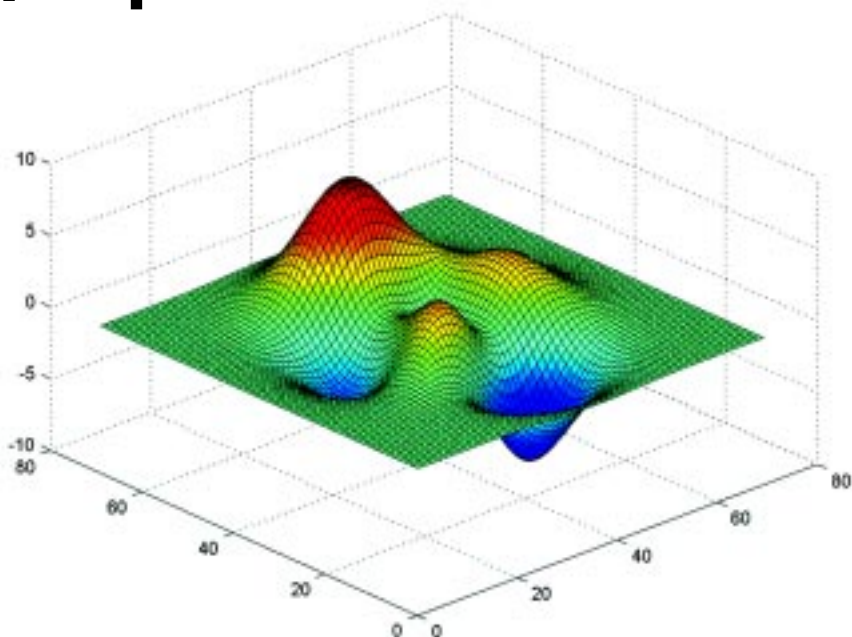


Тепловое моделирование

РАСЧЁТ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПРЕДСТАВЛЯЕТ СОБОЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНО ВАЖНУЮ ЗАДАЧУ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЕГО НАДЁЖНОСТИ И РАБОТОСПОСОБНОСТИ, ТАК КАК ТРАДИЦИОННО СЧИТАЕТСЯ, ЧТО ПОВЫШЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПЕРЕХОДА ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО УСТРОЙСТВА ВДВОЕ УВЕЛИЧИВАЕТ ВЕРОЯТНОСТЬ ОТКАЗА.



В настоящее время расчёт тепловых режимов перестал быть проблемой только разработчиков устройств питания. Современные дискретные элементы, логические устройства, микропроцессоры, как правило, упаковываются в малогабаритные корпуса, а плотность их размещения на платах постоянно повышается. Актуальность теплового анализа повышается ещё и из-за того, что производители всё чаще используют оригинальные корпуса для поверхностного монтажа мощных полупроводниковых устройств (DirectFET, LLP, micro-SMD, LFPak).

Простые методики моделирования тепловых режимов печатных плат, базирующиеся на учёте теплового сопротивления переход/окружающая среда, позволяют получить результаты с погрешностью порядка 35%. Столь грубые оценки не дают возможности правильно предсказать тепловые свойства печатных плат, поэтому разработчики программ моделирования были вынуждены искать другие способы решения данной задачи. Повышение точности может быть достигнуто уменьшением разбиения системы (увеличением числа узлов), что приводит к усложнению процедуры подготовки моделирования, а также к неоправданному увеличению временных затрат и ужесточению требований к вычислительной платформе.

Применяемая сейчас в большинстве программ теплового анализа технология использует явную аналогию между

тепловыми и электрическими процессами. Другими словами, почти все современные программы используют в качестве моделей элементов описания, дающие возможность рассчитывать тепловые процессы с помощью всем известных алгоритмов SPICE. При этом отдельные части устройства представляются в виде узлов с заданной теплоёмкостью, связанных между собой ветвями с заданной теплопроводностью, что в терминах электрических схем представляет собой не что иное, как набор конденсаторов, связанных между собой проводниками с ненулевым сопротивлением, то есть RC-цепочек (рис. 1). Разумеется, в такой схеме работают законы Кирхгофа и Ома.

Такой подход значительно упрощает программное обеспечение с точки зрения пользователя, но накладывает дополнительные требования на качество тепловых моделей элементов. Большинство простых тепловых моделей обеспечивают точность на уровне $\pm 10\%$, а это явно недостаточно. Например, модель транзистора будет представлена в виде цепочки тепловых сопротивлений от источника тепла (перехода) в окружающую среду через корпус. Более того, такая модель описывает только стационарное состояние устройства (фактически, режим по постоянному току), в то время, как для обеспечения высокой точности анализа требуются именно динамические модели. Чтобы понять, насколько важно оценивать тепловые

режимы именно в динамике, достаточно представить себе ноутбук с периодически включающимся или выключающимся вентилятором, надёжная работа которого зависит от правильной настройки термодатчика.

Введение понятия тепловой ёмкости в модели позволяет сделать их динамическими и перевести анализ во временную область, аналогично тому, как учёт конденсаторов влияет на анализ электрической схемы по постоянному

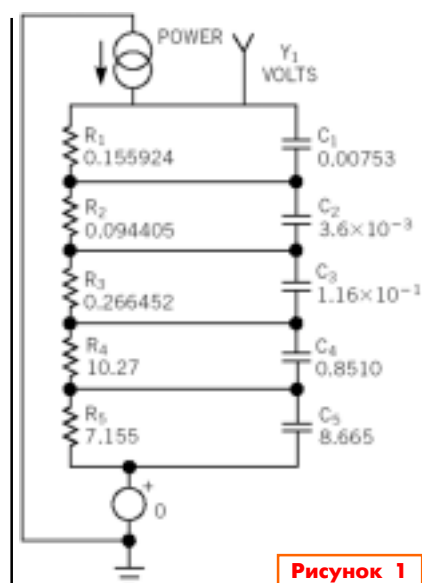


Рисунок 1

Эквивалентная электрическая схема для теплового моделирования

току. То есть устройство разбивается на элементарные прямоугольные области, геометрические центры которых считаются тепловыми узлами. Температура в таком элементарном объёме считается одинаковой и имеет аналогом напряжение в электрической схеме. Теплоёмкость объёма (по зарубежной терминологии — тепловая масса) представляется в виде конденсатора. Тепловой поток аналогичен электрическому току. Рассчитанные таким образом температуры в узлах схемы позволяют построить интерполяционную модель всего устройства и определить температуру в любой его точке.

Такая методика анализа рассматривает любое устройство как трёхмерный объект и не ограничивается только плоскими структурами. Заметим, что для правильного выполнения анализа необходимо также должным образом задать граничные условия.

Наиболее распространённые в настоящее время программные продукты для теплового анализа включают в себя собственно программы моделирования, а также специальные вспомогательные модули для генерации компактных тепловых моделей. Из наиболее простых можно отметить программные продукты WinTherm компании ANALYSIS TECH (www.analysisstech.com), а также T3Step и Thermodel компании MICRED (www.micred.com). Из построенного проекта эти программы формируют список соединений в формате SPICE, который может быть загружен в любую программу моделирования электрических схем. Полученные таким образом результаты расчёта преобразуются обратно в термины теплового анализа. Список соединений может быть также загружен в специализированные пакеты для математических расчётов, где пользователь может применить к ним собственные алгоритмы. Однако такой подход требует от пользователя хорошей подготовки в области программирования.

Программы теплового анализа печатных плат, как правило, более специализированы. Кроме того, они представляют собой автономные приложения, ориентированные на определённые системы проектирования печатных плат.

Самой популярной является программа BETAsoft Board компании DYNAMIC SOFT ANALYSIS (www.betasoft-thermal.com). Её популярность определяется, с одной стороны, высокой достоверностью получаемых результатов и, с другой стороны, наличием встроенного интерфей-

са связи с большинством мощных систем разработки печатных плат. Например, эта программа поставляется как штатное средство для теплового анализа в составе программного обеспечения компании MENTOR Graphics.

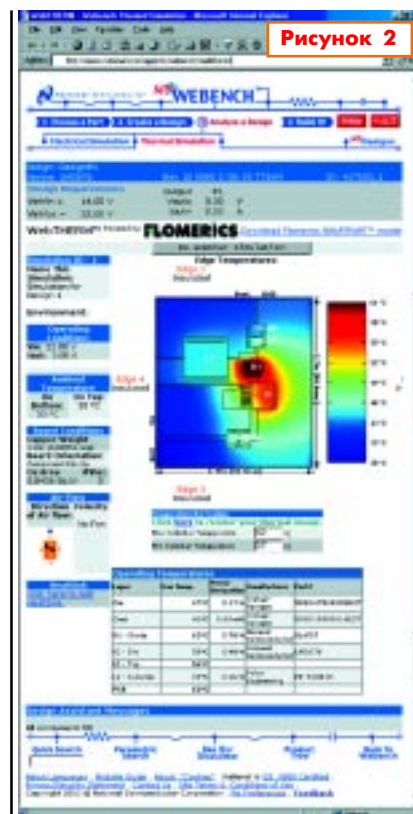
Простота описания данных позволяет без труда сопрягать BETAsoft и с дешёвыми системами. Например, программа Pulsonix одноимённой английской фирмы (www.pulsonix.com) имеет текстовый формат описания проектов, позволяющий напрямую обмениваться данными с BETAsoft-Board. Помимо традиционной информации, включаемой в подобные файлы (позиционные обозначения, типы компонентов, форма и координаты), эта программа через специальные атрибуты позволяет передавать данные о рассеиваемой компонентами мощности, полученные в процессе обычного моделирования. Если учесть, что Pulsonix обеспечивает полный цикл проектирования плат: разработку схем, моделирование и интерактивную или автоматическую трассировку плат с помощью бессеточного трассировщика, остаётся непонятным, почему эта программа абсолютно не известна российским пользователям. При этом она почти вдвое дешевле популярной в России системы P-CAD 2001.

Другая специализированная программа Thermap компании MICRED была изначально разработана в Венгрии в Техническом университете города Будапешт (www.bme.hu). Она реализует описанный выше подход к тепловому анализу по аналогии с RC-цепями, использует алгоритм быстрого преобразования Фурье (FFT) и позволяет получить данные как для статического, так и для динамического режима. Программа имеет собственный модуль SPICE-моделирования и позволяет готовить пользовательские модели, описанные в текстовом формате SPICE. Основные усилия разработчиков были направлены на повышение производительности программы. По данным, полученным из проекта печатной платы, система строит матрицу тепловых импедансов. Именно введение понятия тепловых импедансов вместо тепловых сопротивлений позволило выполнять тепловые расчёты во временной области, в то время как большинство других программ выполняют аналогичные расчёты в частотной области. Получаемые в них графики Бode вызывают определённые трудности при интерпретации рядовыми инженерами. Комплексное же описание тепловых импедансов позволяет опреде-

лять не только амплитуду тепловых волн, но и их фазу, а значит получать решение в динамическом режиме.

Английская фирма FLOMERICS (www.flomerics.com) предлагает пользователям свой пакет Flotherm, использующий компактные тепловые модели компонентов Smart-Parts, подготовленные программой Florack. Особенностью программы Florack является то, что она имеет интерфейс, построенный на основе современных интернет-технологий на основе обычного браузера, и ориентирована на инженеров, проектирующих интегральные схемы. Последняя версия включает модели микросхем, упакованных в корпуса PBGA и TBGA, а также позволяет учитывать технологию поверхностного монтажа перевёрнутых кристаллов (*flip-chip*). У моделей корпусов PBGA с проволочными выводами имеются специальные поля, позволяющие формировать и учитывать трафареты для специальных тепловых переходных отверстий на внутренние слои металлизации.

Ведущие производители электронных компонентов, понимая всю важность теплового анализа, начали предлагать собственные решения для подготовки тепловых моделей, а также готовые модели своих изделий. В состав программ-



Тепловое моделирование платы в системе Webtherm

ного комплекса Webench компания NATIONAL SEMICONDUCTOR включила специальный модуль Webtherm, позволяющий получать цветную карту градиента температур для платы или корпуса многокристального модуля по известным температурам переходов и граничным условиям (рис. 2). Комплекс использует вычислительное ядро, разработанное компанией FLOMERICS, и реализован на базе корпоративного интернет-узла фирмы (www.national.com/appinfo/power/webench). Дополнительную информацию по вопросам теплового моделирования можно найти на сервере www.coolingzone.com.

Компания INTERNATIONAL RECTIFIER (www.irf.com) готовит аналогичный продукт, использующий технологию анализа RC-цепей, выпуск которого намечен на конец четвёртого квартала этого года. Дополнительно компания уже выпустила автономный пакет Hexrise, предназначенный для теплового моделирования устройств на базе собственных полевых транзисторов. Этот пакет использует данные, полученные в ходе лабораторных измерений тепловых режимов компонентов, выполненных специалистами фирмы.

Из российских программ следует отметить, пожалуй, единственный коммерческий пакет теплового моделирования ТРИАНА (АСОНИКА-Т), разработанный специалистами Красноярского государственного технического университета (КГТУ) и Московского государственного института электроники и математики (МИЭМ). В состав пакета входит редактор, позволяющий формировать геометрическую модель исследуемой печатной платы или гибридной интегральной схемы, а также специализированный модуль подготовки тепловых моделей. Программа имеет интерфейс с современными системами проектирования печатных плат P-CAD 2002, Protel DXP, OrCAD 9.2, Allegro, SPECCTRA, а также старыми, но всё ещё распространёнными в России версиями P-CAD 4.5–8.7. Кроме того, пакет может обмениваться данными с тепловизионным диагностическим комплексом ТЭРМИД РЭС. Демонстрацию программы можно скачать с сервера компании ЭлекТрейд-М (www.eltm.ru), занимающейся распространением программы на территории СНГ.

Для получения дополнительной информации по всем упомянутым в статье продуктам просим обращаться в офис компании ЭлекТрейд-М по телефону (095) 974-1480.