадёжности

— *Что вы мне говорите:*

«Биттлз, Биттлз!..»

Как они поют: фальшивят, картавят, в ноты не попадают!

— *А вы что, сами слышали?*

— *Да нет, мне Рабинович напел...*

Старый анекдот

Мы решили начать именно с этого мифа, поскольку считаем его наиболее вредоносным и деструктивным. Вот пример разговора, который вы и сами, возможно, слышали на выставках, семинарах, встречах.

Посетитель: А модули-то у вас плохие...

АК: А почему вы так думаете?

Посетитель: Да горят они постоянно... А вот модули компании *** вообще никогда не выходят из строя.

АК: Именно у вас горят?

Посетитель: Нет, ребята рассказывали...

АК: А ребята из какой компании? Делали ли они тепловой анализ? В каких режимах используются ключи? Правильно ли спроектированы силовые шины? Можете показать схему и результаты расчетов, описать условия эксплуатации?

Посетитель: Хороший модуль вообще гореть не должен, и никакие расчеты ему не нужны.

Обычно после этого оппонент исчезает и больше не появляется. К сожалению, скоро на его месте оказывается другой «техни-

ческий специалист» с аналогичными заявлениями. Иногда создается впечатление, что это очень одинокие люди и им просто хочется поговорить. В своей массе подобные собеседники состоят из двух категорий, условно говоря, «чайники» и «воинствующие дилетанты». Да не обидятся на меня «чайники», ибо это нормальное состояние любого человека во многих сферах, не касающихся, как правило, его профессиональной деятельности. Все мы прошли эту стадию, например, сев впервые за руль автомобиля или попытавшись в первый раз починить свой телевизор. В большинстве своем «чайники» — пытливые и заинтересованные люди, которые стремятся ликвидировать пробелы в своих знаниях. Наиболее целеустремленные из них в конце концов становятся профессионалами.

Воинствующие дилетанты — это совершенно другое дело. Гордые своим невежеством, они не хотят ничему учиться и ничего слушать, а всех, кто знает больше их, считают агентами империализма. К счастью, круг людей, стремящихся к знаниям, у нас несоизмеримо шире.

Постараемся не быть похожими на последнюю категорию и обратимся к фактам и цифрам. Во всем мире проблемой надежности занимаются серьезные ученые, по этой теме написано много книг. Существует разница в подходах и терминологии, но общие принципы расчета и прогнозирования вероятности безотказной работы изделий близки во многих странах. Основные параметры, которые используются в зарубежной литературе

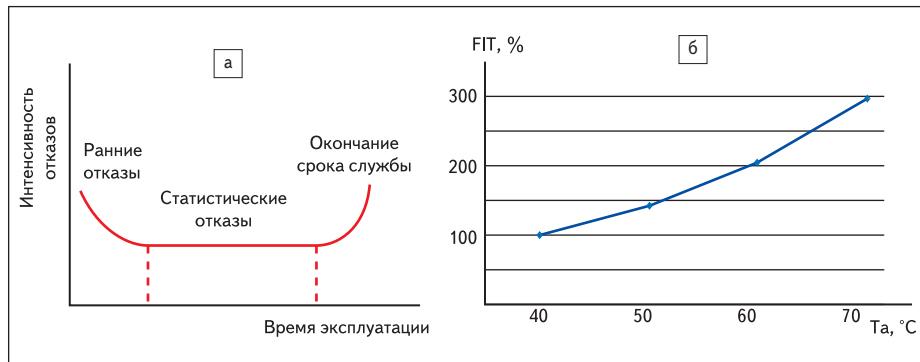


Рис. 1. а) Изменение интенсивности отказов в течение срока службы; б) зависимость параметра FIT от температуры окружающей среды T_a

для характеристики надежности электронных модулей, это FIT (Failure In Time — интенсивность отказов) и MTBF (Mean Time Between Failure — средняя наработка на отказ).

Параметр FIT (в литературе также часто используется символ λ) характеризует количество отказов в час, наблюдаемых при определенных условиях эксплуатации некоторого количества компонентов в течение определенного времени:

$$FIT = \lambda = n_f / (N \times t),$$

где n_f — количество обнаруженных отказов; N — количество испытываемых компонентов; t — время испытаний.

Как правило, параметр FIT дается в спецификациях при температуре окружающей среды 40 °C и без учета показателя степени 10^{-9} .

График зависимости частоты отказов от времени эксплуатации показан на рис. 1а. Эпюра, называемая кривой надежности, имеет три ярко выраженных участка. Первый, определяющий область ранних неисправностей, характерен спадом частоты отказов. Его длительность и скорость спада зависят, в основном, от конструкции изделия, свойств примененных материалов и уровня технологии. Статистические отказы в средней части графика имеют практически неизменную интенсивность — это время нормальной эксплуатации изделия. И, наконец, последняя область с возрастающей частотой отказов соответствует окончанию срока службы изделия. Для силовых ключей истечение ресурса сопровождается лавинообразным ростом теплового сопротивления кристаллов, разрывом электрических связей, потерей управляемости.

MTBF — величина, обратная значению интенсивности отказов; в общем случае она является суммой среднего времени до наступления отказа (MTTF — Mean Time To Failure) и среднего срока службы до ремонта (MTTR — Mean Time To Repair). В отношении электронных силовых модулей, ремонт которых, как правило, невозможен, мы рассматриваем только первую составляющую, то есть $MTBF = MTTF = 1/\lambda$.

Средняя наработка на отказ может быть определена как ожидаемое значение функции плотности распределения отказов $f(t)$:

$$MTTF = \int_0^{\infty} t f(t) dt \quad \text{при} \quad \int_0^{\infty} f(t) dt = 1.$$

Существует распространенное заблуждение, что MTBF определяет среднее время работы изделия, при котором вероятность отказа равна вероятности безотказной работы. На самом деле это равенство возможно только для случая симметричного распределения вероятности отказов. При любом несимметричном распределении, например экспоненциальном, данное утверждение несправедливо. В последнем случае вероятность того, что изделие выйдет из строя по истечении времени MTBF, составляет примерно 0,63.

Для серийно выпускаемой продукции в самом общем случае MTBF означает время, в течение которого изделие с высокой степенью вероятности должно работать при соблюдении правил эксплуатации. Этот параметр, являющийся показателем надежности, не следует использовать для прогнозирования срока службы. Например, привод с $MTBF = 100$ более надежен, чем изделие, у которого $MTBF = 50$. Однако это ни в коем случае не означает, что первый привод будет работать в 2 раза больше, чем второй, ожидаемый срок службы которого может быть даже выше.

Приведем для примера расчет предполагаемого количества отказов в год для драйвера SKHI 22. Предположим, что драйвер в течение года находится в эксплуатации 220 дней по 8 часов в день. Тогда время работы за год $t_{oper} = 220 \times 8 = 1760$ ч.

В справочных данных на SKHI 22 дается значение $MTBF = 2 \times 10^6$ при температуре окружающей среды 40 °C. Соответственно, $FIT = 1/MTBF = 500 \times 10^{-9}$ (ч⁻¹).

$$N_f = FIT \times t_{oper/year} \times 100\% = 500 \times 10^{-9} \times (220 \times 8) \times 100\% = 0,088\%/год = 880 \text{ ppm (parts per million, или промилле)}.$$

Количество компонентов, работающих в течение года без отказов, — n_s — определяется следующим образом: $n_s = MTBF/t_{oper/year} - 1 = 1135$. Это означает, что 1 из 1136 драйверов,

в среднем, должен выйти из строя в течение года при данных условиях эксплуатации.

Рассчитываемый процент брака зависит от времени работы; например, при $t_{oper/year} = 400$ ч будет гораздо меньше неисправностей:

$$N_f = FIT \times t_{oper/year} \times 100\% = 500 \times 10^{-9} \times 400 \times 100\% = 0,02\%/год = 200 \text{ ppm}.$$

Значение интенсивности отказов экспоненциально связано с температурой (закон Аррениуса). При увеличении температуры от 40 до 60 °C величина MTBF уменьшается вдвое. Зависимость параметра FIT от температуры приведена на рис. 1б.

Для стандартных модулей IGBT, которые в производственной программе SEMIKRON носят название SEMITRANS, параметр FIT равен 100. Пользуясь приведенной выше методикой, вы можете рассчитать показатель n_s и убедиться в том, что вероятный процент неисправностей окажется значительно ниже, чем для драйверов, имеющих сложную схему и содержащих большое количество компонентов.

Напомним еще раз, что показатели надежности FIT и MTBF являются статистическими, они ежегодно подтверждаются и корректируются по результатам анализа отказов. Именно отсутствие статистики является причиной того, что данные характеристики, как правило, не указываются в документации на вновь выпускаемые изделия. Естественно, что существуют ориентировочные цифры, полученные на основе эксплуатации конструктивных аналогов и знания уровня используемых технологий, но легитимными они становятся после нескольких лет массового применения изделия. Только эти и никакие другие параметры являются реальным отражением надежности продукции. Полагаться в данном вопросе на мнение коллег или сообщения «агента Бабка Сказала» («Одна Бабка Сказала») для инженеров, считающих себя серьезными специалистами, по меньшей мере странно.

Подход к анализу причин неисправностей у компаний, занимающихся производством силовых модулей, достаточно близок. Для примера расскажем о том, как данный процесс организован в компании SEMIKRON. При выходе из строя элемента заказчик составляет акт отказа, в котором указывает характер неисправности, режимы работы, приводит принципиальную схему изделия (схему подключения модуля или драйвера). Данный документ вместе с поврежденными деталями отправляется на головной завод SEMIKRON в Нюрнберге, где они попадают в специальный отдел, занимающийся анализом и выяснением причин неисправности. В течение 2–4 недель специалисты компании выпускают подробный протокол, где указывают возможные сценарии отказа и дают соответствующие рекомендации. Если же причину установить не удастся, выход из строя классифицируется как случайный, информация о нем поступает в отдел надежности

IGBT SEMIKRON приведены на рис. 2. Эти характеристики — важнейшие для обеспечения надежной работы модулей в трех основных режимах: включения, выключения и короткого замыкания (КЗ). Как и другие силовые ключи подобного типа, IGBT не предназначены для эксплуатации в линейном режиме. Обратите внимание на то, что ОБР имеет практически прямоугольную форму — это означает, что безопасная работа IGBT теоретически обеспечивается при максимальном напряжении V_{CES} и токе I_{CRM} .

В то же время превышение предельного рабочего напряжения «коллектор–эмиттер» является совершенно недопустимым, поскольку этот параметр задается производителями чипов, которые стремятся к улучшению характеристик проводимости, в том числе и за счет минимизации запаса по V_{CES} .

На одной из ежегодных конференций, проводимых SEMIKRON в Москве, мы услышали фразу, которая потрясла немецких коллег. Один из посетителей отметил, что модули IGBT производства SEMIKRON не выдерживают перегрузки, в то время как на силовые ключи Mitsubishi можно давать чуть ли не двойное напряжение без фатальных последствий. Придя в себя, Деян Шрайбер (один из ведущих специалистов SEMIKRON, который проводил семинар) ответил, что если бы производители чипов могли выпускать кристаллы IGBT с рабочим напряжением, скажем, 1200 В, которые бы пробивались при его превышении на один вольт, они бы так и делали. Искусственное создание запаса по напряжению неизбежно ведет к ухудшению характеристик проводимости, увеличению расхода кремния, повышению стоимости — это не нужно никому. На рынке доступны модули, рассчитанные на 1700, 3300 В и выше, и каждый пользователь имеет возможность выбрать элемент, обеспечивающий заданную надежность в конкретных условиях эксплуатации. Некоторый запас по напряжению, конечно, есть, но он обусловлен, во-первых, неизбежным разбросом параметров, а во-вторых, тем, что предельное значение V_{CES} нормируется при минимальной рабочей температуре, поскольку с увеличением температуры устойчивость IGBT к пробую растет.

Кроме того, не будем забывать о том, что транзисторы с напряжением 1200 В предназначены для работы в преобразователях, питающихся от сетей 380–420 В (АС), а 1700-вольтовые IGBT рассчитаны на использование при напряжении питания до 690 В (АС). Эта разница обеспечивает вполне достаточный запас, учитывающий возможные колебания питания и перенапряжение, которое образуется из-за присутствия собственной индуктивности силовых терминалов модуля L_{CE} . Напряжение на выводах питания силового ключа $V_{CEmax,T}$, которое всегда должно быть меньше нормированного значения V_{CES} (см. пунктирную прямую на рис. 2б), определяется по формуле:

SEMiX 453GB12T4s				
Symbol		Conditions	Values	Units
Absolute Maximum Ratings $T_{case} = 25^\circ\text{C}$, unless otherwise specified				
IGBT				
V_{CES}	$T_j = 25^\circ\text{C}$		1200	V
I_C	$T_j = 175^\circ\text{C}$	$T_c = 25^\circ\text{C}$	685	A
		$T_c = 80^\circ\text{C}$	525	A
I_{CRM}	$I_{CRM} = 3 \times I_{Cnom}$		1350	A
V_{GLS}			± 20	V
t_{psc}	$V_{CC} = 600\text{ V}; V_{GE} \leq 20\text{ V}; T_j = 15^\circ\text{C}$		10	μs
Inverse Diode				
I_F	$T_j = 175^\circ\text{C}$	$T_c = 25^\circ\text{C}$	545	A
		$T_c = 80^\circ\text{C}$	405	A
I_{FRM}	$I_{FRM} = 3 \times I_{Fnom}$		1350	A
Module				
$I_{(RMS)}$			600	A
T_{vj}			$-40 \dots +175$	$^\circ\text{C}$
T_{sig}			$-40 \dots +125$	$^\circ\text{C}$
V_{iscd}	AC, 1 min		4000	V

Рис. 3. Основные параметры модуля SEMiX 453GB 12T4s с кристаллами Trench 4

$V_{CEmax,T} = V_{CES} - L_{CE} \times [0,8I_C/t_f \text{ при } I_C]$,
где t_f при I_C — время спада тока.

Наличие распределенной индуктивности L_{DC} звена постоянного тока приводит к тому, что напряжение на терминалах при выключении IGBT возрастает относительно потенциала DC-шины V_{DC} на величину ΔV , определяемую индуктивностью шины и скоростью изменения тока: $\Delta V = L_{DC} \times di/dt$. При неудачной конструкции DC-шины, большой площади токовой петли ($1\text{ см}^2 \approx 10\text{ нГн}$) суммарное перенапряжение способно вывести кристаллы из строя, что часто и происходит. И никакой запас (как и установка снаберных конденсаторов) тут не поможет. Хотя парадокс психологии налицо: производитель указывает, что это предельно допустимое значение, что его нельзя превышать ни в коем случае! Так нет — подавай нам запас...

Ток

Как и в предыдущем случае, предельный ток в разных режимах задается графиками ОБР. Для подавляющего большинства современных IGBT модулей величина I_{CRM} равна удвоенному значению номинального тока коллектора: $I_{CRM} = 2I_C$. Обратите внимание на то, что при выключении транзисторов в случае короткого замыкания ток КЗ может превышать номинальное значение в 10 раз (рис. 2в). Такой режим для силовых ключей является, конечно, стрессовым, поэтому в технических характеристиках обычно оговаривается максимальное количество срабатываний схемы защиты от КЗ.

На выставке PCIM-2007, проходящей ежегодно в Нюрнберге, компания SEMIKRON представила модули IGBT нового, четвертого поколения. Усовершенствованная технология Trench 4 позволяет расширить область рабочих частот, улучшить электрические параметры силовых ключей и одновременно уменьшить размер чипов. Одно из преиму-

ществ новых силовых ключей — расширенная область безопасной работы: предельный ток коллектора в них равен утроенному значению I_{Cnom} (рис. 3).

Однако предельные значения, заданные графиками ОБР и значением I_{CRM} , носят в большей степени теоретический характер и редко используются на практике. Далее мы поговорим о том, что реально ограничивает величину рабочего тока силового ключа.

Еще раз о токе, а также мощности, частоте и температуре

Если конструкция DC-шины выполнена в соответствии со всеми рекомендациями, и проблем с перенапряжениями нет, то остается только одно ограничение, соблюдение которого необходимо для безопасной работы силового ключа, — температура кристаллов T_j . Это наиболее интегральный параметр, определяющий правильность выбора элемента, расчета его рабочих режимов и теплового анализа системы охлаждения. Соблюдение рекомендаций по обеспечению тепловых характеристик не только является залогом надежной работы; величина T_j непосредственно влияет на интенсивность отказов и срок службы изделия (рис. 1б).

Для силовых ключей, работающих в условиях циклических изменений нагрузки, собственных, например, транспортным приводам, срок службы зависит как от средней рабочей температуры T_{jm} , так и от ее перепада T_j в соответствии с соотношением:

$$N_f = A \times \Delta T_j^\alpha \times \exp\left(\frac{Q}{R \times T_{jm}}\right),$$

где $A = 640$, $\alpha = -5$, $Q = 7,8 \times 10^{-4}$ Дж/моль, $R = 8,314$ Дж/моль·К.

График зависимости предельного количества термоциклов N_f от средней температуры кристалла и ее градиента для стандартных модулей IGBT приведен на рис. 4.

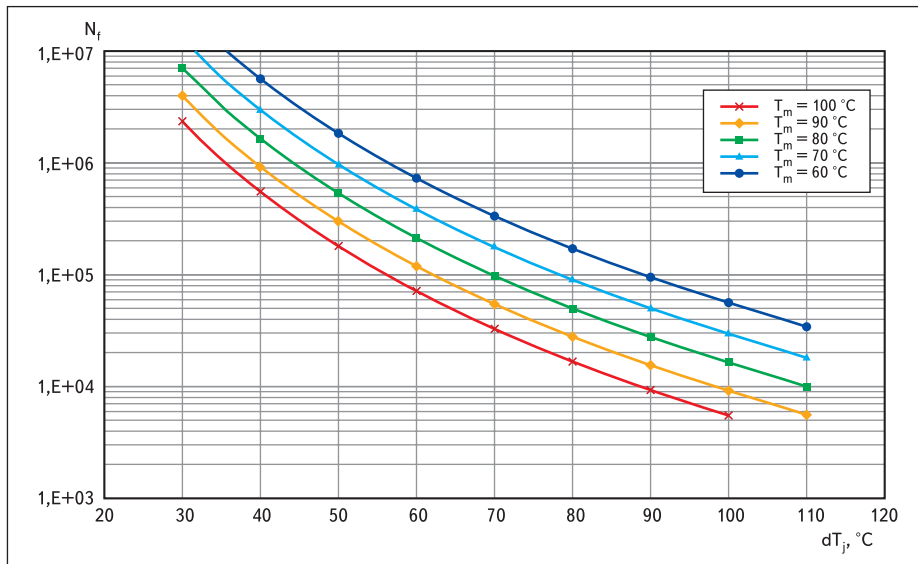


Рис. 4. Зависимость количества термоциклов N_f от средней температуры T_m и градиента dT_j

В режиме переменной нагрузки выход модуля из строя, обусловленный выработкой предельного количества термоциклов N_f , может наступить гораздо раньше срока, определенного на основании показателей надежности. Именно поэтому в приводах, предназначенных для использования на транспорте, применяются специальные силовые ключи, отличающиеся повышенной стойкостью к термоциклированию, например модули серий SKiP и SKiM.

Большинство производителей определяет следующие тепловые лимиты для силовых ключей: температура кристаллов при номинальной нагрузке не должна превышать 125 °C, а в режиме кратковременной перегрузки — 150–155 °C. Таких рекомендаций придерживались и в компании SEMIKRON до начала выпуска новой серии модулей Trench 4, упомянутых в начале главы. Для этих ключей в номинальном режиме допустим перегрев до 150 °C, а в перегрузочном — до 175 °C.

Перегрев силовых чипов по сравнению с окружающей средой определяется как произве-

дение суммарной мощности рассеяния P_V на тепловое сопротивление: $\Delta T = P_V \times R_{th(j-a)}$. В самом общем случае в установившемся состоянии потери P_V — это временной интеграл от произведения тока и напряжения:

$$P_V = \int_0^T V_{device}(i) \times I_{device}(t) dt.$$

Мощность, рассеиваемая силовым модулем, является суммой динамических P_{sw} и статических P_{cond} потерь, зависящих от рабочего тока I_C , напряжения насыщения V_{CEsat} , частоты переключения f_{sw} , энергии динамических потерь E_{sw} . Эти параметры так или иначе связаны друг с другом, кроме того, все они являются термозависимыми:

$$P_V = P_{sw} + P_{cond} = f_{sw} \times E_{sw} (\text{при } (T, I_C)) + I_C \times V_{CEsat} (\text{при } (T, I_C)).$$

Простой анализ приведенного выражения показывает, насколько сложным и ответственным является процесс теплового расчета.

Для его осуществления необходим немалый опыт и знания, он требует проведения множества итераций, связанных с наличием температурной зависимости характеристик электронных модулей. Результаты теплового анализа считают хорошими, если силовые ключи используются в режимах, близких к предельным — неоправданный запас по мощности слишком дорого стоит! Именно поэтому на вопрос: «Какой ток, частота, мощность, температура окружающей среды являются предельными для модуля в конкретных условиях эксплуатации?» ответ может быть только один: «Те, что не приводят к перегреву чипов».

Теперь проблемы, связанные с анализом температурных режимов, можно считать решенными благодаря разработке специализированных программ теплового расчета, которые предлагают ведущие производители компонентов силовой электроники: SemiSel (SEMIKRON), MelcoSim (Mitsubishi), IPOSIM (EUPEC/Infineon). Сравнительные характеристики указанных средств расчета приведены в [3]. Наиболее автоматизированной и удобной для пользователей следует признать программу SemiSel, пригодную для анализа практически всех известных схем и позволяющую оптимизировать систему охлаждения с учетом характеристик радиатора и способа отвода тепла.

Легенда о «лучшесть»

— Русские лучше, чем американцы!
 — Чем лучше?
 — Чем американцы!
 Старый советский анекдот

Можно сказать, что здесь мы продолжаем тему, затронутую в первой части статьи. Однако проблема в данном случае является более серьезной, чем кажется, поскольку уверенность в том, что продукция компании X гораздо лучше, чем у фирмы Y, в ряде случаев опирается не на информацию, полученную от «агентства АБС» (этот вариант мы не обсуждаем), а на цифры, указанные в тех-

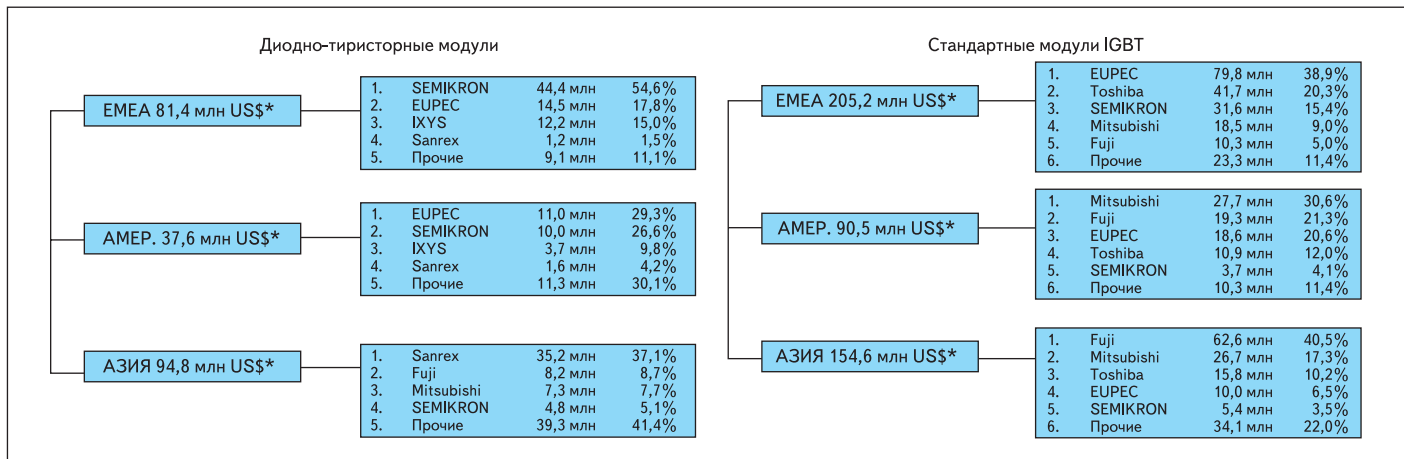


Рис. 5. Структура мирового рынка диодно-тиристорных модулей и стандартных модулей IGBT

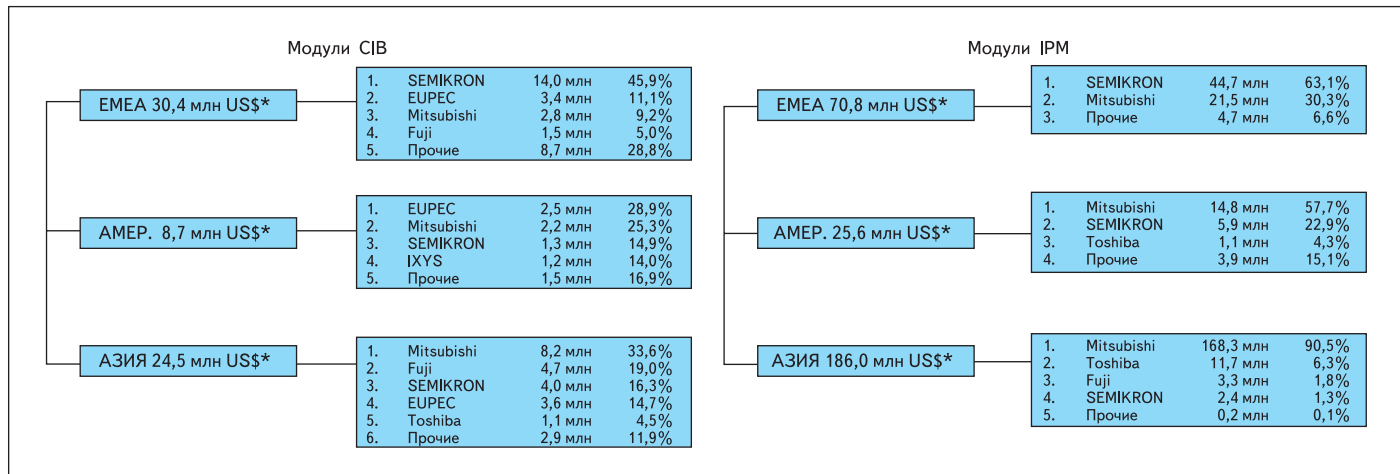


Рис. 6. Структура мирового рынка приводных модулей CIB и интеллектуальных силовых модулей IPM

нических характеристиках. К сожалению, в электронике (особенно силовой) святая вера в цифры зачастую приводит к печальным результатам...

На первый взгляд вопрос о том, чья продукция лучше, в мире нормально работающей экономики решается очень просто. Существует универсальный интегральный показатель, однозначно определяющий качество и востребованность товара — это рынок. Никакие уговоры, советы и рекламные объявления не способны заставить потребителя покупать худший товар за более высокую цену, особенно если речь идет о сложной наукоемкой продукции. Из данных, приведенных на рис. 5, 6, можно сделать вывод, какое положение занимает тот или иной производитель в конкретном регионе и по конкретной группе компонентов. Цифры взяты из отчета международной независимой организации IMS Research (www.imsresearch.com) "The worldwide market for power semiconductors".

IMS Research была основана в 1989 году и теперь является ведущим исследователем и поставщиком статистической информации о мировом рынке электроники. Компания ежегодно выпускает около 100 отчетов, их приобретают фирмы более чем в 40 странах. Головные офисы IMS Research расположены в Англии, Северной Америке, Китае, Корее и Японии. Успех IMS Research как исследовательской организации на ранней стадии был обусловлен тесными связями с полупроводниковой индустрией. В течение последних лет в сферу аналитической деятельности компании был включен широкий спектр других отраслей электронной индустрии, в том числе рынок силовой электроники.

Однако существует гораздо более серьезная и интересная проблема, связанная с корректностью сравнения технических характеристик силовых модулей, выпускаемых различными компаниями. Сложность этого вопроса обусловлена тем, что ведущие мировые производители используют разные методики определения параметров. Это приво-

Таблица. Значения тепловых сопротивлений при различных методах измерения

Тип модуля	$R_{th(j-c)}$, °C/Вт		$R_{th(c-s)}$, °C/Вт		
	Измеренное значение	Справочное значение	Измеренное значение, метод А	Измеренное значение, метод В	Справочное значение
SKM600GA125D	0,034	0,041	0,038	0,020	0,038
FZ400R12KS4	0,039	0,050	0,032	0,018	0,010

дит как к ошибкам в расчетах электрических и тепловых режимов, так и к неправильным выводам относительно качества продукции той или иной компании.

Приведем только один наглядный пример, касающийся тепловых параметров модулей SKM600GA125D (SEMİKRON) и FZ400R12KS4 (EUPEC), выпускаемых по схожей технологии на базе одинаковых силовых чипов и имеющих близкую конструкцию корпуса. В таблице даны результаты измерений важнейших характеристик силовых ключей: теплового сопротивления «кристалл–корпус» $R_{th(j-c)}$ и «корпус–радиатор» $R_{th(c-s)}$, выполненных с помощью стандартных методик А и В [4] на одном испытательном стенде.

Как и следовало ожидать, при использовании одинаковых методов измерения разница в значениях теплового сопротивления «корпус–тепlostок» оказалась незначительной, в то время как справочные величины отличаются весьма существенно (почти в 4 раза). Вопросу сопоставления технических параметров и поиску замен посвящено немало публикаций (например [3, 4]). По нашему глубокому убеждению, способность читать технические характеристики «между строк», понимание физической сущности параметров и умение сравнивать их с учетом методик измерения являются свидетельством высокой квалификации инженера.

Что же касается пресловутой «магии бренда», то не будем забывать, что репутация компании создается десятилетиями и держится не на сказках, а на регулярно подтверждаемых статистических данных о надежности, результатах испытаний, уровне технической поддержки, количестве инноваций. У таких гром-

ких имен, как SEMİKRON и Mitsubishi, или, скажем, Mercedes и Audi, несомненно, есть магия. Они во многом были первыми, они рождались вместе со своей техникой и своими автомобилями и стали легендами. И платя за бренд, вы отдаете деньги не за имя, а за проверенную годами надежность и качество.

Легенда о писательской славе (лирическое отступление)

Инда взопрели озимые. Рассупилося солнышко, расталдыкнуло свои лучи по белу светушки. Понохал старик Ромуальдыч свою портянку и аж заколдобился...

Ильф и Петров. «Золотой Теленок»

Будучи по совместительству техническим редактором журнала «Силовая Электроника» и вынужденный вследствие этого прочитывать массу поступающего материала, хочу упомянуть о некоторых распространенных заблуждениях, связанных с неистребимой народной верой в силу печатного слова. Тут и понятное желание увидеть свою фамилию в качестве автора публикации, и странная убежденность в том, что любая, даже небрежно написанная рекламная статья способствует продвижению продукции...

Уважаемые коллеги-авторы, поверьте, все совсем не так, а даже наоборот! Статью, безграмотно написанную с технической точки зрения, все равно никто не будет читать. Она способна не привлечь внимание, а скорее, оттолкнуть. Хуже того, если понимающий человек решит от скуки такой материал просмотреть, он еще и посмеется.

Но даже блестящая с инженерной точки зрения статья способна отторгнуть читателя, если она написана корявым русским языком. Хороший стиль для технической статьи не менее важен, чем для литературы любого иного рода. Чтение специального текста затруднено уже тем, что приходится разбираться в новых терминах и понятиях, а безграмотно построенные фразы превращают процесс восприятия в тяжкий труд.

Вот лишь несколько перлов из богатой коллекции Павла Правосудова — главного редактора журналов «Компоненты и технологии» и «Силовая электроника»:

- «Главное достижение этого несомненного прорыва...».
- «Представители компании ... подчеркивают полностью монолитное решение усилителя, которое обеспечивает наряду с воспроизводимостью характеристик усилителя в устройстве возможность расширения применяемых областей».
- «Заметив, что преобразователи ... характеризуются непрерывным током потребления, было предложено строить преобразователи... по принципу преобразователей...».

Очевидно, что приведенные примеры в комментариях не нуждаются. Представьте себя на месте авторов этих строк: как потом смотреть в глаза коллегам и друзьям?

В журнале «Компоненты и технологии» № 5 за 2007 год опубликован замечательный труд Кивы Джуриного «Как написать научную статью? Советы начинающему автору». Одна фраза там, как мне кажется, содержится в себе главную идею технического писательского творчества: «Автор должен так написать о том, что неизвестно другим, чтобы это неизвестное стало ясным читателю в такой же степени, как и ему самому».

Очень рекомендую всем любителям эпистолярного жанра прочитать эту статью и руководствоваться приведенными в ней советами. Тогда написанный вами опус с удовольствием напечатает любой журнал, а читатели будут вспоминать вас с благодарностью.

К сказанному Джуриным могу добавить только два небольших, но важных замечания:

- Старайтесь не писать о том, в чем не разобрались полностью. Особенно это касается использования зарубежной технической литературы: некомпетентный перевод способен полностью исказить смысл текста (даже если переводчик хорошо знает язык).
- Перед отправкой в издательство покажите статью человеку, который способен не только увидеть ошибки, но и оценить стиль (учителю, филологу). Правильно расставленные знаки препинания и хороший язык изложения облегчают восприятие текста.

Как было бы хорошо, если бы каждый занимался своим делом... Не могу отказать себе в удовольствии процитировать замечательную фразу из книги братьев Стругацких «Понедельник начинается в субботу», сказанную заместителем директора НИИЧАВО по административно-хозяйственной части Модестом Матвеевичем Камноедовым: «Все должны быть на своих местах. Всегда. У вас вот высшее образование, и очки, и бороду вот отрасли, а понять такой простой теоремы не можете».

Заключение, или Легенда об исконно русском пути

В России принята государственная программа развития силовой электроники. Это не может не радовать, и если данной области техники будет отдана хотя бы десятая часть внимания, уделяемого нанотехнологиям, то определенно есть шанс.

Раздаются с разных сторон голоса, что всякие там MOSFET и IGBT — это серийная продукция, штамповка, а нам надо искать свой путь и создавать принципиально новые ключи. Эта сказка рассчитана на творчески и патристически настроенных специалистов, не желающих идти проторенной тропой. Видится тут лукавое желание в очередной раз урвать кусок финансового пирога: сколько миллионов было освоено «в корзину» в прежние годы, сколько разработок отправилось в архив... И ничего, небо не разверзлось, никто не пострадал.

Наше многолетнее отставание в области силовых полупроводников дает хороший шанс выбрать лучшее и не повторять чужих ошибок, не наступать в сотый раз на те же грабли. В мире очень мало компаний, предлагающих чипы, но достаточно много производителей силовых модулей. Главных конкурентов на европейском силовом рынке — SEMIKRON и EUPEC — совершенно не смущает то, что они используют кристаллы компании Infineon. При этом обе фирмы создают уникальные модули, отличающиеся конструктивом, электрическими и тепловыми характеристиками, интеллектуальной насыщенностью.

А может быть, мы пытаемся все время сделать что-то не похуже ни на что, просто потому, что не можем хорошо повторить? Основное отличие «опеля» (про «мерседесы» не говорим) от «жигулей» состоит не только в том, что он более тщательно спроектирован и выполнен из более качественных материалов. Главное, что при его производстве применяют именно те гайки, которые записаны в спецификации, и они затянуты именно тем инструментом и с тем моментом, которые указаны в технологических картах.

Интересное наблюдение: среди ведущих разработчиков SEMIKRON есть славяне, итальянцы, французы, индусы. Но разработкой технологических процессов, наблюдением за ходом производства, выпуском технической документации, а также финансовым контролем занимаются только немцы. Как вы думаете, почему? Кстати, при проверке модулей SEMIKRON на сопротивление изоляции они считаются неисправными, если значение сопротивления оказывается не только ниже, но и выше допуска. Потому что это тоже свидетельство нарушения технологии. В свое время мало кто обратил внимание на то, что когда в СССР пытались совершить научно-техническую революцию, на Западе происходила революция технологическая. Пока мы пытались заниматься схемотехникой и ковали научные кадры, они создавали новые технологии, материалы, средства автоматизированного проектирования. Теперь мы имеем то, что имеем. ■

Литература

1. Колпаков А. Практика и психология разработки // Электронные компоненты. 2000. № 5.
2. Колпаков А. Нас оставалось только трое... // Живая электроника России. 2003.
3. Колпаков А. MELCOSIM? IPOSIM? SEMISEL? О выборе и замене модулей IGBT // Силовая электроника. 2005. № 1.
4. Колпаков А. Контрольная точка, или Об умении читать datasheet между строк // Электронные компоненты. 2005. № 6.
5. Тынку С. Любимые сказки российских мастеров. Материалы сайта www.guitars.ru
6. Джуриный К. Как написать научную статью // Компоненты и технологии. 2007. № 5.