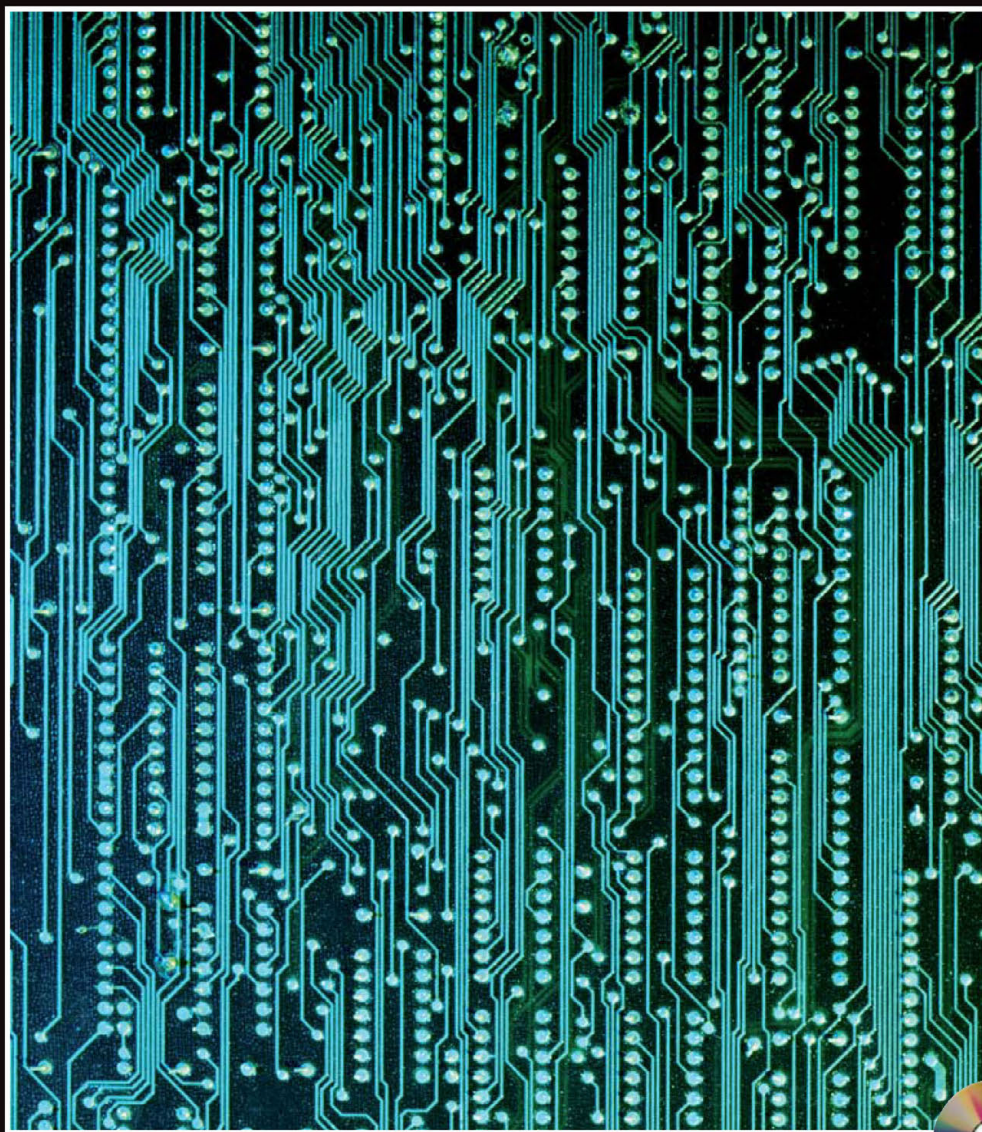


OrCAD Pspice

АНАЛИЗ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ



Джон КЕОУН

ДМК
ПРЕСС

ПИТЕР®

УДК 004.2
ББК 32.973.26-018.2
К33

Д. Кеон
K33 OrCAD PSpice. Создание электрических цепей. Пер. с англ. А. Осипова. — М.: Издательский дом ДМК-пресс. — 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 © by Prentice-Hall, Inc.

© Перевод на русский язык, оформление
Издательский дом ДМК-пресс

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 Нортонa	62
Применение теоремы Нортонa	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 PSpice	78
Вариация параметров на постоянном токе	80
Применение команды .PROBE	81
Метод узловых потенциалов и PSpice	83
Непланарные цепи	85
Обзор команд PSpice, 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

Цепи переменного тока с несколькими источниками	112
Трансформаторы	114
Реакция в частотной области для цепей настройки частоты	115
Трехфазные цепи переменного тока	117
Исправление коэффициента мощности	119
Исправление коэффициента мощности в трехфазных цепях	121
Трехфазный выпрямитель	126
Регулировка напряжения в трехфазных системах	127
Двухфазные системы	129
Обзор новых команд PSpise, применяемых в данной главе	131
Команды, начинающиеся с точки, используемые в данной главе	132
Задачи	133

ГЛАВА 3

Транзисторные схемы	139
Биполярные транзисторы	139
Модели, предназначенные для расчета смещения	139
Условия насыщения	141
Расчет смещения для германиевого транзистора	141
Малосигнальная модель с h -параметрами для биполярных транзисторов	143
Анализ схем с общим эмиттером, использующий модель с h -параметрами	144
Анализ схем с общим коллектором, использующий модель с h -параметрами	146
Анализ схем с общей базой, использующий модель с h -параметрами	147
Анализ схем для других конфигураций	149
Анализ цепей с использованием теоремы Миллера	150
Дуальная теорема Миллера	152
Схема с общим коллектором, включающая с коллекторный резистр	154
Усилители с высоким входным сопротивлением	155
Двухкаскадные усилители	157
Упрощенная модель с h -параметрами	159
Анализ усилителя с общим эмиттером, использующий упрощенную модель с h -параметрами	159
Транзисторные усилители на полевых транзисторах	160
Усилители с общим стоком на полевых транзисторах с внешним резистором стока	162
Частотная характеристика усилителя на полевых транзисторах	162
Модель биполярного транзистора для высоких частот	164
Эмиттерный повторитель при работе на высоких частотах	165
Чувствительность по постоянному току	167

Чувствительность по току смещения	169
Библиотека элементов PSpice	171
Чувствительность биполярных транзисторов из библиотеки PSpice	171
Обзор новых команд PSpice, применяемых в данной главе	173
Команды, начинающиеся с точки, используемые в данной главе	174
Задачи	174

ГЛАВА 4

Многокаскадные усилители, частотные характеристики

и цепи обратной связи	179
Фильтры низких частот	179
Низкочастотная реакция RC -фильтра высоких частот	181
Усилитель с общим эмиттером и шунтирующим конденсатором	182
Двухкаскадный усилитель на высоких частотах	184
Двухкаскадный усилитель общим эмиттером с последовательной связью по напряжению	186
Колебательный контур как модель двухполюсного усилителя с обратными связями	190
Усилитель с общим эмиттером с параллельной обратной связью по напряжению	194
Параллельная обратная связь по току в двухкаскадном усилителе с общим эмиттером	195
Амплитудно-частотные характеристики для трехкаскадного усилителя с общим эмиттером	196
Влияние нагрузки на частотную характеристику	198
Трехкаскадный усилитель с параллельной обратной связью по напряжению	199
Обзор новых команд PSpice, применяемых в данной главе	200
Различные виды задания формы выходного сигнала источников	201
Экспоненциальные источники	201
Импульсные источники	202
Источники с широтно-импульсной модуляцией	203
Источники с частотной модуляцией	204
Синусоидальные источники	205
Задачи	206

ГЛАВА 5

Операционные усилители	211
Идеальный операционный усилитель	211
Неинвертирующий идеальный операционный усилитель	213
Операционный усилитель с дифференциальным входом	214
Амплитудно-частотная характеристика операционного усилителя	216
Использование подсхем при моделировании операционных усилителей	220

Дифференцирующие схемы на базе операционных усилителей	222
Интегрирующие схемы на базе операционных усилителей	224
Отклик на единичную функцию	226
Цепи с двумя однотипными операционными усилителями	227
Активные фильтры	229
Низкочастотный фильтр Баттерворда второго порядка	230
Низкочастотный фильтр Баттерворда четвертого порядка	232
Активный резонансный полосовой фильтр	236
Активный RC полосовой фильтр	240
Обзор новых команд PSpice, применяемых в данной главе	241
Задачи	242

ГЛАВА 6

Переходные процессы и анализ во временной области	245
Замыкание ключа в RL -цепях	245
Переходной процесс при ненулевых начальных условиях	247
Подключение источника постоянного напряжения к RC -цепи	249
Цепи с двумя накопителями энергии	250
Апериодический процесс в RLC -цепях	250
Критический переходной процесс в RLC -цепях	252
Колебательный процесс в RLC -цепях при слабом запуске	253
Отклик на служебное воздействие в усилителях	254
Отклик на низкочастотное воздействие в усилителях	256
Цепи заряда конденсаторов	258
LC -цепи при размыкании ключа	260
Цепи с источником тока	262
Мостовые схемы с ненулевым начальным током	264
Звенящий контур	266
Задачи	267

ГЛАВА 7

Ряды Фурье и гармонические составляющие	269
Основная и вторая гармоники	260
Сложение гармоник и разложение сигнала на гармонические составляющие	272
Искажение по второй гармонике в усилителях	274
Интермодуляционные искажения	275
Сложение гармоник	279
Сложение основной и второй гармоник	280
Амплитудная модуляция	281
Обзор новых команд PSpice, применяемых в данной главе	283
Задачи	284

ГЛАВА 8

Устойчивость и автоколебания	287
Цепи обратной связи	287
Генератор на базе моста Вина с начальным запуском	288
<i>LC</i> -генератор с начальным запуском	290
Измерения с помощью измерительных цепей	291
Генератор со смещением фазы	292
Генератор на базе моста Вина	295
Другой пример исследования генератора на базе моста Вина	297
Генератор Колпитца	299
Задачи	301

ГЛАВА 9

Приборы в PSpice	303
Однополупериодные выпрямители	303
Встроенная модель для диода	304
Фильтрация выходного напряжения в однополупериодных выпрямителях	306
Двухполупериодные выпрямители	308
Двухполупериодные выпрямители с фильтрами	309
Простейший диодный ограничитель	310
Двусторонний ограничитель	311
Выбор сопротивления нагрузочного резистора для максимальной передаваемой мощности	313
Встроенная модель биполярного транзистора	315
Выходные характеристики схемы с общим эмиттером	316
Входные характеристики схемы с общим эмиттером	317
Другие активные полупроводниковые приборы	318
Дифференциальные усилители	318
Коэффициент усиления при дифференциальном входе	318
Коэффициент усиления при общем входе	319
Передаточные характеристики дифференциального усилителя	320
Логические схемы	323
Микросхема или HE типа 7402	323
Обзор новых команд PSpice, применяемых в данной главе	326
Новые команды, начинающиеся с точки	327
Задачи	328

ГЛАВА 10

Биполярные транзисторы и их модели	331
Биполярные транзисторы	331
Выходные характеристики	331
Входные характеристики	333

Усилители с общим эмиттером	333
Анализ цепи смещения	337
Анализ на переменном токе	338
Усилитель с общим эмиттером с нешунтированным эмиттерным резистором	342
Определение входного сопротивления	346
Применение собственных моделей с h -параметрами	346
Анализ с помощью h -параметров	346
Фазовые соотношения в усилителе с общим эмиттером	347
Усилитель без эмиттерного конденсатора	348
Усилитель с эмиттерным конденсатором	350
Триггер на биполярных транзисторах	351
Анализ на PSpice	353
Симметричный мультивибратор	355
Мультивибратор с эмиттерными связями на биполярных транзисторах	356
Задачи	361

ГЛАВА 11

Полевые транзисторы	363
Выходные характеристики полевых транзисторов	363
Входные характеристики усилителя на полевых транзисторах	364
Токи смещения полевых транзисторов	365
Усилители на полевых транзисторах	368
Временные диаграммы усилителей	369
Мощные полевые транзисторы MOSFET	369
Выходные характеристики	370
Входные характеристики	371
Усилители на MOSFET	373
Временные диаграммы	375
Арсенид-галлиевые полевые транзисторы	375
Задачи	379

ГЛАВА 12

Четырехполюсники и пассивные фильтры	383
Параметры четырехполюсников	383
Определение y -параметров	383
Использование y -параметров для расчета схем	386
Y -параметры для цепей с независимыми источниками	387
Полные сопротивления в режиме холостого хода	389
Z -параметры для цепей переменного тока	391
Использование z -параметров для расчета схем	393
Параметры $ABCD$	393
Гибридные параметры	395

Другой набор гибридных параметров	396
Линии передачи	397
Длинные линии	397
Фильтры с постоянным коэффициентом передачи	400
Поведение фильтров в полосе давления с постоянным коэффициентом передачи	403
Линии передачи без потерь	404
Линии передачи без потерь из нескольких секций	408
Входное сопротивление в различных точках линии	409
Полосовой фильтр	411
Заградительный фильтр	413
Задачи	414

ГЛАВА 13

Нелинейные приборы	417
Нелинейный резистор	417
Дроссель со стальным сердечником	419
Кривая $B(H)$	419
Трансформатор со стальным магнитопроводом	421
Использование ключа, управляемого напряжением, для моделирования нелинейного резистора	424
Использование ключа, управляемого током, для моделирования нелинейного резистора	426
Обзор новых команд PSpice, применяемых в данной главе	427
Новая директива, начинающаяся с точки	428
Задачи	428

ГЛАВА 14

Программа Capture	431
Последовательные цепи на постоянном токе	432
Создание схем в программе Capture	432
Анализ схемы	435
Исследование выходного файла	435
Печать результатов	435
Псевдонимы в цепях	438
Изображение T-образной цепи	440
Запуск моделирования	440
Зависимые источники в схемах	442
Источник напряжения, управляемый напряжением	442
Источник тока, управляемый током	444
Цепи переменного тока	446
Проведение анализа с вариацией на переменном токе	447
Нахождение более точных значений	450
Порядок следования узлов	450

Получение синусоидальных диаграмм при анализе на переменном токе	451
Временные диаграммы тока и напряжений	452
Последовательная <i>RC</i> -цепь	453
Полное сопротивление нагрузки, обеспечивающее максимальную передаваемую мощность	455
Обозначения токов и напряжений в Probe	457
Последовательный резонанс	457
Цепи переменного тока с несколькими источниками	459
Временные диаграммы цепей переменного тока со многими источниками гармонического сигнала	460
Временные диаграммы гармонических токов	462
Трансформаторы	463

ГЛАВА 15

Транзисторные цепи в Capture	465
Выходные характеристики Q2N3904	465
Входные характеристики Q2N3904	468
Изучение схем с общим эмиттером на биполярных транзисторах	469
Анализ на переменном токе	472
Анализ переходных процессов	472
Изменение параметров транзистора	474
Использование моделей с <i>h</i> -параметрами	477
Характеристики полевых транзисторов	480
Усилители на полевых транзисторах	481
Анализ переходных процессов (временные диаграммы JFET)	486
Анализ частотных характеристик биполярного транзистора	487
Изменение характеристик транзистора	488

ГЛАВА 16

Операционные усилители в Capture	489
Неинвертирующие усилители на идеальных операционных усилителях	489
Операционные усилители с дифференциальным входом	491
Амплитудно-частотная характеристика операционных усилителей	493
Активные фильтры	494
Активный полосовой резонансный фильтр	497
Компонент <i>uA741</i>	498
Частотная характеристика <i>uA741</i>	498
Обозначение узлов подсхемы	498
Использование <i>uA741</i> в качестве детектора уровня	503
Фазосдвигающее устройство на операционном усилителе	506
Фазосдвигающее устройство с использованием идеального операционного усилителя	507

ГЛАВА 17

Другие темы в Capture	513
Редактор Stimulus	513
Характеристики при вариации по температуре	514
Изменение напряжения зенеровского пробоя	516
Другой способ изменения напряжения пробоя зенеровских диодов	519
Анализ шума	519
Гармонический состав выходного напряжения	523
Использование изменяемого параметра	527
Использование допусков приборов	528
Анализ по методу Монте-Карло	530
Анализ на наихудший случай	532
Влияние допуска резисторов на анализ наихудшего случая	533
Цифровые схемы в Capture	534
Схема НЕ	534
Схема полусумматора	537
Схема для упрощения с использованием булевых функций	540
D-триггер	540

ПРИЛОЖЕНИЕ

Приложение А

Краткое описание директив PSpice	545
--	-----

Приложение В

Компоненты и директивы PSpice	549
-------------------------------------	-----

Приложение С

Установка программы, справочника и гида	566
---	-----

Приложение D

Приборы PSpice и параметры моделей	571
--	-----

Приложение E

Выбор из стандартной библиотеки приборов PSpice	589
---	-----

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ	623
-----------------------------------	-----

Обзор PSpice

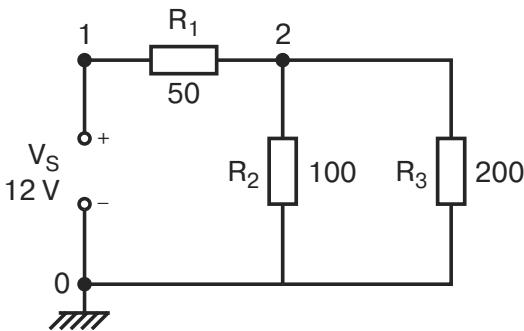
В этом разделе обсуждаются основные моменты, встречающиеся при работе с программой PSpice. Более подробные объяснения приводятся в следующих главах книги. Если в этом разделе попадутся вопросы, представляющие для вас особый интерес, можете сразу перейти к главам, в которых они рассмотрены более детально.

АНАЛИЗ ЦЕПЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА

На рис. 0.1 представлена цепь постоянного тока с источником напряжения и тремя резисторами. Нетрудно получить значения различных токов и напряжений в схеме с помощью PSpice. Если вы прочли главу «Начальные шаги» в разделе «Введение», то сможете создать входной файл на PSpice. Откройте программу `pspice.exe` и выберите позиции меню File, New, Text File. Наберите следующий текст:



```
Resistive Circuit with Voltage Source
Vs 1 0 dc 12V
R1 1 2 50ohms
R2 2 0 100ohms
R3 2 0 200ohms
.END
```



■ Рис. 0.1. Схема на постоянном токе для анализа на PSpice

Как было указано ранее, не следует нажимать Enter после набора последней строки текста.

Теперь сохраните файл, присвоив ему имя *preview.cir*. Не забывайте сохранять входные файлы в папке Spice. После сохранения файла вы можете закрыть его и снова открыть для моделирования. Просто наберите комбинацию клавиш Alt+F+C, а затем Alt+F+O и выберите Simulation, Run preview. После успешного запуска вы сможете увидеть результаты в выходном файле, выбрав View, Output File. Автор рекомендует не использовать команду File, Print на этом этапе, поскольку в выходном файле содержатся лишние строки, и он будет выведен в альбомном формате.

Анализ проводится в так называемом *малосигнальном режиме*. Чтобы получить распечатку, закройте выходной файл и используйте такой редактор, как Microsoft Word, или, при его отсутствии, редактор WordPad (который входит комплект Windows), открыв в нем файл *preview.out*. После некоторой практики вы легко определите, какую лишнюю информацию следует удалить из этого файла. Прежде всего, вам не нужны лишние колонтитулы и пропуски страниц. Когда вы приведете файл к виду, показанному на рис. 0.2, распе-

```

**** 09/13/05 22:01:10 ***** Evaluation PSpice (Nov 1999) *****

Resistive Circuit with Voltage Source

****      CIRCUIT DESCRIPTION
*****

Vs 1 0 dc 12V
R1 1 2 50ohms
R2 2 0 100ohms
R3 2 0 200ohms
.END

**** 09/13/05 22:01:10 ***** Evaluation PSpice (Nov 1999) *****

Resistive Circuit with Voltage Source

****      SMALL SIGNAL BIAS SOLUTION      TEMPERATURE = 27.000 DEG C
*****

NODE   VOLTAGE      NODE   VOLTAGE      NODE   VOLTAGE      NODE   VOLTAGE
(  1)  12.0000   (  2)   6.8571

VOLTAGE SOURCE CURRENTS
NAME           CURRENT

Vs             -1.029E-01

TOTAL POWER DISSIPATION  1.23E+00  WATTS

JOB CONCLUDED

TOTAL JOB TIME                .28

```

■ Рис. 0.2. Выходной файл для схемы на рис. 0.1

чатайте его, чтобы иметь возможность возвращаться к нему в дальнейшем и сравнивать с выходными файлами, полученными при последующей работе.

Три величины представляют интерес в выходном файле: потенциал узла 2; ток источника питания; рассеиваемая мощность. Проверьте каждое из этих значений с помощью расчетов на бумаге.

Возможно, вам понадобится больше информации об исследуемой цепи. Могут быть выведены различные токи, если включить во входной файл две дополнительные строки: установки dc voltage и установки PRINT dc. Колоннотитулы легко могут быть удалены, если включить во входной файл опцию (.OPT). Скорректированный входной файл примет вид:

```
Resistive Circuit with Voltage Source
Vs 1 0 dc 12V
R1 1 2 50ohms
R2 2 0 100ohms
R3 2 0 200ohms
.OPT nopage
.ds Vs 12V 12V 12V
.PRINT dc I(R1) I(R2) I(R3)
.END
```

Поскольку значения и узлы подсоединения V_s , R_1 , R_2 , R_3 остались теми же, первые четыре строки не менялись. Команда печати в PSpice не может быть выполнена до тех пор, пока не проведен анализ вариаций при изменении входного напряжения (sweep). Поскольку его результаты нам в данном случае не нужны, он проводится при самых примитивных установках: при начальном напряжении 12 В, конечном напряжении 12 В и шаге 12 В, то есть для одной точки.

Запустите программу анализа и получите выходной файл. В нем имеется раздел DC TRANSFER CURVES, в котором приведены токи через каждый резистор. Заметим, однако, что узловые потенциалы в этом разделе отсутствуют. Их можно получить в выходном файле, используя команду OP. При этом выводится информация о потенциалах узлов и токе источника питания.

Чтобы получить еще больше информации, при анализе во входной файл включается команда .TF. Окончательная версия входного файла имеет вид:

```
Resistive Circuit with Voltage Source
Vs 1 0 dc 12V
R1 1 2 50ohms
R2 2 0 100ohms
R3 2 0 200ohms
.OPT nopage
.OP
.PRINT dc I(R1) I(R2) I(R3)
.ds Vs 12V 12V 12V
.TF V(2) Vs
.END
```

Выходной файл при этом показан на рис. 0.3. Исследование в малосигнальном режиме устанавливается командой .OP. Команда .TF дает отноше-

```

**** 09/13/05 22:09:05 ***** Evaluation PSpice (Nov 1999) *****

Resistive Circuit with Voltage Source

****      CIRCUIT DESCRIPTION

*****
Vs 1 0 dc 12V
R1 1 2 50ohms
R2 2 0 100ohms
R3 2 0 200ohms
.OPT nopage
.OP
.PRINT dc I(R1) I(R2) I(R3)
.dc Vs 12V 12V 12V
.TF V(2) Vs
.END

****      DC TRANSFER CURVES          TEMPERATURE = 27.000 DEG C

Vs          I(R1)          I(R2)          I(R3)

  1.200E+01  1.029E-01  6.857E-02  3.429E-02

****      SMALL SIGNAL BIAS SOLUTION    TEMPERATURE = 27.000 DEG C

NODE   VOLTAGE      NODE   VOLTAGE      NODE   VOLTAGE      NODE   VOLTAGE
(  1)  12.0000    (  2)   6.8571

VOLTAGE SOURCE CURRENTS
NAME          CURRENT

Vs            -1.029E-01

TOTAL POWER DISSIPATION  1.23E+00 WATTS

****      OPERATING POINT INFORMATION    TEMPERATURE = 27.000 DEG C

****      SMALL-SIGNAL CHARACTERISTICS

V(2)/Vs = 5.714E-01

INPUT RESISTANCE AT Vs = 1.167E+02

OUTPUT RESISTANCE AT V(2) = 2.857E+01

JOB CONCLUDED

TOTAL JOB TIME          .03

```

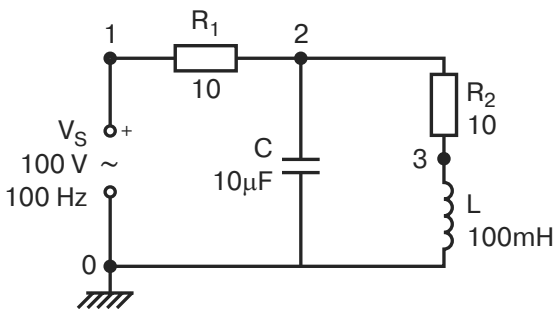
■ Рис. 0.3. Выходной файл для схемы на рис. 0.1, включающий дополнительную информацию

ние $V(2)/V_s$ потенциала узла 2 к потенциалу источника V_s , а также входное сопротивление относительно V_s и выходное относительно $V(2)$. Проверьте результат с помощью самостоятельного расчета на бумаге. Каково должно быть входное сопротивление? Отметим, что выходное сопротивление рассчитывается при короткозамкнутом источнике питания, при этом три резистора оказываются соединенными параллельно.

АНАЛИЗ ЦЕПЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Пример для цепи переменного тока показывает некоторые свойства установившегося режима цепи при гармоническом воздействии.

На рис. 0.4 показана схема с источником питания 100 В при частоте 100 Гц. Можно считать, что во входном файле приведено действующее или амплитудное значение напряжения, при этом для всех остальных величин будут вычисляться соответствующие значения. В схеме имеются резисторы, катушка индуктивности и конденсатор с параметрами, показанными на рисунке.

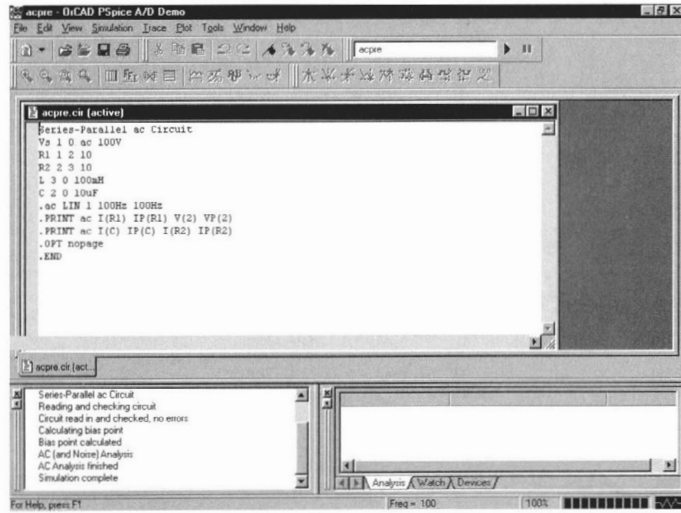


■ Рис. 0.4. Схема на переменном токе для анализа на PSpice

Откройте программу `pspice.exe` и выберите позиции меню File, New, Text File. Наберите следующий текст:

```
Series-parallel ac Circuit
Vs 1 0 ac 100V
R1 1 2 10
R2 2 3 10
L 3 0 100mH
C 2 0 10uF
.ac LIN 1 100Hz 100Hz
.PRINT ac I(R1) IP(R1) V(2) VP(2)
.PRINT ac I(C) IP(C) I(R2) IP(R2)
.OPT nopage
.END
```

Из рис. 0.5 видно, что обозначения источников переменного постоянного напряжения различны. Индуктивность катушки составляет 100 мГн. Основная единица индуктивности (Гн) используется с префиксом, обозначающим одну тысячную часть. Команда `.ac` проводит анализ для ряда зна-



■ Рис. 0.5. Схема на переменном токе для анализа на PSpice

чений напряжения источника питания. Это линейное изменение (LIN), однако может быть применено изменение и на октаву, и на декаду. Изменения проводятся только для одного значения частоты, при желании результат может не распечатываться. Команда .OPT убирает лишние заголовки и разбиение на страницы. В некоторых задачах, приведенных в других книгах, эта команда не применяется, но при желании она всегда может быть включена в текст.

Результаты анализа на PSpice приведены в выходном файле (рис. 0.6). Малосигнальный анализ в этом случае (на переменном токе) не содержит фактически никакой информации. Эту часть файла лучше всего удалить перед выводом на печать.

Запись I(C) отображает ток в ветви C, IP(C) — фазовый угол этого тока в градусах. I(R2) — амплитуда тока в ветви, содержащей резистор R_2 и катушку L, IP(R2) — фазовый угол этого тока.

С помощью калькулятора проверьте равенство суммы этих токов току через резистор R_1 . В векторной форме она равна

$$I_C + I_{R2} = (0,0548, 0,600823) + (0,32, -0,873) = 0,9298 / -69,87^\circ$$

Отметим, что строка записи для R_1 имеет вид

```
R1 1 2 10
```

Узлы заданы в последовательности 1, 2. Это означает, что условное направление тока — от источника. При сложении токов, подходящих к узлу, их направление должно быть учтено и отражено на схеме.

Наибольший интерес представляет анализ, при котором частота сети варьирует между двумя граничными значениями. В нашем примере прибли-

```

**** 09/13/05 22:30:44 ***** Evaluation PSpice (Nov 1999) *****

Series-parallel ac Circuit

****      CIRCUIT DESCRIPTION
*****

Vs 1 0 ac 100V
R1 1 2 10
R2 2 3 10
L 3 0 100mH
C 2 0 10uF
.ac LIN 1 100Hz 100Hz
.PRINT ac I(R1) IP(R1) V(2) VP(2)
.PRINT ac I(C) IP(C) I(R2) IP(R2)
.OPT nopage
.END

****      SMALL SIGNAL BIAS SOLUTION      TEMPERATURE = 27.000 DEG C

NODE   VOLTAGE   NODE   VOLTAGE   NODE   VOLTAGE   NODE   VOLTAGE
(  1)   0.0000 (  2)   0.0000 (  3)   0.0000

VOLTAGE SOURCE CURRENTS
NAME           CURRENT
Vs             0.000E+00

TOTAL POWER DISSIPATION  0.00E+00 WATTS

****      AC ANALYSIS      TEMPERATURE = 27.000 DEG C

FREQ      I(R1)      IP(R1)      V(2)      VP(2)
1.000E+02  9.295E-01 -6.988E+01  9.719E+01  5.152E+00

****      AC ANALYSIS      TEMPERATURE = 27.000 DEG C

FREQ      I(C)      IP(C)      I(R2)      IP(R2)
1.000E+02  6.107E-01  9.515E+01  1.528E+00 -7.580E+01

JOB CONCLUDED

TOTAL JOB TIME      .01

```

■ Рис. 0.6. Выходной файл для схемы на рис. 0.4

зительное значение частоты резонанса составляет $f_0 = 160$ Гц. Входной файл изменяется следующим образом:

```
Series-parallel ac Circuit
Vs 1 0 ac 100V
R1 1 2 10
R2 2 3 10
L 3 0 100mH
C 2 0 10uF
.ac LIN 151 50Hz 200Hz
.probe
.END
```

Сохраните новую версию входного файла под именем *acpre1.cir* с помощью команд File, Save As... Нет необходимости закрывать и снова открывать файл, если к предыдущему имени добавлен символ 1.

Команда *.ac* дает линейную вариацию для 151 значения по частоте в диапазоне от 50 до 200 Гц. Это означает, что вычисления производятся для каждого целого значения частоты в этом диапазоне. Команда *.probe* помещает результаты моделирования в файл данных программы Probe, которому в данном случае будет присвоено имя *acpre1.dat*.

Probe



Как было отмечено, нет необходимости закрывать и снова открывать файл *acpre1.cir*. Просто выберите Simulation, Run *acpre1.cir*. Когда моделирование закончится, на экране возникнет область, в которой может быть показан график. Это — окно программы Probe, включенной в состав PSpice. Ось *X* по умолчанию показана в пределах от 100 Гц до 1 кГц. Поскольку нас интересует только часть этой области, изменим границы, выбрав Plot, Axis Settings... В таблице оси *X* выберем User Defined и введем значения от 50 Hz до 200 Hz, затем выберем *Linear Scale* и нажмем ОК. Чтобы получить график, называемый trace, выберем Trace, Add Trace, а в поле *Trace Expressions*: наберем

```
IP(R1)
```

При этом будет построен график фазы тока через R_1 , который является током источника. Измените размеры окна, если это необходимо, чтобы разглядеть детали графика.

Вы можете добавить к графику текст, выбрав Plot, Label, Text и набрав

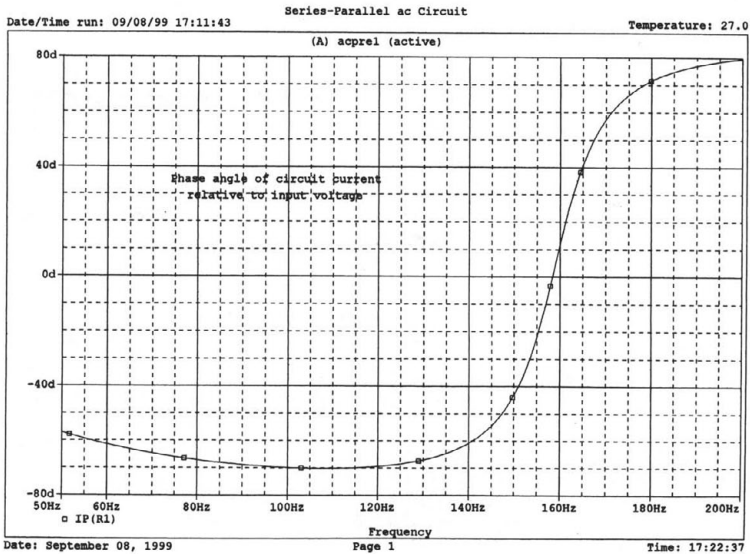
```
Phase angle of circuit current
```

Затем нажмите ОК и переместите текст в нужное место с помощью мыши. Дополните текст словами:

```
Relative to input voltage
```

Поместите эту строку непосредственно под первой. Затем выведите график на печать, выбрав File, Print и осуществив стандартные операции распечатки. Сравните полученный результат с приведенным на рис. 0.7.

Оставаясь пока в Probe, вызовите курсор, выбрав Trace, Cursor, Display. В нижнем правом углу экрана появится окно *Probe Cursor* со следующим текстом:



■ Рис. 0.7. Графический выходной файл, полученный в программе Probe

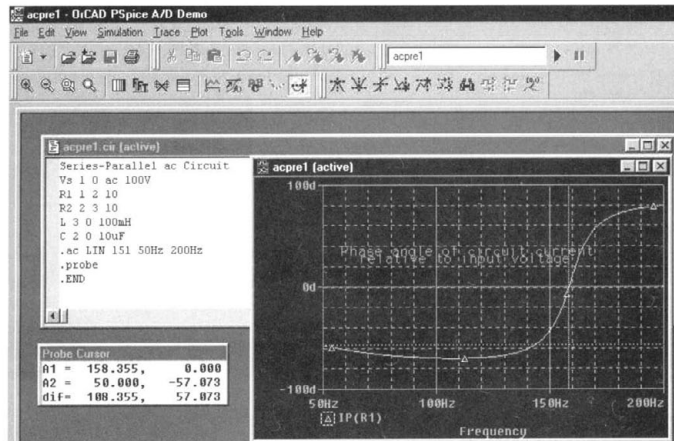
```
A1 = 50.000, 257.073
A2 = 50.000, 257.073
dif = 0.000, 0.000
```

A1 — значение начальной частоты (по оси X), IP — угол фазового сдвига. До тех пор пока курсор не сдвинут, значение A2 повторяет значение A1. С помощью мышки сдвиньте курсор в позицию, при которой фазовый сдвиг примерно равен 0, а затем с помощью левой и правой стрелок установите значение точно в 0. На дисплее курсора появятся значения

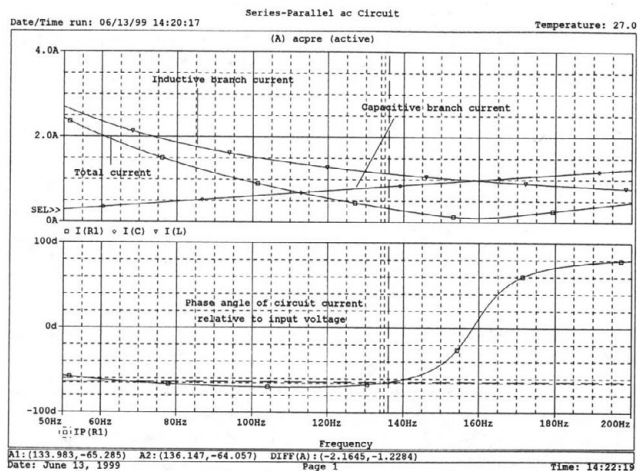
```
A1 = 158.355, 0.000
A2 = 50.000, -57.073
dif = 108.355, 57.073
```

Значение A1 покажет новую частоту 158,335 Гц и фазовый угол 0°. Значение *dif* (разность) очевидно. Отметим, что значение 0,000 для фазового сдвига представляет собой результат округления, реальное значение не равно нулю в точности. Поэтому если повторить моделирование, вы можете получить несколько иной результат. Вид экрана показан на рис. 0.8.

Отметим, что окна View, Output и View Simulation Status могут включаться и выключаться. Удалим табло курсора (которое также может включаться и выключаться) и выберем Plot, Add Plot. При этом поверх первого окна появится второе окно для новой кривой. Оно будет пустым до тех пор, пока вы не определите, какой из графиков должен появиться. Отметим, что окно Add Trace представляет список величин, для которых могут быть построены графики. Щелкните мышью в поле I(R1) и этот ток появится на графике. Наберите «,» (запятую) и выберите I(C) — появится график этого тока, снова на-



■ Рис. 0.8. Определение фазового сдвига с помощью функции Cursor в программе Probe



■ Рис. 0.9. Разметка кривых в выходном файле программы Probe

берите «,» (запятую) и выберите I(L) для третьей кривой. Щелкните мышкой на ОК и в верхнем окне появятся три кривые.

Используйте команды Plot, Axis Setting, чтобы изменить пределы по осям Y.

Выберите маркер User defined, затем введите значения от 0 А до 3.0 А, чтобы изменить значения диапазона, и нажмите ОК. Затем разметьте кривые, как показано на рис. 0.9, чтобы пояснить распечатку*. Отметим, что амплитуда общего тока меньше амплитуды тока в индуктивной ветви. В то же время она меньше и амплитуды тока в емкостной ветви.

* К сожалению, надписи в программе OrCAD PSpice нельзя писать кириллицей. Для того чтобы писать поясняющие надписи на русском языке, предлагаем читателю сделать копию экрана, нажав клавишу Print Screen, и вставить ее в стандартную программу Paint, имеющуюся в Windows. После этого можно воспользоваться всеми возможностями этой программы для редактирования рисунков: ввести надписи на кириллице, инвертировать цвета на экране и так далее. (Прим. переводчика.)