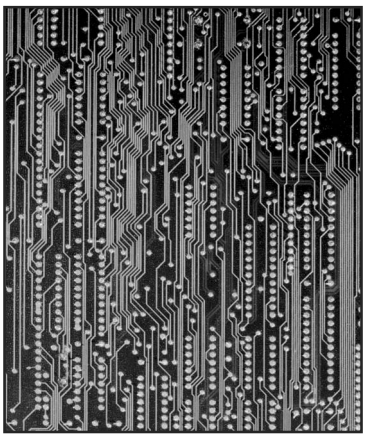
Джон КЕОУН

OrCAD Pspice

АНАЛИЗ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ



ДМК ПРЕСС

Москва, 2007

FOURTH EDITION

OrCAD™ PSpice® and Circuit Analysis

JOHN KEOWN
Southern Polytechnic State University



Upper Saddle River, New Jersey
Columbus, Ohio

ЧЕТВЕРТОЕ ИЗДАНИЕ

OrCAD™ PSpice®
анализ электрических цепей

ДЖОН КЕОН
Южный политехнический государственный университет

Prentice Hall

УДК 004.2
ББК 32.973.26-018.2
К33

Д. Кеон
К33 OrCAD PSpice. Создание электрических цепей. Пер. с англ. А. Осипова. — М.: Издательский дом ДМК-пресс, 2007. — 628 с.: ил.

ISBN 5-9706-0009-1

Это простое и понятное руководство по OrCAD Pspice предназначено для каждого, кто знаком с основными разделами электротехники. При постепенном усложнении задач объясняются все необходимые аспекты работы в OrCAD Pspice, что позволяет творчески применять их при дальнейшем анализе электрических и электронных схем и устройств. Рассмотрение начинается с анализа цепей постоянного тока, продолжается анализом цепей переменного тока, затем переходит к различным разделам полупроводниковой электроники.

Изложение построено таким образом, чтобы каждый, кто изучает или изучал определенный раздел электротехники, был способен немедленно использовать OrCAD Pspice на практике.

Дается полное объяснение задачи, а не только сокращенное руководство по методике работы с программой, как в большинстве подобных книг.

Больше внимания, чем в других книгах, уделяется созданию собственных моделей и использованию встроенных моделей схем в OrCAD Pspice.

На CD вы найдете демонстрационную версию программы OrCAD PSpice Student edition 9, которой можно пользоваться свободно. Кроме того, на CD-ROM помещена OrCAD 10.5 Demo Release, с которой можно работать в течение 30 дней после установки на компьютер.

Authorized translation from the English language edition, entitled OrCAD PSpice and Circuit Analysis, published by Pearson Education, Inc, publishing as Prentice-Hall, Copyright © 2001.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information storage retrieval system, without permission from Pearson Education, Inc. RUSSIAN language edition published by DMK-Press publishing house, Copyright © 2007.

Все права защищены. Любая часть этой книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами без письменного разрешения владельца авторских прав.

Материал, изложенный в данной книге, многократно проверен. Но поскольку вероятность технических ошибок все равно остается, издательство не может гарантировать абсолютную точность и правильность приводимых сведений. В связи с этим издательство не несет ответственности за возможный ущерб любого вида, связанный с применением содержащихся здесь сведений.

Все торговые знаки, упомянутые в настоящем издании, зарегистрированы. Случайное неправильное использование или пропуск торгового знака или названия его законного владельца не должно рассматриваться как нарушение прав собственности.

ISBN 0-13-015795-3(англ.)
ISBN 5-9706-0009-1(рус.)

Copyright © 2001, 1998 by Prentice-Hall, Inc.
© Перевод на русский язык, оформление Издательский дом ДМК-пресс, 2007

Предисловие

Методы анализа цепей широко варьируются в зависимости от сложности задач. Одни схемы требуют решения единственного уравнения, для других требуется решение системы уравнений. Если реакция схемы лежит в широкой полосе частот, анализ проводится как во временной, так и в частотной областях. Чтобы облегчить задачу объемных вычислений, применяются различные инструменты анализа: от тригонометрических таблиц и логарифмических линеек до калькуляторов и компьютеров.

Во многих случаях для решения задач студенту необходимо осознать, на каких базовых законах и принципах должно основываться решение. В некоторых случаях топология цепи задается с помощью описания компонентов, помещенных между различными узлами, и для решения используются компьютерные программы. Существует несколько десятков таких программ для различных областей применения. Если использовать такие языки программирования, как Бэйсик, Паскаль или Фортран, можно разработать собственные программы для решения задач различных типов. Более мощные программы, предназначенные для расчета широкого класса электрических цепей при различных условиях, требуют многолетней работы для разработки и модификации.

Что такое Spice?

Такие программные продукты, как Spice, предлагаются преимущественно в качестве программ моделирования интегральных схем. В настоящей книге используется версия Spice, называемая PSpice, коммерческий продукт, разработанный MicroSim Corporation. В 1998 году эта компания влилась в компанию OrCAD, производящую 9 программ. Демонстрационная версия программы, которой комплектуется данная книга, достаточна для выполнения всех упражнений и примеров моделирования, приведенных в ней. Демонстрационная версия полностью функциональна, но работает только с файлами ограниченного объема.

Программа SPICE является одновременно мощной и гибкой. Конечно, это может испугать и озадачить начинающего пользователя, перед которым встает вопрос: «Как использовать этот мощный инструмент наиболее простым способом?»

Вероятно, может показаться глупым решать на PSpice задачи, решение для которых известно заранее, но новички после выполнения такой работы получат уверенность для более успешного дальнейшего продвижения. Поэтому данная книга начинается с анализа цепей постоянного тока, продолжается анализом цепей на переменном токе и только затем переходит к более сложным темам, включая и цепи с полупроводниковыми приборами.

PSpice широко применяется в промышленности, позволяя исследовать работу схем без создания реальных макетов в лаборатории. При этом достигается существенная экономия материалов и рабочего времени. Если проект требует изменений или улучшений, результаты легко могут быть получены на компьютере при изменении исходных условий. Разработчик просто заменяет компоненты, которые обычно используются в реальных цепях, и после этого снова исследует работу и электрические свойства устройства. Обычно трудно бывает предсказать, сколько таких компонентов должно быть заменено. Когда же этим занимается компьютерная программа, она производит утомительные вычисления с меньшей вероятностью ошибок и намного быстрее, чем человек.

Должен ли каждый студент, практик, разработчик изучить SPICE и применять его? Я уверен, что ответ будет, несомненно, положительным. Это справедливо как для академического, так и для профессионального мира. Ваше образование не будет полным без овладения этим ценным инструментом.

Сможет ли SPICE научить вас осуществлять анализ и разработку электрических схем? Я уверен, что ответ будет, безусловно, отрицательным. Изучение основных законов, управляющих поведением электрических цепей, стало в настоящее время еще важнее, чем прежде. А SPICE и другие компьютерные средства лишь освобождают вас от повторения нудных и длительных вычислений.

В процессе вы, конечно, получите некоторые дополнительные знания, которые могли бы иначе пропустить. Вы можете использовать также программу Probe, которая является частью PSpice и позволяет вам, среди прочего, графически построить реакцию цепи на входное воздействие во временной и частотной областях.

Целью этой книги было желание создать простой и легкий для освоения путеводитель по PSpice для студентов, желающих больше узнать о компьютерных средствах анализа цепей. Материал представлен таким образом, чтобы любой изучающий или изучивший различные теоретические разделы мог бы сразу же применить PSpice на практике.

Важным качеством книги является наличие моделей для таких приборов, как биполярные транзисторы (BJT), полевые транзисторы (FET) и операционные усилители (ОУ). Модели должны быть не сложнее тех, что используются для ручного расчета. Например, если Вас интересуют токи и напряжения смещения для биполярных транзисторов, нет необходимости использовать модели, в которых учитываются параметры транзистора на переменном токе. Надеемся, что читатель сможет создать собственные модели для каждого прибора, особенно для тех случаев, когда достаточно использовать линейные аппроксимации.

Следует отметить, что хотя простое чтение материала и может принести вам пользу, гораздо больше информации вы получите при разборе каждой задачи на компьютере. При этом важно, чтобы вы самостоятельно создали входной файл (схему), исследовали ее с помощью PSpice и получили затем выходной файл и/или использовали программу Probe, чтобы получить наглядный графический результат. Только при фактическом эксперименте на компьютере вы сможете оценить свои возможности и получить удовлетворение, когда решение появится на вашем мониторе или будет распечатано на принтере.

Программа, которая позволяет разработчику размещать в схеме различные компоненты, создавая их изображения на дисплее, и проводить в дальнейшем анализ на PSpice, называется Schematics. Кампания MicroSim поддерживала Schematics до слияния с OrCAD. Затем она была заменена программой Capture CIS, разработанной OrCAD. Эти две программы не очень похожи. Поэтому если раньше вы использовали для работы Schematics, вам потребуются дополнительные усилия, чтобы начать моделировать схемы с помощью Capture CIS. В этой книге автор решил ввести вас в SPICE в той форме, которая была принята исторически.

Вы начинаете с нарисованной от руки электрической или электронной схемы, в которой нумеруются узлы, обычно в нарастающей последовательности. Точкой заземления является нулевой узел, все остальные узлы вы должны пометить. Затем вам следует идентифицировать элементы схемы один за другим в отдельных строках файла, который называется схемным (или входным) файлом. Эти файлы имеют расширение *cir (от circuit — схема). После того как вся схема идентифицирована, можно проводить анализ (моделирование). Результат сообщит вам (иногда больше, иногда меньше) о поведении схемы при различных условиях.

Если вы выберете для создания схемы программы Schematics или Capture, вся схема будет изображена на дисплее, и вы сможете выбрать опции и тип проводимого анализа. Конечный результат будет таким же, как и при описанном выше непосредственном вводе схемы. Выбор характера ввода — непосредственного или с помощью Schematics или Capture CIS — зависит от вас. Следует отметить, что прямой ввод на PSpice является наиболее простым, в то время как освоение Schematics или Capture CIS достаточно утомительно и сложно.

ЧТО НОВОГО В ЧЕТВЕРТОМ ИЗДАНИИИ

Как можно было ожидать, после слияния MicroSim и OrCAD внешний вид и механизм работы PSpice изменился по сравнению с предыдущей версией программы. Материал последней редакции основан на 9 версии программного продукта. Эта или более поздняя версия (если такая имеется) приведена на компакт-диске, приложенном к книге*.

Предполагается некоторое знакомство пользователя с Windows 95 или 98. Порядок установки программы описан в приложении C, однако вы можете просто вставить компакт-диск в компьютер и следовать указаниям, появляющимся на экране. Появится общее меню OrCAD, но при желании вы можете использовать последовательность команд Start, Run, после чего набирайте d:orcadstart.exe (если драйвер вашего CD-ROM обозначается буквой d).

Главы 1-13 описывают большинство задач, касающихся анализа цепей на постоянном и переменном токе, полупроводниковых приборов и схем, операционных усилителей, четырехполюсников и фильтров. В главах 14-17 изложена методика анализа для тех же цепей с применением программы

* К настоящему изданию приложена демонстрационная версии 9-го выпуска программы OrCAD PSpice, которой можно пользоваться свободно. Кроме того, на CD-ROM помещена демо-версия десятого выпуска OrCAD 10.5, с которой можно работать в течение 30 дней после установки на компьютер.

Schematics. Программа была усовершенствована, с тем чтобы обеспечить более широкую доступность цифровых приборов в библиотеках устройств.

Все задачи были переделаны для использования с Windows 98 и последними версиями PSpice и все графики Probe были пересмотрены применительно к новому виду выходных файлов Probe. Есть небольшие различия в недавно полученных результатах и результатах, полученных в прежних версиях. Одно из различий, заслуживающих внимания, заключается в том, что, в зависимости от типа используемого принтера, различаются графики, полученные в Probe для новой и прежних версий программы. Вообще говоря, графики, полученные на лазерных принтерах, превосходят по качеству графики, полученные на струйных принтерах.

БЛАГОДАРНОСТИ

Автор благодарит за квалифицированные замечания всех рецензентов четвертого издания: Томаса Е. Бревера (Thomas E. Brewer), Технологический институт Джорджии; Джеймса Н. Даунинга (James N. Downing), колледж связи в Холиоке; Джона Д. Полюса (John D. Polus), университет в Пурдуэ и Руссела Е. Пукетта (Russel E.Puckett), техасский университет A&M.

ПРЕДИСЛОВИЕ ПЕРЕВОДЧИКОВ

Изучение таких дисциплин, как теория цепей, электротехника, радиоэлектроника, в современном университетском образовании немыслимо без исследования процессов в широком спектре схем с использованием современного измерительного оборудования. Немаловажную роль в процессе познания этих дисциплин занимает проблема планирования и проведения экспериментов.

Современные средства вычислительной техники и программное обеспечение позволяют реализовать на персональном компьютере виртуальные лаборатории, в которых максимально близко имитировать реальные лабораторные условия, как с точки зрения элементной базы, так и современных приборов.

На сегодняшний день преподавательскому составу университетов становится очевидным, что без такого инструмента современный учебный процесс просто невозможно реализовать. Недостаток программного и методического обеспечения на российском рынке в определенной степени сдерживает этот процесс у нас в стране.

Представленная книга восполняет этот пробел. Описываемая программа PSPICE наряду с такими программными оболочками, как MATLAB, Electronics Workbench, Multisim, входит в число наиболее востребованных программ, на которых базируется изучение отмеченных ранее курсов.

Книга написана простым и понятным языком, а ее построение соответствует программам курса теории цепей технических университетов.

Это и побудило нас заняться этой работой. Мы уверены, что книга, несомненно, будет полезна широкой студенческой аудитории и преподавательскому составу кафедр теории цепей, электротехники, радиоэлектроники, вычислительной техники, а также многим другим смежным специальностям.

От имени переводчиков *Панфилов Д. И., д. т. н., проф.*

Содержание

Введение 19
Предварительные замечания 20
Начальные шаги 21
Несколько полезных замечаний 22
Порядок выполнения 23
Создание входного файла 23
Просмотр выходного файла 25
Изменение входного файла 26
Направление тока 27
Что еще можно прочесть 28

Обзор PSpice 29
Анализ цепей постоянного тока 29
Анализ цепей переменного тока 33
Probe 36
Анализ транзисторных схем 38

ГЛАВА 1

Анализ цепей на постоянном токе 43
Вводный пример 43
Использование Spise для исследования схем 44
Просмотр выходного файла 45
Другой пример для анализа 46
Основные законы теории цепей 48
Что еще можно извлечь из выходного файла 50
Направления токов 50
Цепи с двумя источниками напряжения 50
Теорема Тевенина и ее применения 53
Spise и Теорема Тевенина 54
Практические применения теоремы Тевенина 55
Замена цепей при применении теоремы Тевенина 56
Реальные источники тока или реальные источники напряжения 58
Анализ для цепей с источниками тока с помощью Spise 60

Теорема Нортона 62
Применение теоремы Нортона 62
Определение тока короткого замыкания 63
Цепи с источниками тока и напряжения 63
Максимальная передача мощности 64
Зависимые источники в электрических цепях 65
Источник напряжения, управляемый напряжением 65
Источник напряжения, управляемый током 68
Источник тока, управляемый током 70
Другие источники тока, управляемые током 71
Источник тока, управляемый напряжением 73
Другие источники напряжения, управляемые током 74
Полиномиальные зависимые источники 75
Зависимые источники, управляемые двумя напряжениями 76
Метод контурных токов и PSpise 78
Вариация параметров на постоянном токе 80
Применение команды .PROBE 81
Метод узловых потенциалов и PSpise 83
Непланарные цепи 85
Обзор команд PSpise, применяемых в данной главе 86
Команды, начинающиеся с точки, используемые в данной главе 87
Задачи 89

ГЛАВА 2

Анализ цепей на переменном токе
(для установившихся синусоидальных режимов) 93
Последовательная *RL*-цепочка на переменном токе 93
Последовательная *RC*-цепочка на переменном токе 95
Параллельные ветви на переменном токе 95
Параллельная *RC*-цепь 96
Максимальная передача мощности в цепях переменного тока 97
Резонанс в последовательных *RLC*-цепях 98
Частотный анализ в последовательно-параллельных цепях
переменного тока 101
Влияние изменения сопротивления катушки 102
Параллельные резонансные цепи 102
Использование курсора в программе Probe 104
Определение полного входного сопротивления в цепях
переменного тока 104
Полное входное сопротивление в цепях с двумя ветвями 106
Фазосдвигающие цепи 107
Частотные зависимости полных проводимостей 109
Годограф проводимости для последовательного *RLC*-контура 111