SE#7(1)_web.qxd 08.08.2007 18:19 Page 68

Полезный софт от компании SEMIKRON

Любой разработчик знает, насколько сложным является этап выбора компонентов для силового каскада и расчета режимов их работы. Сложность выбора компонента заключается в том, что желательно максимально использовать его мощностные характеристики и при этом не выйти за пределы области безопасной работы. Специализированное программное обеспечение, позволяющее упростить процесс выбора и расчета электрических и тепловых режимов, сейчас предлагается многими ведущими производителями силовых модулей [1]. Программа SemiSel, разработанная специалистами компании SEMIKRON, решает эту задачу наиболее полно и с ней хорошо знакомы многие российские специалисты, работающие в области силовой электроники. Однако мало кто знает, что SEMIKRON предлагает целый ряд других интересных и полезных программных продуктов, призванных облегчить процесс проектирования.

Андрей Колпаков

Andrey.Kolpakov@semikron.com

Программа теплового расчета SemiSel

Программы расчета режимов работы силовых ключей, предлагаемые в настоящее время большинством ведущих фирм-производителей, предназначены, в первую очередь, для определения рассеиваемой мощности и температуры силовых кристаллов при заданных режимах работы. Анализ тепловых характеристик ключей в предельных режимах эксплуатации позволяет однозначно выбрать силовой модуль и гарантировать его надежную работу.

Наиболее полно задачу теплового расчета и выбора силовых ключей решает программа SemiSel, разработанная фирмой SEMIKRON [2–4]. В отличие от вычислительных средств, предлагаемых компаниями-конкурентами (Mitsubishi, EUPEC, Fuji), эта программа производит анализ тепловых характеристик на основании температуры окружающей среды, позволяет выбрать и оптимизировать режим охлаждения. Только SemiSel дает возможность учесть такие важные тепловые параметры конструкции силового преобразователя, как:

- способ охлаждения (естественный, принудительный воздушный, принудительный жидкостный) и режим охлаждения (скорость потока охлаждающей среды);
- тип и характеристики теплоотвода;
- параллельное соединение модулей на радиаторе;
- наличие дополнительного источника тепла на радиаторе.

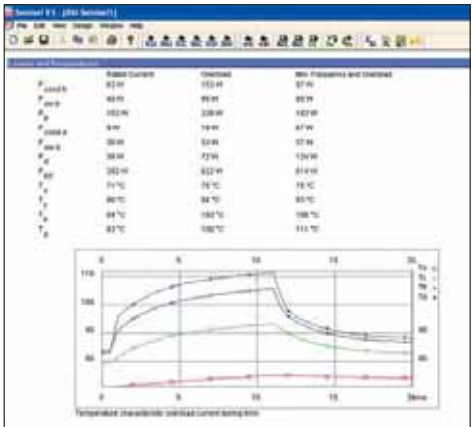

Рис. 1. Окно с результатами вычислений программы SemiSel

Напомним, как происходит работа с программой, окно результатов расчета которой показано на рис. 1. Для проведения теплового расчета в новой версии SemiSel 3.0, основные особенности которой будут описаны ниже, необходимо выбрать меню **Step By Step Design**. Анализ тепловых характеристик схемы состоит из следующих этапов:

1. **Выбор конфигурации.** В отличие от программ, предлагаемых EUPEC и Mitsubishi и ориентированных на расчет потерь силовых ключей 3-фазного инвертора, SemiSel позволяет осуществлять тепловой анализ следующих конфигураций схем:
   - **AC/DC**:
     - B2U — однофазный выпрямительный мост;
     - B2H — однофазный полууправляемый тиристорный мост;
     - B2C — однофазный управляемый тиристорный мост;
     - B6U — трехфазный выпрямительный мост;
     - B6H — трехфазный полууправляемый тиристорный мост;
     - B6C — трехфазный управляемый тиристорный мост;
   - **AC/AC**:
     - W1C — тиристорный ключ;
     - W3C — трехфазный тиристорный ключ;

SE#7(1)_web.qxd 08.08.2007 18:19 Page 69

- **DC/AC**:
  - Inverter_1_phases — полный мостовой каскад в режиме непрерывного и прерывистого тока;
  - Inverter_3_phases — 3-фазный мостовой каскад;
- **DC/DC**:
  - Buck — чоппер верхнего плеча;
  - Boost — чоппер нижнего плеча.

Следует отметить, что все указанные схемы реализованы в модулях, производимых компанией SEMIKRON.

2. **Ввод исходных данных**, соответствующих режиму эксплуатации модуля. Это основные параметры, необходимые для расчета мощности потерь. На этом этапе пользователь определяет номинальные электрические характеристики (токи, напряжения, частоты), а также коэффициент и длительность режима перегрузки.

Рис. 2. Выбор типа элемента и описание системы охлаждения

3. **Выбор конструктива модуля и его типа** (верхнее окно на рис. 2). На этом этапе пользователь также может определить, какие параметры прямой характеристики модулей (номинальные или предельные) будут использоваться при вычислениях; вводятся корректирующие коэффициенты для расчета мощности потерь (Correction Factor of Switching Losses) в случае, если силовой ключ работает не в режиме «жесткого переключения». Программа позволяет использовать базу данных устаревших компонентов SEMIKRON (Add Former Generations).
4. **Задание условий охлаждения.** Вводимая информация необходима для расчета температуры перегрева силовых кристаллов. На этой стадии, меню которой показано в нижней части рис. 2, указываются следующие параметры:
   - T_a — температура окружающей среды.
   - Number of switches per heatsink — количество силовых ключей на кристалле, number of parallel devices on the same heatsink — количество параллельно соединенных на одном радиаторе модулей.
   - Cooling method — способ охлаждения. Расчет может производиться для естественного (natural air) режима, режима принудительной вентиляции (forced air) и режима водяного охлаждения (water).
   - SK model — тип теплостока производства SEMIKRON. После выбора автоматически заполняется графа теплового сопротивления R_{thha}.
   - Correction factor. С помощью этого коэффициента можно изменять значение теплового сопротивления «теплосток — окружающая среда» R_{thha}.
   - Flow rate — скорость протекания воздуха или жидкости в режиме принудительного охлаждения.
   - Self defined heatsink — параметры теплоотвода пользователя.
   - Fixed heatsink temperature — расчет перегрева кристалла при фиксированной температуре радиатора.

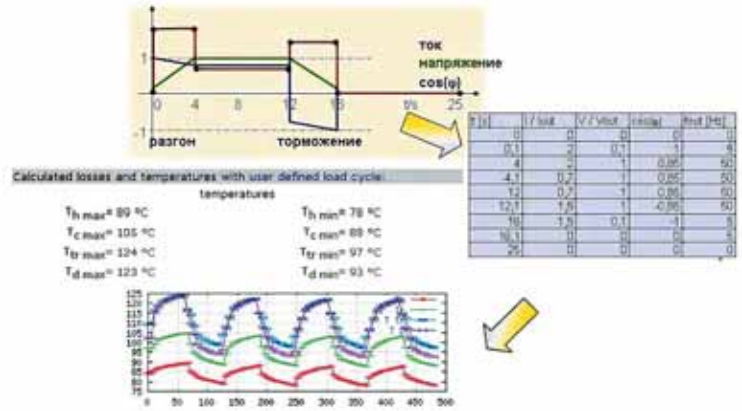

Рис. 3. Рабочий цикл, определяемый пользователем, результаты расчета

В результате расчета программа формирует таблицу, в которой приводятся исходные данные, величина мощности, рассеиваемой каждым из активных элементов модуля, и температура на каждом кристалле и конструкционном элементе модуля. Фрагмент таблицы с результатами вычислений показан на рис. 1. Очень важно, что кроме статического значения температуры SemiSel производит динамический тепловой расчет в режиме перегрузки (см. график на рис. 1), учитывается также перегрев в пусковых режимах при низкой частоте огибающей.

Программа SemiSel позволяет рассчитывать не только стационарные статические и динамические тепловые режимы, но и переходные рабочие циклы, определяемые пользователем (**user defined load cycle**). Такая возможность чрезвычайно полезна, например, для анализа режима пуска и остановки двигателя. График подобного цикла приведен на рис. 3. Как показано на рисунке, информация о рабочих режимах задается в виде таблицы, содержащей данные о моменте времени, токе и напряжении в отношении к номинальным значениям (*I*/*Iout*, *V*/*Vout*), а также значения cos(φ) и частоты огибающей f_{out}. При таком способе задания исходных данных программа будет осуществлять расчет тепловых характеристик для каждого этапа рабочего цикла.

С лета 2005 года на сайте SEMIKRON стала доступна новая версия 3.0.8 программы, предоставляющая пользователям ряд интересных дополнительных возможностей (см. рис. 4).

Сама программа SemiSel усовершенствована, а точность анализа повышена за счет следующих доработок:

- в режиме расчета перегрузки при низких частотах огибающей (пуск привода) коэффициент коррекции вычисляется для каждого типа модуля в зависимости от его теплового сопротивления;
- частота коммутации для модулей SKiiP ограничена на уровне справочных значений;
- при использовании опции «**user defined load cycle**» (рабочий цикл, определенный пользователем) на порядок повышено количество итераций;
- программа обслуживается новым скоростным сервером.

Кроме указанных дополнений программа получила чрезвычайно полезную и информативную возможность построения следующих графиков (см. рис. 5):

- $I_{out} = f(f_{sw})$ — зависимость выходного тока от частоты ШИМ;
- $P_v = f(I_{out})$ — зависимость мощности потерь от выходного тока;
- $T_J = f(I_{out})$ — зависимость температуры кристалла от выходного тока;

Рис. 4. Исходное меню SemiSel 3.0.8

SE#7(1)_web.qxd 08.08.2007 18:19 Page 70

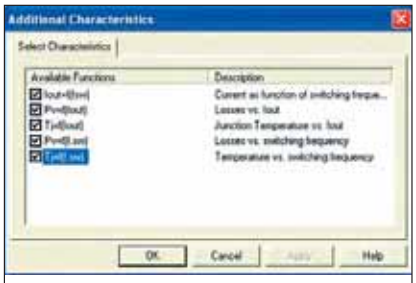

Рис. 5. Задание на построение графиков

- $P_v = f(f_{sw})$ — зависимость мощности потерь от частоты ШИМ;
- $T_J = f(f_{sw})$ — зависимость температуры кристалла потерь от частоты ШИМ.

Задание на построение графиков устанавливается командой меню Edit/Characteristics.

Как видно из рис. 4, теперь SemiSel предлагает пользователю 4 режима работы:

- **Step by Step design** — основная программа расчета мощности потерь и температуры кристаллов;
- **StackSel** — программа выбора готовой сборки серии SEMISTACK на основании заданных рабочих режимов;
- **Device Proposal** — программа выбора силового модуля SEMIKRON на основании заданных рабочих режимов;
- **Driver Select** — программа расчета режимов и выбора типа драйвера.

Меню ввода исходных данных для второго и третьего режимов показаны на рис. 6. В своих ранних вариантах программа SemiSel позиционировалась как средство расчета тепловых режимов и выбора компонентов (Sel — от select). Это действительно можно было сделать путем проб и ошибок. В новой версии задача выбора силового модуля решена непосредственно: пользуясь режимом Device Proposal (рис. 6B), вы задаете конфигурацию схемы и режимы работы, после этого программа предложит все возможные типы модулей SEMIKRON, пригодные для решения задачи.

Описанная возможность расширена за счет режима StackSel. В данном случае после выбора конфигурации и ввода рабочих режимов вы получите ссылки на технические характеристики готовых сборок серии SEMISTACK (см. рис. 6A).

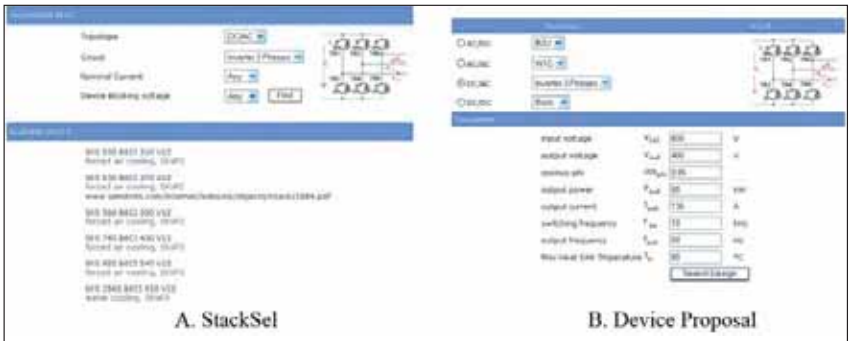

Рис. 6. Меню ввода исходных данных StackSel и Device Proposal

Самой интересной из новых опций является возможность расчета режимов и выбора типа драйвера Driver Select. Данная программа доступна и в самостоятельной версии DriverSel, о которой подробнее мы расскажем далее.

Программа расчета режимов и выбора драйверов DriverSel

В производственной программе фирмы SEMIKRON имеются модули MOSFET с напряжением 100 и 200 В и током до 450 А, а также модули IGBT с напряжением 600, 1200 и 1700 В, рассчитанные на ток до 1000 А. Компания предлагает широкую гамму устройств управления, согласованных по параметрам и конструктивному исполнению со всеми выпускаемыми силовыми ключевыми компонентами. В последних версиях программы SemiSel в процессе работы для каждого типа модуля предлагается соответствующий драйвер.

Выгодным отличием драйверов SEMIKRON от аналогичных изделий является обязательное наличие гальванической развязки сигналов управления и сигналов неисправности, а также включение в состав драйвера изолированного DC/DC-конвертора. Все это позволяет создавать силовые преобразовательные устройства с максимальным уровнем функциональности и надежности. Для автоматизации процесса расчета параметров и выбора типа драйвера для конкретного применения предназначена программа DriverSel.

На рис. 7 показано рабочее меню DriverSel, состоящее из 3 фрагментов: окно ввода данных (**Enter Application Parameters**), окно с результатами вычислений (**Calculated Results**) и типы драйверов, рекомендуемые SEMIKRON для заданных режимов работы (**Suggestion of SEMIKRON IGBT Driver**).

Для пользования DriverSel необходимо задать следующие исходные параметры:

1. Тип модуля (в данном случае SEMiX 653GD176HDc), при этом программа получает из базы данных информацию о заряде затвора Q_G, рабочем напряжении V_{CE} и конфигурации модуля;
2. Количество параллельно соединенных модулей (Number of parallel IGBT modules) — это число позволяет определить суммарный заряд затвора, на основании чего производится расчет мощности, рассеиваемой драйвером;
3. Рабочая частота f_{sw} — информация, также необходимая для определения рассеиваемой мощности;
4. Номинал резистора затвора (Gate resistor).

В первом окне не обязательно указывать тип модуля SEMIKRON. Если выбрать режим «User Defined Module Parameters» (параметры модуля, определяемые пользователем), то появится дополнительное меню, позволяющее определить следующие характеристики IGBT:

- Gate charge per module (заряд затвора модуля в мкКл);
- Collector — Emitter Voltage (напряжение «коллектор — эмиттер»);
- Number of switch per module (количество ключей в модуле: 1 — одиночный ключ, 2 — полумост, 6 — 3-фазный мост, 7 — 3-фазный мост с тормозным чоппером).

Для корректной работы DriverSel при описании характеристик IGBT требуется указать два значения заряда затвора: для напряжения открывания транзистора +15 В и напряжения запирания –8 В.

Величина резистора затвора R_G необходима для вычисления пикового тока управления. На основании полученных данных программа будет выбирать драйвер с соответствующим значением предельного тока. Если номиналы резисторов для режимов включения и выключения R_{Gon}/R_{Goff} различаются, то нужно использовать минимальное значение. В том случае,

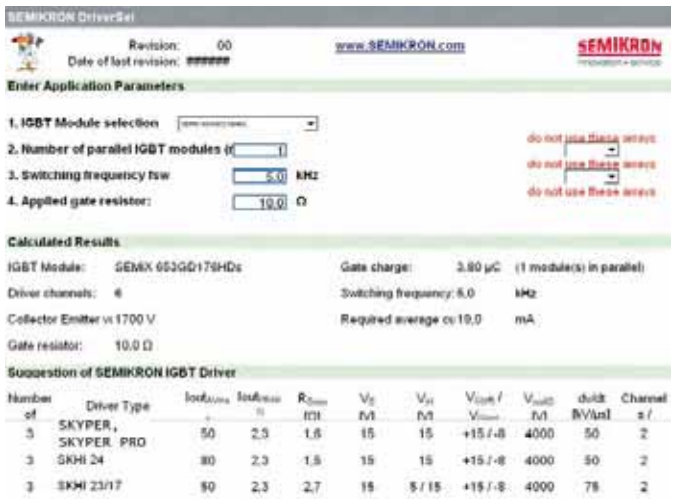

Рис. 7. Меню программы DriverSel

SE#7(1)_web.qxd 08.08.2007 18:19 Page 71

когда величина резистора неизвестна, можно задать 10 Ом, при этом необходимо учесть, что рекомендуемое минимальное значение R_{Gmin} будет показано в результатах расчетов.

Введя требуемые данные, вы получите в результате рекомендации Suggestion for SEMIKRON IGBT driver по типу драйвера и его характеристикам в виде, представленном в нижней части рис. 2:

- Number of Drivers — необходимое для данного модуля количество схем управления (например, 3 полумостовых драйвера для 3-фазного модуля);
- $I_{outPEAK}$ — пиковое значение выходного тока драйвера, определяемое по формуле $I_{outPEAK} = V_{GE}/R_G$;
- $I_{outAVmax}$, R_{Gmin}, V_S — справочные значения среднего тока, минимального резистора затвора и напряжения питания для драйвера данного типа

Программа выдаст замечание «A suitable driver could not be found», если для заданных условий корректно выбрать устройство управления невозможно. Это может быть в случае, когда суммарный заряд затвора оказывается недопустимо большим (большое количество параллельно соединенных модулей), слишком велика частота коммутации или заданный резистор затвора меньше минимально возможного значения.

Калькулятор параметров драйверов R_{CE}, C_{CE}, V_{CEstat}, t_{bl}

На рис. 7 среди рекомендованных типов драйверов указан SKYPER (SKYPER PRO), впервые представленный компанией SEMIKRON на выставке PCIM, прошедшей в Нюрнберге в мае 2004 года. На основе SKYPER/SKYPER PRO (в окончательной версии — SKYPER 32/SKYPER 32PRO) и модулей IGBT SEMiX строится новое поколение интеллектуальных силовых модулей SEMIKRON.

Драйвер SKYPER 32, внешний вид которого показан на рис. 8, является основой для построения серии устройств управления затвором MOSFET/IGBT. Он содержит набор базовых функций и блоков, необходимых в большинстве практических схем: блок обработки сигнала с изолированным интерфейсом, устройство защиты, входные каскады управления изолированными затворами и изолированный DC/DC-преобразователь. Связь ядра с силовым модулем осуществляется с помощью платы адаптера, осуществляющей механический интерфейс. На плате адаптера устанавливаются компоненты, являющиеся специфическими для конкретного применения, например, резисторы затвора и элементы, необходимые для работы схемы защиты от выхода из насыщения DESAT. Данное техническое решение обеспечивает простое, недорогое и надежное решение для большинства практических применений. Сильным аргументом в пользу SKYPER 32 является тот факт, что основой для его разработки послужила схема драйвера SKHI 22, выпущенного в сотнях тысяч экземпляров, проверенного временем и доказавшего свою надежность и высокие потребительские свойства.

Рис. 8. Внешний вид «ядра» SKYPER 32

Кроме выполнения основных задач управления затворами транзисторов полумостового каскада и формирования изолированных напряжений питания SKYPER 32 содержит следующий набор функций:

- защита от выхода транзистора из режима насыщения (DESAT);
- подавление коротких импульсов;
- формирование времени задержки переключения транзисторов полумоста (deadtime);
- защита от падения напряжения питания (UVP, UVLO);
- обработка и формирование сигнала неисправности.

Расширенная версия драйвера SKYPER 32PRO содержит защиту от перегрева, функцию плавного отключения в аварийном режиме SSD (Soft Shut Down) и обладает некоторыми дополнительными сервисными функциями.

Отключение транзисторов при достижении напряжением насыщения (V_{CEsat}) заданного порога является наиболее известным и распространенным способом защиты. В англоязычной литературе данный тип защиты называется DESAT (от desaturation — выход из насыщения). Контроль напряжения насыщения позволяет выявить перегрузку по току, вызванную замыканием нагрузки, пробоем выхода на корпус или сквозным током при открывании (или пробое оппозитного транзистора). Такой способ защиты является достаточно быстродействующим, не подверженным воздействию электромагнитных помех (как в случае индукционных датчиков тока), он не приводит к дополнительным потерям мощности в отличие от схем защиты с использованием резистивных шунтов.

При использовании защиты DESAT ее необходимо блокировать в течение некоторого времени T_{bl} (в англоязычной литературе — blanking time) после подачи отпирающего напряжения на затвор транзистора. Дело в том, что между моментом включения транзистора и его входом в насыщение существует задержка, равная сумме времени задержки включения t_{don} и времени включения t_r. Все это время на коллекторе присутствует достаточно высокое напряжение, которое может быть воспринято схемой защиты, как перегрузка по току. Необходимое время запрета зависит от типа транзистора, также как и требуемый уровень V_{CEsat}, при котором должно произойти отключение транзистора и который определяется по графику зависимости $V_{CE} = f(I_C)$.

Для возможности «адаптации» схемы защиты драйверов SKYPER и SKHI 22 к параметрам конкретного силового модуля используются подстроечные элементы R_{CE}, C_{CE}, устанавливаемые на печатной плате адаптера. Особенностью работы защиты DESAT драйвера SKYPER является использование динамического опорного напряжения V_{CEref}, а сама идеология защиты, заложенная в SKYPER, носит название DSCP — Dynamic Short Circuit Protection. Графики, приведенные на рис. 9, показывают, как меняется опорное напряжение схемы защиты V_{CEref} при открывании транзистора (момент времени T_{on}) при нормальной работе (а) и перегрузке (б). Динамический характер изменения опорного напряжения, согласованный с кривой спада напряжения «коллектор-эмиттер» позволяет сократить время реакции (уменьшить T_{bl}) и снизить риск ложных срабатываний.

При отсутствии состояния перегрузки опорное напряжение схемы защиты и напряжение насыщения V_{CEsat} достигают установившегося значения V_{CEstat}. На рис. 9б показано, что при возникновении аварийной ситуации V_{CEsat} сравнивается с опорным напряжением, после чего отключаются силовые транзисторы.

Как было указано выше, время запрета срабатывания защиты T_{bl} и напряжение срабатывания V_{CEstat} могут регулироваться элементами, устанавливаемыми на печатных платах драйверов SKHI 22, SKHI 24 и плате адаптера SKYPER. Для упрощения расчета данных параметров предназначен специализированный калькулятор, меню которого показано на рис. 10.

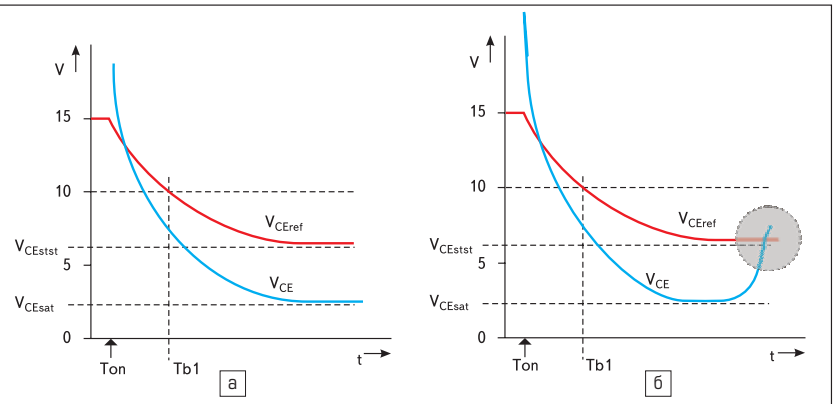

Рис. 9. Формирование опорного напряжения динамической защиты DSCP

SE#7(1)_web.qxd 08.08.2007 18:19 Page 72

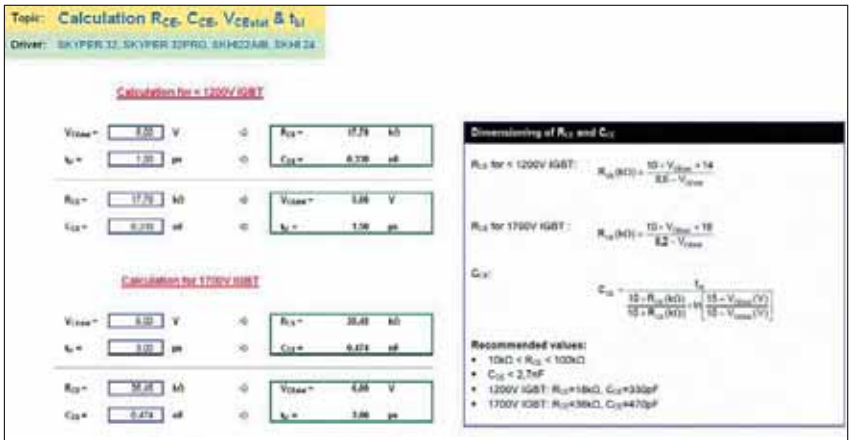

Рис. 10. Меню программы Calculation R_{CE}, C_{CE}, V_{CEstat}, t_{bl}

Пользование калькулятором предельно просто: можно задать требуемые значения V_{CEstat}, t_{bl}, и программа вычислит необходимые номиналы R_{CE}, C_{CE}, или ввести значения резистора и конденсатора и получить соответствующие величины напряжения и времени задержки. Результаты зависят от рабочего напряжения силового модуля (1200 или 1700 В), поэтому для вычислений используются два разных окна. Применяемые для расчетов формулы и рекомендуемые SEMIKRON значения приведены в правом окне программы.

Программа SEMIKUBE Configuration Calculator

Компания SEMIKRON хорошо известна своими уникальными разработками в области силовой преобразовательной техники. В 2005 году было закончено объединение 9 научных центров фирмы, расположенных в Южной Корее, Австралии, Южной Африке, США, Франции, Англии, Бразилии, Индии и Словении в глобальную международную дизайнерскую сеть (Solution Centers Network). Основной задачей нового центра является создание базовых конструкций силовых сборок для основных промышленных применений. Включение исследовательских лабораторий, разбросанных по всему миру, в единую сеть позволяет объединить их возможности в области разработки, испытаний, маркетинга, логистики и технического сопровождения.

В декабре 2004 года фирма представила первый проект, выполненный в рамках глобальной сети. Потребителям была предложена конструктивная платформа конфигурации B6CI (выпрямитель + инвертор) со сверхнизкой индуктивностью силовых шин, предназначенная для построения приводов мощностью 100–900 кВт. Новый конструктив, получивший название SEMIKUBE [7], представляет собой компактный стандартизованный универсальный модуль, предназначенный для решения широкого круга приводных задач. Разработка первой в мире универсальной инверторной платформы явилась результатом 45-летней работы SEMIKRON в области проектирования силовых сборок.

Базовый единичный модуль SEMIKUBE 1 (см. рис. 11) содержит 4 узла, которые могут включать выпрямительный мост, модули IGBT, датчик тока и соединительные шины. Модуль может работать как 3-фазный инвертор с выпрямителем или как полумостовой каскад более мощного инвертора. Для увеличения выходной мощности единичные модули соединяются параллельно в горизонтальном или вертикальном положении, соответствующие конфигурации имеют обозначение 2V, 3V (2 или 3 блока по вертикали) или 2H, 3H (2 или 3 блока по горизонтали).

Для автоматизации процесса расчета рабочих режимов и выбора компонентов платформы специалистами компании разработана программа, названная SEMIKUBE Configuration Calculator. Внешний вид рабочего меню программы показан на рис. 12.

При работе с программой необходимо учитывать следующие положения:

- все расчеты производятся для синусоидального выходного тока без учета гармонических составляющих;
- частота огибающей выходного напряжения должна быть выше 2 Гц;
- анализ режима перегрузки по току производится для случая импульсного характера перегрузки (плавный режим нарастания тока не рассматривается).

Работа с программой включает следующие этапы:

1. Выбор типа модуля SEMIKUBE: 1/2, 1, 2V, 2H, 3V, 3H.
2. Выбор типа силового ключа: SKM300GB126D, SKM300GB128D, SKM400GB126D, SKM400GB128D, SKM600GB126D.
3. Выбор типа выпрямителя (диодного или тиристорного). Для версий без выпрямительного моста выбирается строка No rectifier.
4. Ввод рабочих режимов в ячейки, помеченные желтым цветом:
   - Ambient temperature — максимальная температура окружающей среды;
   - I (RMS) — эффективное (среднеквадратичное) значение выходного тока инвертора;
   - Overload duration — длительность режима перегрузки;
   - Cycle period — период повторения состояния перегрузки;
   - Overload Factor — коэффициент перегрузки;
   - Output frequency — частота огибающей;
   - Switch. Freq — частота ШИМ;
   - Uac — эффективное значение выходного напряжения;
   - Udc — постоянное напряжение DC-шины.

При вводе каждой переменной программа автоматически производит вычисления тока перегрузки (Overload current), суммарной мощ-

Рис. 11. Внешний вид модуля SEMIKUBE 1 мощностью 220 кВт

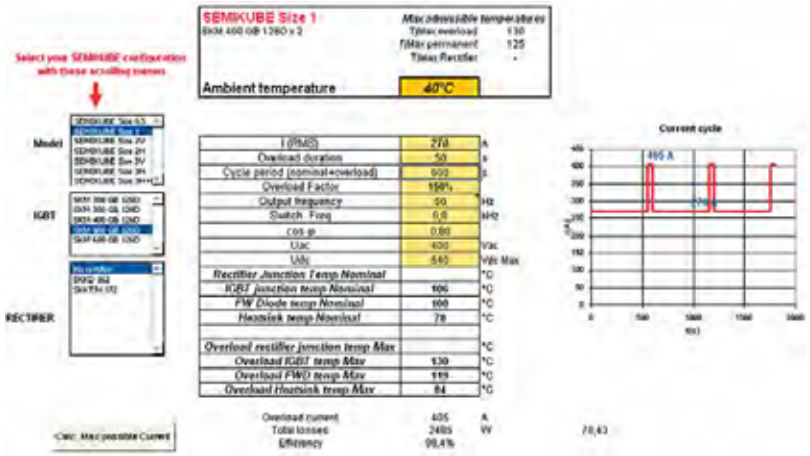

Рис. 12. Меню программы SEMIKUBE Calculator

SE#7(1)_web.qxd 08.08.2007 18:19 Page 73

ности потерь (Total losses) и КПД (Efficiency). Одновременно на графике Current cycle корректируется соответствующим образом кривая, отображающая рабочий цикл изменения тока нагрузки. Также автоматически производится расчет важнейших тепловых параметров в номинальном режиме и режиме перегрузки (результаты отображаются в ячейках таблицы):

- Rectifier junction Temp Nominal — номинальная температура кристаллов выпрямителя;
- IGBT junction Temp Nominal — номинальная температура кристаллов IGBT-модуля;
- FW Diode Temp Nominal — номинальная температура кристаллов антипараллельных диодов IGBT-модуля;
- Heatsink Temp Nominal — номинальная температура радиатора;
- Overload rectifier junction temp Max — температура кристаллов выпрямителя в режиме перегрузки;
- Overload IGBT temp Max — температура кристаллов IGBT-модуля в режиме перегрузки;
- Overload FWD temp Max — температура кристаллов антипараллельных диодов IGBT-модуля в режиме перегрузки;
- Overload heatsink temp Max — температура радиатора в режиме перегрузки.

Допустимыми считаются тепловые режимы, приведенные во втором окне меню, в рассматриваемом варианте это 125 °C для номинального режима эксплуатации и 130 °C для режима перегрузки.

Если после ввода всех исходных данных нажать кнопку «Calc. Max possible current», программой будет произведен расчет максимально допустимого выходного тока для заданных условий, и полученное значение появится в ячейке I (RMS).

Заключение

Автоматизация процесса разработки силовых каскадов и выбора компонентов давно стала насущной потребностью специалистов, работающих в области силовой электроники. Специализированные программные продукты, предлагаемые SEMIKRON, призваны максимально облегчить труд разработчика и исключить возможные ошибки проектирования. Наиболее интересной из описанных в данной статье является программа теплового расчета SemiSel. Среди аналогичных продуктов других производителей SemiSel следует признать наиболее автоматизированной, точной и простой в использовании программой, так как она пригодна для анализа большинства существующих практических схем, позволяет оптимально выбрать режимы работы и условия охлаждения и требует от пользователя ввода только числовых исходных данных. Удобный интерфейс и пояснения, данные для всех режимов работы, позволяют использовать программу разработчикам средней квалификации.

Главным ограничением при применении SemiSel и других подобных специализированных вычислительных средств SEMIKRON является то, что данные программы ориентированы на компоненты, выпускаемые компанией. Однако такое же ограничение имеют все аналогичные средства расчета, предлагаемые другими фирмами. Производственная программа фирмы SEMIKRON насчитывает более 10 000 наименований, а диапазон мощностей распространяется от десятков ватт до единиц мегаватт. Эти изделия широко используются в приводах, устройствах электропитания, промышленной автоматизации и энергетики, а также при производстве автомобилей. Поэтому потребитель всегда может найти среди изделий SEMIKRON подходящий элемент для своих разработок.

Большинство из описанных в статье средств расчета доступно на сайте фирмы SEMIKRON **www.semikron.com**. Постоянные клиенты SEMIKRON могут получить локальные версии программ у официальных дистрибьюторов и в центрах технической поддержки SEMIKRON в Санкт-Петербурге и Новосибирске.

Литература

1. Колпаков А. MELCOSIM? IPOSIM? SEMISEL! О выборе и замене модулей IGBT // Силовая электроника. 2005. № 1.
2. Calculation of the Maximum Virtual Junction Temperature Reached Under Short-time or Intermittent Duty. IEC 60747-6 by SEMIKRON.
3. Колпаков А. Программа теплового расчета SemiSel // Компоненты и технологии. 2002. № 9.
4. Колпаков А. Принципы работы и особенности программы теплового расчета SemiSel // Электронные компоненты. 2004. № 6.
5. Колпаков А. DriverSEL — простой и эффективный инструмент разработчика // Силовая электроника. 2005. № 2.
6. Колпаков А. SEMiX + SKYPER = адаптивный адаптивный интеллектуальный модуль IGBT // Силовая электроника. 2005. № 1.
7. Колпаков А. Инверторная платформа SEMIKUBE — quadratisch, praktisch, gut! // Компоненты и технологии. 2005. № 6.