

Моделирование тепловых режимов радиоэлектронной аппаратуры

Тенденции импортозамещения ставят перед разработчиками, производителями и эксплуатантами задачи по совершенствованию процессов создания, производства, послепродажного обслуживания радиоэлектронных изделий с использованием отечественных программных разработок.

Наиболее развитые и популярные средства – инструменты компании Mentor Graphics (США) и Altium (Австралия) – обеспечивают разработку изделий электроники, начиная с принципиальных схем и завершая трехмерными геометрическими моделями плат с элементами на ней и математических моделей тепловых режимов, и напряженно-деформированного состояния. Оба вендора за последние два десятилетия сотрудничества с промышленностью эволюционировали от простых частных проектных инструментов до интегрированных решений по проектированию, изготовлению и испытанию конечных изделий, включая выпуск комплекта рабочей документации. Все решения опираются на всю выпускаемую на западе элементную базу с полным описанием ее характеристик.

Отечественным аналогом таких решений является конгломерат отечественных программных комплексов (ПК) для решения множества частных задач в рамках общего процесса разработки изделия, успешно используемых в отечественной и зарубежной промышленности:

- ♦ инструменты сквозного проектирования электронных устройств на базе печатных плат, схемотехнического моделирования и трассировки компании ЭРЕМЕКС;
- ♦ система геометрического моделирования КОМПАС-3D компании АСКОН для создания моделей блоков аппаратуры и трехмерных моделей печатных плат с элементами

по данным, полученным из решений компании ЭРЕМЕКС;

- ♦ решения, нацеленные на экспресс-анализ электромагнитных полей компании Top;
- ♦ ПК Win. Machine компании НТЦ АПМ для моделирования напряженно-деформированного и теплового состояния деталей и сборок, в том числе плат и элементов;
- ♦ ПК вычислительной аэро- и гидродинамики FlowVision от компании ТЕСИС с оригинальной технологией построения расчетной сетки для геометрии любой сложности конструкторского представления. ПК используется для моделирования охлаждения аппаратуры нового поколения ядерных реакторов с жидкометаллическим теплоносителем, посадки, приводнения, разделения на траектории и работы системы аварийного спасения космического корабля «Федерация», а также в международном проекте «Живое сердце» (Living Heart Project) по моделированию работы живого сердца человека.

Это позволило выполнить ряд проектов, целью которых было определение тепловых режимов, на которых работает микроэлектронная и электронная аппаратура (рисунок 2).

Используя опыт автоматизации десятилетиями отлаженного подхода к разводке и размещению элементов на платах по заданным принципиальным схемам, российские компании АСКОН, ТЕСИС, ЭРЕМЕКС инициативно ведут проект по созданию прототипа сквозного ПК для электронной и радиоэлектронной промышленности путем объединения программных средств Delta Design, КОМПАС-3D и FlowVision в едином рабочем цикле. С его помощью конструктор может рассчитывать, видеть и учитывать все виды воздействия на изде-

АЛЕКСАНДР ЩЕЛЯЕВ

менеджер отдела
вычислительной
гидродинамики
ООО «ТЕСИС»

ТАТЬЯНА МАРКОВА

начальник группы
технической поддержки

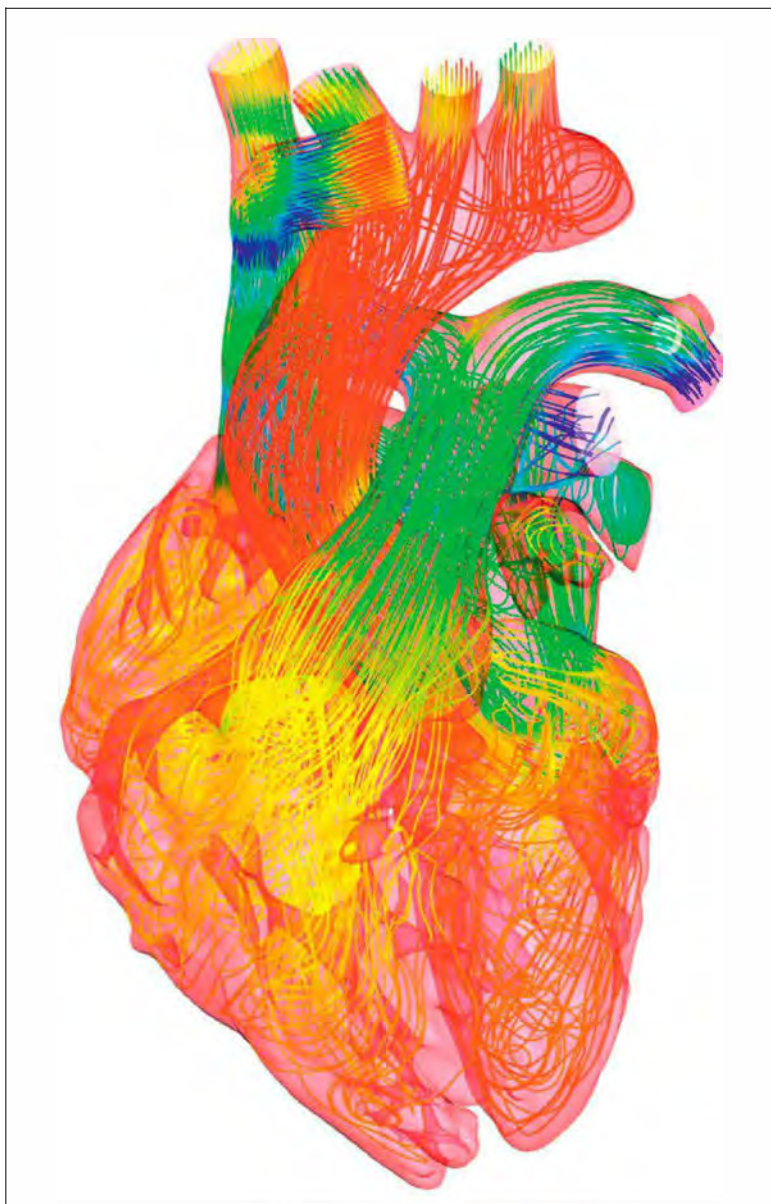


Рис. 1. Моделирование работы живого сердца с применением ПК FlowVision

лие: расположение, нагрев, обдув элементов охлажденным или нагретым воздухом при заданном режиме работы, организовать пассивный или активный теплообмен в составе блока и отсека, оценить эксплуатационную технологичность (доступ при ТОиР в помещениях и на улице), изменение характеристик аппаратуры с изменением температурного режима работы, электромагнитную совместимость; характеристики прочности, отказобезопасности, надежности (рисунок 3).

Согласно проекту в программной среде сквозной разработки Delta Design создается принципиальная схема устройства. На ее основе компонуются элементы на печатной плате и формируется разводка методом трассировки с уче-

том заданных ограничений и начальных данных. Затем создается информационный документ в виде многослойного двумерного параметрического документа типа чертеж со спецификацией и техническими требованиями.

Информационная модель содержит в себе полный перечень используемых элементов, типов связей между ними и описание геометрического расположения разводки на каждом слое платы. Данная информация передается через нейтральный формат IDF (де-факто стандарт обмена данными в отрасли) в систему геометрического моделирования КОМПАС-3D с помощью конвертера ECAD-Компас. По полученным данным создается трехмерная геометрическая модель печатной платы с расставленными на ней элементами для оценки компоновке блока оборудования. На выходе получается сборочный документ и установленный комплект рабочей документации. Полученная трехмерная модель передается в ПК FlowVision, в котором выполняется численное моделирование заданных расчетных случаев для оценки тепловых режимов работы аппаратуры.

Работа всей цепочки основывается на наличии мастер-данных и справочнике элементов (в том числе с учетом утвержденного перечня), в котором для каждого этапа представляются сведения в нужном виде и объеме: физические, механические свойства материалов элементов; вольт-амперные, габаритные характеристики; параметры тепловыделения и прочее (рисунок 4). В описываемом проекте, ввиду отсутствия утвержденного отраслевого справочника, использовался тестовый набор данных, созданный авторами, и включающий в себя базу CAD-моделей, используемых в проекте элементов, спецификацию элементов на плате в Excel формате с указанием величины рассеиваемой тепловой мощности и IDF файл.

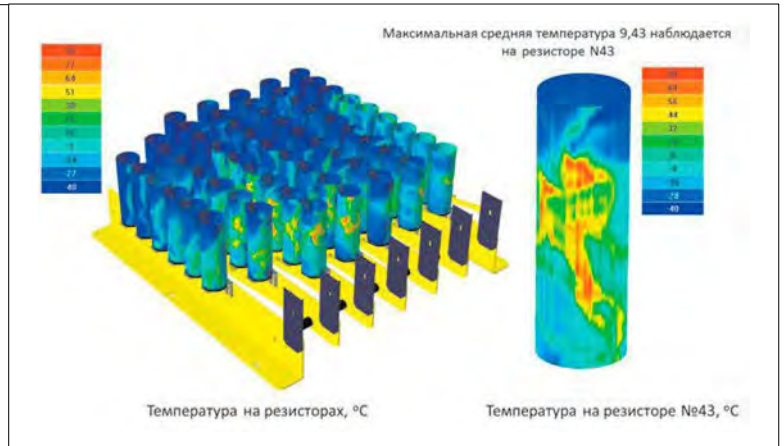
Проект FlowVision создается на базе одного файла геометрической модели или на базе списка файлов — автоматического пакетного импорта файлов, что позволяет автоматизировать процесс создания расчетной геометрической модели. Геометрия имеет сеточное поверхностное представление, состоящее из треугольной сетки, построенной на основе CAD-модели, полученной из популярных геометрических форматов CATIA, UG NX, Creo, Inventor, SolidWorks, SolidEdge, STEP, IGES, WRML, STL, MESH и прочие.

При использовании геометрической сборки допускаются следующие геометрические вариации, в зависимости от того, моделируется или нет теплопередача внутри элементов и платы, нужно ли менять положение элементов на плате в процессе работы: непосредственный контакт деталей с общей контактной поверхностью платы; пересечение элементов и платы; наличие зазора между элементами и платой. В последнем случае используется упрощенная модель зазора, которая позволяет управлять характеристиками гидравлического и теплового сопротивления, позволяя моделировать разные случаи расположения элементов на плате – через термоклей (термопасту), непосредственно на плату и с воздушным зазором. В модели используются аналитические зависимости, что позволяет не разрешать зазор подробной расчетной сеткой. Это значительно снижает объем расчетной сетки, время решения задачи и привлекаемые вычислительные мощности, а также позволяет гибко решать оптимизационные задачи по замене, смещению элементов на платах с продолжением текущего расчета.

Перемещение элементов на плате возможно в ручном и автоматическом режимах с помощью собственноручно написанных пользователем процедур или профессиональных пакетов многокритериальной параметрической оптимизации. Свойства веществ могут задаваться вручную для каждого варианта расчета, либо выбираться из базы данных веществ, пополняемой данными о теплофизических свойствах новых веществ, либо принимать данные из внешнего источника.

Тепловыделение задается мощностью объемных ($Вт/м^3$) и поверхностных ($Вт/м^2$) источников. Их количество определяется постановкой задачи и может меняться в процессе расчета. При решении нестационарных задач тепловыделение можно задавать функцией от времени или условий работы устройства (например, отключение источников при достижении критической температуры на плате).

В воздушной среде решаются: трехмерные уравнения Навье-Стокса с учетом гравитационной силы и уравнение энергии. При моделировании учитывается сопряженный теплообмен между блоком питания, резистором и реле с окружающим воздухом с заданием соответствующих



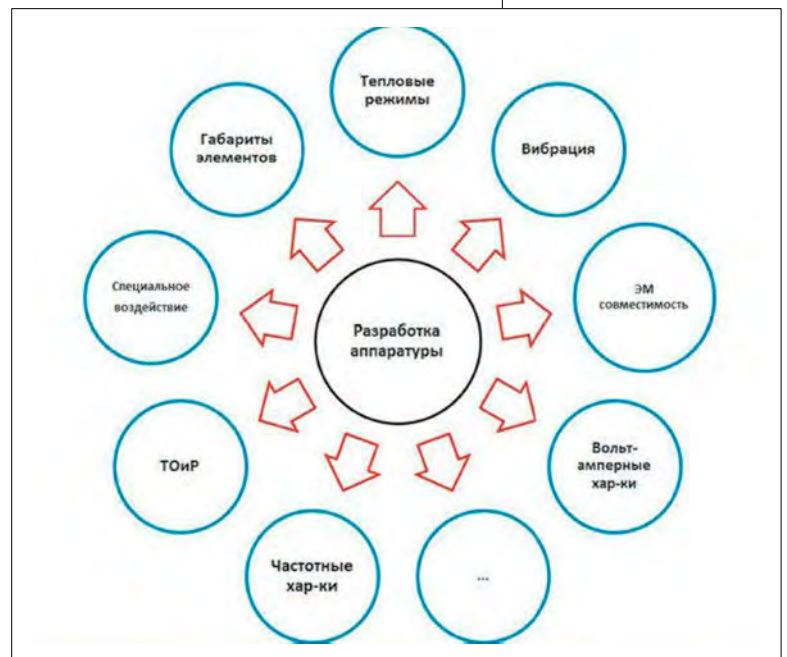
объемных источников тепловыделения внутри каждого элемента и указанием теплопроводящих и теплоемкостных свойств материалов. Тепловыделение с поверхности конденсаторов задается равномерным. Другие стенки корпуса принимаются как адиабатические. На них задается теплообмен с окружающей средой температурой этой среды и коэффициентом теплоотдачи между корпусом и средой.

На рисунке 5 представлено трехмерное раскрашенное по температуре распределение линий токов воздуха.

При моделировании производится автоматическое построение прямоугольной, динамически адаптируемой расчетной сетки по задаваемой функции размера ячейки. Для более точной ап-

Рис. 2. Распределение температуры на поверхности силовых резисторов пульта нагрузок

Рис. 3. Основные виды воздействия на аппаратуру, учитываемые при ее разработке



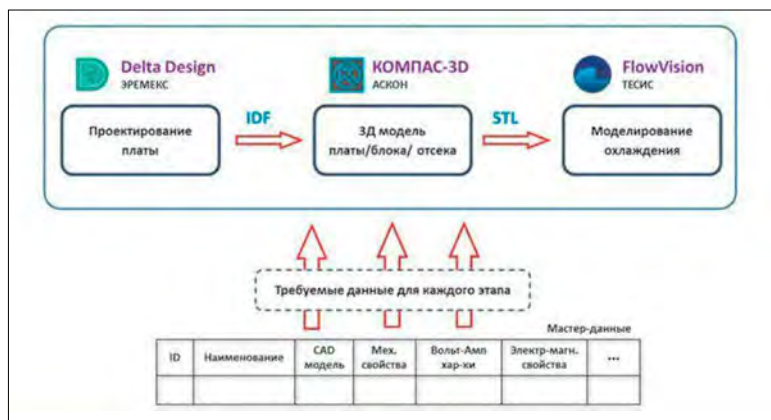


Рис. 4. Мастер-данные и справочник элементов

проксимации сложных поверхностей и разрешения высоких градиентов рассчитываемых величин вокруг всех элементов платы строится более подробная сетка с помощью инструмента адаптивного локального измельчения сетки.

После очередного этапа моделирования выявились плохая рециркуляция воздуха внутри корпуса и между элементами платы, а также высокие значения температур компонентов платы и воздуха, что свидетельствовало о недостаточном охлаждении и непригодности схемы данного устройства, а также об отсутствии учета лучистого теплообмена. Использование модели излучения на следующем этапе позволило получить более точные характеристики теплообмена и оценить вклад различных видов теплообмена в работу изделия.

Для улучшения циркуляции воздуха в корпусе устройства создали в ПК КОМПАС-3D и импортировали во FlowVision трехмерный геометрический объект как одну сборочную 3D-модель вентиляционной щели. Модификаторы геометрий FlowVision позволили продолжить предыдущий расчет и размножить щелевые элементы. Названные ПК при решении практической задачи продемонстрировали гибкость, недоступную при натурной отработке, и дали возможность изменить

конструкцию корпуса блока, чтобы усовершенствовать процесс его вентилирования.

Внесение вентиляционных отверстий в конструкцию корпуса улучшило рециркуляцию воздуха и в сумме с учетом лучистого теплообмена позволило снизить температуру всех компонентов платы до требуемого уровня. Результаты моделирования теплового расчета с учетом лучистого теплообмена и нового корпуса с вентиляционными отверстиями представлены на рисунках 6 и 7.

Дальнейшее совершенствование программных средств моделирования состоит в подключении прочих уравнений физических процессов, учитываемых при разработке плат и блоков аппаратуры, например электромагнитных полей для оценки электромагнитной совместимости элементов. При наличии описания всех характеристик элементов станет возможным создание полностью связанной постановки, где на основе теплового и электромагнитного анализа будут определены реальные вольт-амперные характеристики элементов на плате и характеристики платы в целом с дальнейшим уточнением тепловых режимов.

Все необходимые средства численного моделирования физических процессов для этого уже реализованы и на сегодняшний день стоит организационный вопрос о создании и поддержании в актуальном состоянии отраслевой стандартизированной базы элементов, а также стандартных отраслевых протоколов обмена данными между описываемыми в статье ПК для функционирования отечественного интегрированного программного решения. Это позволит снять зависимость от западных вендоров, а также начать совершенствование собственных программных решений в ту сторону, которая интересует в первую очередь отечественные предприятия и науку. ♦

Рис. 5. Визуализация структуры течения внутри корпуса в FlowVision

Рис. 6. Визуализация линий потоков воздуха по температуре, °C внутри корпуса с вентиляционными отверстиями

Рис. 7. Визуализация температуры поверхности компонентов платы внутри корпуса с вентиляционными отверстиями, °C

