

IPOSIM — программное средство онлайн-моделирования

тепловых режимов работы IGBT-модулей

Оценка потерь и расчет тепловых характеристик для устройств, в которых используются силовые модули и приборы в дисковых корпусах компании Infineon

Томас Шутце
(Thomas Schutze)

Томас Баруски
(Thomas Barucki)

Уве Кнорр (Uwe Knorr)

Не существует какого-либо достаточно простого критерия или эмпирического правила, которые позволяли бы выбирать наиболее подходящие полупроводниковые приборы для всего спектра устройств силовой электроники — от тяговых электроприводов до промышленного оборудования. Диапазон входных и выходных напряжений, параметры сети, частота переключения и выходная частота, максимальная мощность инвертора, способность выдерживать броски тока и работать в условиях перегрузок и, наконец, что не менее важно, влияние различных условий охлаждения — все это делает выбор подходящего модуля весьма непростой задачей. Для надлежащего решения данной задачи абсолютно необходим детальный анализ каждой конкретной ситуации, учитывающий характеристики полупроводниковых приборов и условия работы проектируемого устройства. Удобный способ выбора полупроводниковых приборов для наиболее по-

пулярных схем силовой электроники предоставляет недавно запущенная компанией Infineon онлайн-программа моделирования IPOSIM, позволяющая оценивать потери в приборах и проводить тепловые расчеты.

Появляются все новые и новые инструментальные средства для проведения подобного детального анализа, но они требуют установки на компьютер довольно громоздкого программного обеспечения и неудобны для предварительного выбора необходимых компонентов. У компании Infineon уже существует специальная программа на базе электронных таблиц Excel, с помощью которой можно быстро подобрать компоненты под различные рабочие условия. Однако аналитические расчеты в Excel ограничены применением типичного метода управления sine-triangle (ШИМ, получаемый модуляцией треугольного сигнала синусоидой), что во многих случаях не отражает фактические значения тока и напряжения, с которыми будет работать компонент при различных параметрах управления и нагрузках.

Основываясь на информации, получаемой со своего портала поддержки разработчиков SimPort, компания Infineon недавно завершила работы по созданию онлайн-симулятора IPOSIM, с которым можно ознакомиться на сайте [1]. Новый инструмент позволяет легко войти в систему и всего за 10–20 мин. выполнить все этапы разработки — от выбора компонентов и топологии до теплового и электрического анализа. При этом программу не надо ни загружать, ни устанавливать. IPOSIM может работать с разнообразными топологиями, используемыми в силовой электронике, и различными алгоритмами управления.

Выбор топологии и полупроводниковых приборов

На сегодня компания Infineon предлагает широкий спектр мощных силовых полупроводниковых при-

Таблица. Доступные в IPOSIM топологии и компоненты

| Преобразователи | | Топология (описание) |
|-----------------------|---------------|--|
| AC/DC | | |
| однофазные | B2U | неуправляемый мостовой выпрямитель (двухполупериодный) |
| | B2C | полностью управляемый мостовой выпрямитель (двухполупериодный) |
| трехфазные | B6U | неуправляемый трехфазный мост |
| | B6C | полностью управляемый трехфазный мост |
| | M3.2U | неуправляемая двоянная трехимпульсная звезда |
| | M3.2C | управляемая двоянная трехимпульсная звезда |
| | M6U | неуправляемая шестимпульсная звезда |
| | M6C | управляемая шестимпульсная звезда |
| AC/AC | | |
| однофазные | W1C | инверсно-параллельная схема |
| трехфазные | W3C | инверсно-параллельная схема |
| DC/DC-преобразователи | | |
| | | повышающий |
| | | понижающий |
| DC/AC-преобразователи | | |
| трехфазные | однофазные | |
| | двухуровневые | |
| | | трехуровневые |

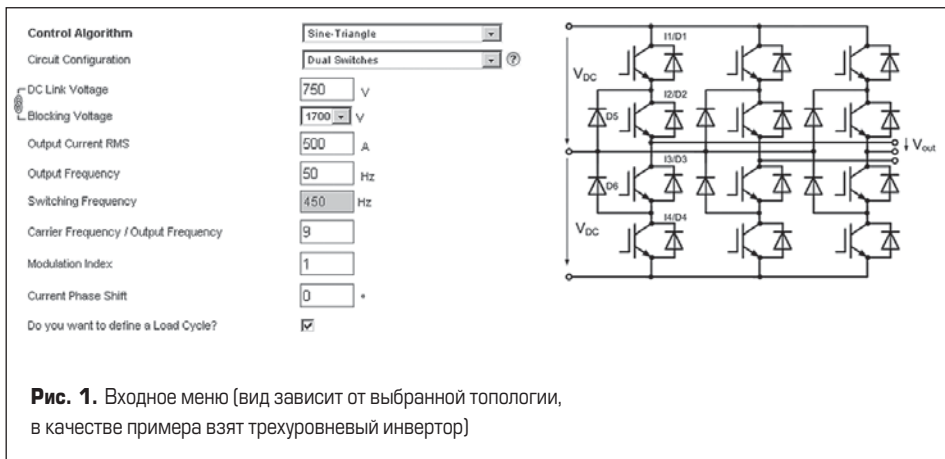


Рис. 1. Входное меню (вид зависит от выбранной топологии, в качестве примера взят трехуровневый инвертор)

боров. Она поставляет около 800 устройств, выпускаемых в разнообразных корпусах и рассчитанных на различные напряжения и токи. Для построения AC/AC- и AC/DC-преобразователей используется база данных, в которую входит свыше 350 модулей и дискретных диодов и тиристоров в дисковых корпусах. При построении же DC/DC- и AC/DC-преобразователей имеется выбор более чем из 400 IGBT-модулей разнообразных конфигураций.

После выбора топологии из списка (таблица) пользователь может легко задать свои требования, просто заполнив интерактивную опросную форму (рис. 1).

В DC/AC-преобразователях способ управления оказывает значительное влияние на потери. В связи с этим предлагается целый ряд возможных алгоритмов управления. Это позволяет с гораздо большей точностью прогнозировать потери и выбирать наиболее подходящие IGBT-модули.

Входные данные используются для предварительного выбора компонентов из имеющихся в базе данных. В алгоритмах принято, что подходящим является прибор, класс напряжения которого соответствует заданному, и обладающий требуемой нагрузочной спо-

собностью по импульсному току. Можно задать ограничения на определенные типы корпусов. Пользователь может попросить, чтобы ему порекомендовали компоненты, тепловые параметры которых соответствовали бы заданным методам и условиям охлаждения.

Функциональные возможности IPOSIM позволяют выбирать до пяти полупроводниковых приборов одновременно и выполнять сравнительное моделирование. При этом можно модифицировать и другие важные параметры, например сопротивление цепей затворов, и либо задаваемые пользователем, либо предварительно определенные характеристики радиаторов.

До этого момента предполагалось, что IPOSIM выполняет моделирование установившегося режима работы. После предварительного выбора компонентов пользователи могут заняться более детальным анализом, определив характер циклически меняющейся во времени нагрузки проектируемого преобразователя. Интерфейс позволяет легко задать зависимость нагрузки от времени в табличной форме в виде пар координат x, y . На рис. 2 показан типичный пример цикла работы преобразователя, работающего на тяговый электродвигатель. Рабочий цикл состо-

ит из фазы ускорения, движения по инерции и торможения.

Проведение такого анализа работы преобразователя с циклически изменяющейся во времени нагрузкой оказалось возможным благодаря применению усовершенствованного симулятора на базе WebSIM [1]. Симулятор WebSIM позволяет проводить дистанционное моделирование различных электротехнических задач. В качестве моделирующего ядра в IPOSIM применен пакет Portunus, объединяющий несколько инструментов моделирования, такие как блок-схемы, конечные автоматы, электрические и электромеханические системы [2].

По окончании моделирования результаты выводятся в виде итогового отчета. В отчет входит сводка всех технических требований, заданных пользователем, сравнительная таблица с информацией по полупроводниковым приборам, графики рассчитанных потерь и прогнозируемых температур. Наличие такого отчета позволяет легко сравнить выбранные приборы между собой (рис. 3).

В целях документирования отчет можно распечатать или сохранить в формате PDF-документа. Пользователи также могут сохранять свои проекты и использовать их повторно в будущем.

Использование моделирования для прогнозирования потерь и нагрева

Широкий спектр решаемых задач, простота использования, Windows-совместимый интерфейс автоматизации и уникальная возможность объединения анализа в установленном режиме (DC) с анализом переходных процессов делают Portunus идеальным кандидатом на использование в качестве ядра в симуляторах.

Чтобы сократить время на моделирование, для выпрямительных диодов и тиристоров (в случае AC/DC- и AC/AC-топологий) по-

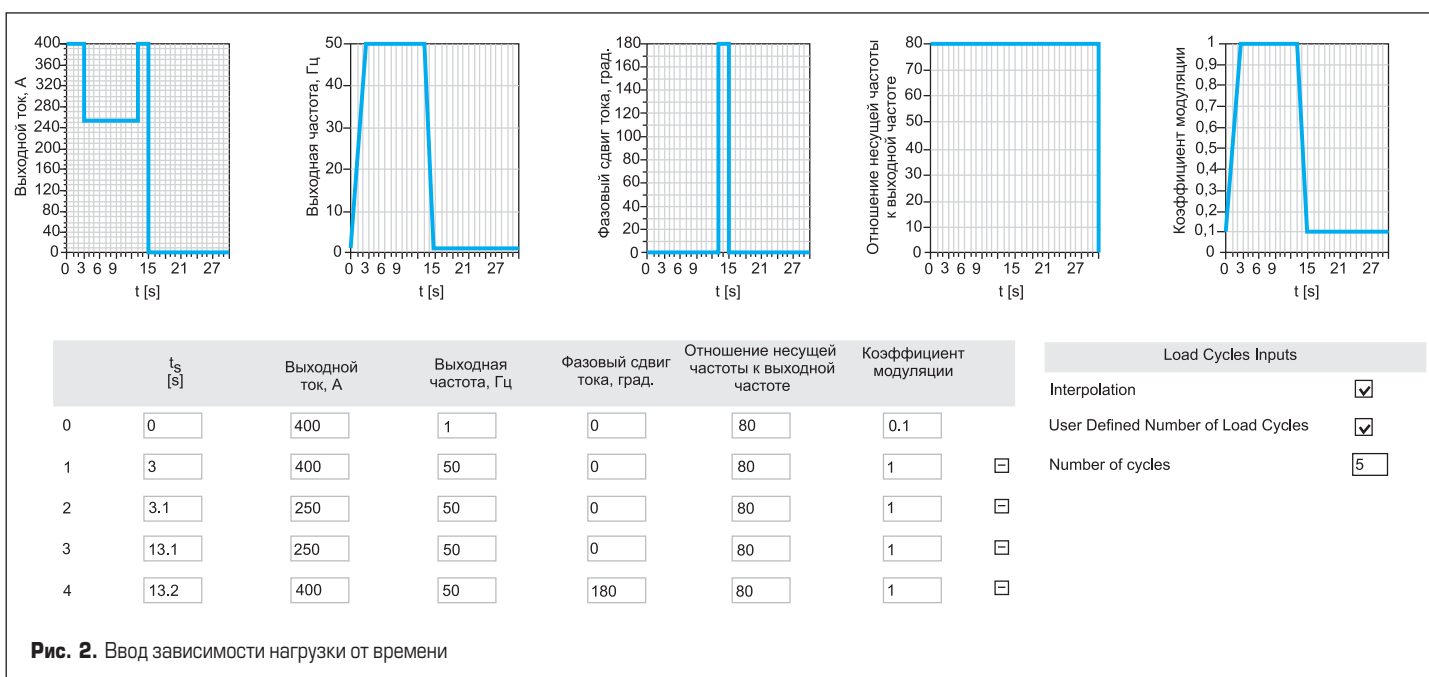
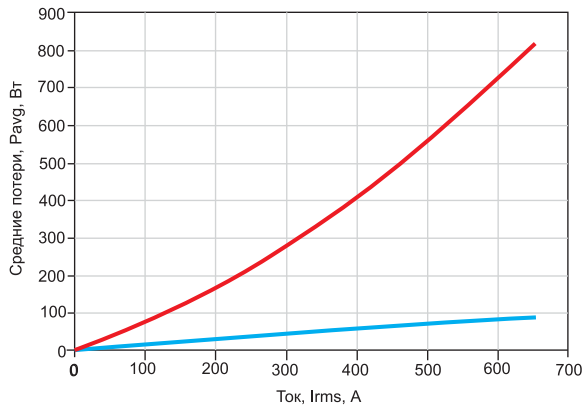


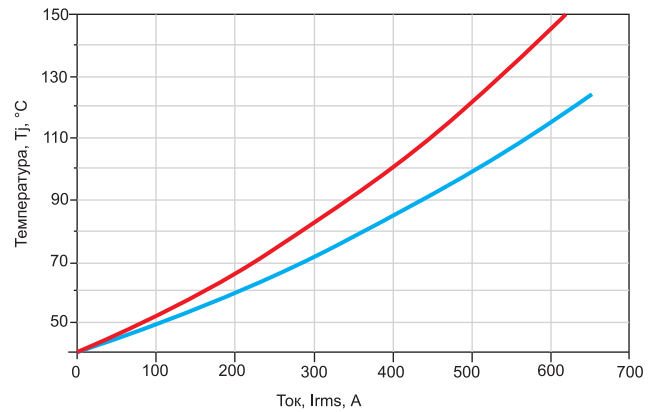
Рис. 2. Ввод зависимости нагрузки от времени

FF650R17IE4

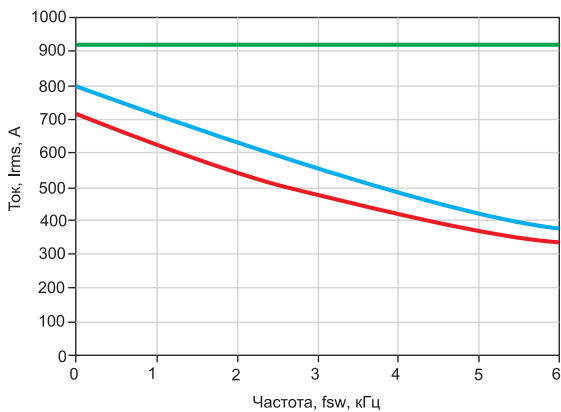
Зависимость средних потерь P_{avg} от тока I_{rms} ($f_{sw} = 1050$ Гц)



Зависимость температуры T_j от тока I_{rms} ($f_{sw} = 1050$ Гц)



Зависимость тока I_{rms} от частоты f_{sw} ($T_j = 150$ °C)



Колебания температуры

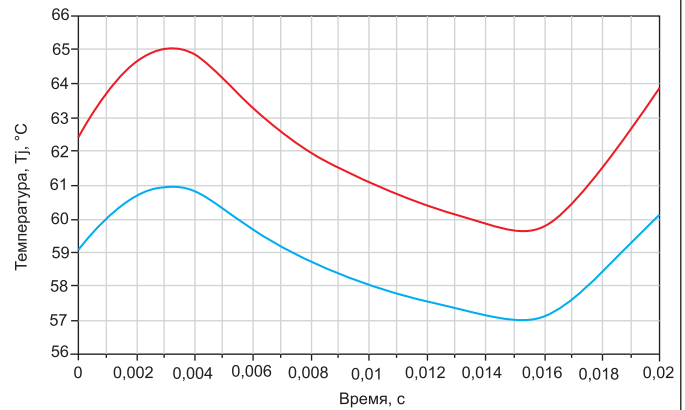


Рис. 3. Страница результатов

требовалось принять поведенческую модель, представляющую собой эквивалентную линейную аппроксимацию без учета температурных зависимостей. Поскольку предполагается, что типичными будут частоты 50 и 60 Гц, то в расчете колебаний температуры кристаллов нет никакой надобности.

Моделирование влияния циклически меняющейся во времени нагрузки выполняется в два этапа: сначала определяется рассеиваемая мощность во всех рабочих точках. А затем эти значения подставляются в систему тепловых уравнений для расчета температур.

Существует два различных режима моделирования при циклически меняющейся нагрузке. В первом пользователь может сам задать определенное число циклов. В этом случае в качестве начальных значений для всех температур берется температура окружающей среды. В данном режиме можно следить за ростом температуры кристалла и корпуса в зависимости от времени. Во втором режиме предполагается, что число циклов, по существу, бесконечно, а колебания (нарастание и спад) всех температур происходят относительно их усредненных установившихся значений. В этом случае Portunus сначала выполняет расчет по постоянному току (DC), что дает начальные значения для последующего моделирования переходных процессов. На данном этапе конечные авто-

маты, интегрированные во все модели, обнаруживают установившийся режим работы и автоматически завершают симуляцию, тем самым экономя время.

Для моделирования DC/AC-топологий требуются гораздо более сложные модели и специальные алгоритмы. Если выходная частота становится очень низкой, то увеличиваются интервалы времени, на которых IGBT и диоды находятся в открытом или закрытом состоянии. Из-за этого здесь температуры могут меняться в значительно большей степени, чем в случае AC/DC- или DC/DC-топологий. К тому же потери на переключение в приборах должны определяться с учетом конкретной рабочей точки (напряжение, ток, температура кристалла) и сопротивлений в цепях затворов.

Но опять же, использование для надежного расчета переходных процессов при переключении чрезвычайно сложных моделей, основанных на физике полупроводников, привело бы к чрезмерным временным затратам. Поэтому вместо них в Portunus были реализованы усредненные модели. Основная идея состоит в описании статических характеристик и потерь на переключение посредством аналитических функций и сокращении объема вычислений для каждого момента процесса переключения до одного шага моделирования. Это позволяет существенно ускорить моделирование, увеличивая шаги,

длина которых, главным образом, определяется типом ШИМ.

В IPOSIM также решена проблема чрезвычайно большого интервала симуляции, необходимого для достижения установившегося теплового состояния из-за больших постоянных времени тепловых процессов. Вместо длительного моделирования выполняется итеративный расчет установившихся усредненных температур под управлением специальных программ (скриптов). Скрипты многократно запускают процесс моделирования для одного периода выходной частоты, чтобы определить средние потери при заданных температурах кристаллов. Затем, используя полученные значения потерь, производится расчет средних температур кристаллов. После каждой итерации получаем уточненные температуры. Так продолжается до тех пор, пока изменения температур между итерациями не окажутся меньше установленной погрешности. Как только погрешность становится меньше заданного граничного значения, выполняется моделирование переходного процесса, позволяющее определить колебания температур.

Скрыть все эти сложности за простым в использовании и легким для понимания графическим пользовательским интерфейсом было одной из главных причин создания онлайн-нового симулятора. В IPOSIM не требуется задавать параметры всех тестов, а расчеты,

которые в противном случае пользователю пришлось бы делать многократно вручную, выполняются автоматически. Впрочем, для опытных пользователей все компоненты прикладных схем доступны в виде библиотек, поставляемых с автономной версией Portunus. В библиотеке Power Electronics Library содержится большое количество моделей и макроблоков, таких как схемы генерации ШИМ-сигналов для различных алгоритмов управления процессами переключения. В нее также входит некоторое количество предопределенных алгоритмов управления, как, например, натуральная дискретизация и пространственная векторная модуляция. Кроме того, доступны усредненные модели IGBT и обратных (free-wheeling) диодов. Также включена основанная на этих моделях полная библиотека силовых модулей и тиристоров компании Infineon.

Ускоренное проектирование

Онлайновый симулятор IPOSIM предоставляет потребителям компании Infineon быстрый и простой способ выбора и анализа IGBT и диодов для широкого спектра приложений силовой электроники. Используя усовершенствованные возможности пакета WebSIM по дистанционному моделированию и уникальные возможности симулятора Portunus, данный инструмент позволяет точно оценивать потери в выбранном приложении и на этой основе проводить оптимизацию проекта, что обычно делается на гораздо более поздних этапах. Доступ к программе IPOSIM открыт на сайте компании [3].

Литература

1. www.transim.com
2. <http://www.adapted-solutions.com>
3. www.infineon.com/highpower