

779

TK 702
W38

□中国高等职业技术教育研究会推荐

高职系列教材

电子电路 CAD 程序及其应用

王 源 主编



A0957123

西安电子科技大学出版社

2 0 0 1

内 容 简 介

本书讲述了用高级语言编制的5个用于教学的电路分析程序的使用方法。它们是直流分析程序DCAP、交流分析程序ACAP、瞬态分析程序TSAP、傅里叶分析程序FAGP-1及FAGP-2。本书还系统讲述了电子电路模拟软件PSPICE7.1评估版的使用及其在电子电路中的应用,同时还简要介绍了电路仿真软件MC3的使用方法及其在电子电路中的应用。

在写作风格上,本书充分考虑了高职教育的特色,以实例作为铺垫进行讲解。本书可作为高职应用电子专业的教材,也适合高专与高职电类专业学生、有关工程技术人员及电子电路CAD爱好者学习通用电路仿真软件时使用。

图书在版编目(CIP)数据

电子电路CAD程序及其应用 / 王源主编

—西安:西安电子科技大学出版社,2001.8

高职系列教材

ISBN 7-5606-1042-0

I 电… II 王… III 电路分析—计算机模拟—应用程序—高等学校:技术学校—教材

IV TN·702

中国版本图书馆CIP数据核字(2001)第043516号

责任编辑 马乐惠 徐德源

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)8227828 邮 编 710071

http://www.xduph.com E-mail xdupfb@pub.xaonline.com

经 销 新华书店

印 刷 铁一局印刷厂

版 次 2001年8月第1版 2001年8月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 15.25

字 数 357千字

印 数 1~4000册

定 价 16.00元

ISBN 7-5606-1042-0 / TP·0515

*** 如有印装问题可调换 ***

本书封面贴有西安电子科技大学出版社的激光防伪标志,无标志者不得销售。

前 言

目前, 电子电路 CAD 在国内外均已达到成熟阶段, 用计算机对电子电路进行辅助设计已成为工程技术人员必备的素质。电路的计算机辅助分析, 即电路 CAA 是电子电路 CAD 的核心部分, 应用它可以对电子电路进行分析与计算、模拟与仿真, 从而摆脱传统的手工分析计算与电路的插接实验。

本书不同于一般的电子电路 CAD, 它是专门讲述电子电路的计算机辅助分析程序应用的教材。它完全把程序的应用从复杂的算法中分离出来, 直接讲述电路的计算机辅助分析软件的使用方法及其应用, 学生不必学习电子电路 CAD 技术方面的复杂理论, 就可以在低年级配合电路分析及电子技术等课程, 学习如何用计算机对电子电路进行分析与计算。在低年级就让学生掌握电子电路工程软件的应用是本教材的特色之一。根据高等职业教育要突出某一领域中的应用技能这一要求, 本书面向电子技术应用类高职专业或以应用为主的普通电类专业, 重点突出电子电路计算机辅助分析软件的应用技能, 这是电类高职学生在电子领域中必备的应用技能。故此书将配合电路分析、电子技术等课程列举大量例题通俗易懂地讲述电子电路 CAD 软件的应用方法。以应用为主, 突出电类高职教育培养学生全面熟练掌握本专业领域中的计算机应用技能是本书的另一特色。

本书根据电路 CAD 软件输入方式的 3 种模式, 即高级语言、电路语言与图形输入来组织编写教材, 这全面反映了电路 CAA 的整体状况及发展历史。第一部分专门选编和开发一套针对电路分析教学用的计算机电路分析程序, 该程序是用 BASIC 高级语言实现的。这样学生不仅能够用计算机对电路分析部分进行分析计算, 同时也可以看到源程序, 从而对程序的编制原理也有一个初步、形象的认识。第二部分为本书的重点, 专门讲述以图形输入作为输入方式的电子电路分析程序 PSPICE7.1 评估版。PSPICE 软件是当今最流行、最全面的电子电路分析软件, 图形输入方式形象生动, 符合人的习惯, 受到工程技术人员的欢迎。针对图形输入方式, 该部分还选编了流行的电子电路分析软件 MCRO-CAPIII, 以供读者选择使用。第三部分讲述 PSPICE 的电路语言输入方式, 电路语言简单易学, 便于交流, 并且最为成熟。如此便可比较全面地掌握 PSPICE 软件的使用。这三部分综合在一起将全面介绍当今最流行及最实用的电子电路分析软件的使用方法及其应用, 从而可以使教师在讲述电子电路 CAD 这门课程时有比较大的选择余地, 教师可以根据课时的多少及个人的爱好选择其中的若干部分进行讲解。这种对电子电路分析软件应用介绍的全面性及灵活性是本书的又一特点。

本书的讲解以实例引出, 并自始至终以实例作为铺垫。相信通过本教材的学习可以使高职电类及普通电类学生较快地和较全面熟练地掌握电子电路 CAD 软件的应用技术, 为未来在电子工程等领域中充分应用电子电路 CAD 应用技术打下基础。

本书作者经过 1 年多的艰辛工作, 边调试, 边应用, 边写作, 最终完成了书稿的编著。书中绝大多数内容均在教学中得以应用, 取得很好的教学效果。书中不妥之处在所难免,

还望读者指正。作者还应感谢孙建京、樊月华、郑坚等老师的关心与帮助，以及北京科技大学刘宏才教授的指点。仲志琪老师在百忙之中对第5章的全部实例进行了复查，并对实例中的全部图形进行了处理，在此一并表示感谢。

本书第1章、第2章、第3章、第4章由王源编写，第5章及第6章特邀北京科技大学钟家桢教授编写。

编者 王 源

2001年4月于北京

E-mail: WYYY@mweb.com.cn

目 录

第 1 章 电子电路 CAD 概论	1
1.1 引言.....	1
1.2 电子电路 CAD 的原理.....	1
1.3 电路的计算机辅助分析及其程序的功能.....	3
1.3.1 电路 CAA 的过程.....	3
1.3.2 电路 CAA 软件及其功能.....	3
1.4 当今流行的电子电路 CAD 软件.....	4
第 2 章 基于高级语言输入方式的电路分析程序	6
2.1 直流分析程序 DCAP 的使用.....	6
2.1.1 直流分析程序 DCAP 的部分源程序.....	6
2.1.2 DCAP 程序使用方法.....	6
2.1.3 实例一 用 DCAP 程序求解直流电路的各支路电流及节点电压.....	7
2.1.4 上机操作.....	9
2.1.5 DCAP 源程序.....	10
2.2 瞬态分析程序 TSAP 的使用.....	15
2.2.1 固定步长瞬态分析程序 TSAP 的部分源程序.....	15
2.2.2 瞬态分析程序 TSAP 的使用方法.....	15
2.2.3 实例二 用 TSAP 程序分析 RLC 串联二阶动态电路的阶跃响应.....	16
2.2.4 实例三 用 TSAP 程序分析 RLC 串联电路的零输入响应.....	20
2.2.5 TSAP 源程序.....	22
2.3 交流分析程序 ACAP 的使用.....	29
2.3.1 ACAP 部分源程序.....	29
2.3.2 ACAP 程序使用方法.....	29
2.3.3 实例四 用 ACAP 程序分析无源滤波器的频率特性.....	31
2.3.4 实例五 用 ACAP 程序分析 RLC 串联谐振电路.....	33
2.3.5 加入中文及打印功能的 ACAP 程序.....	37
2.3.6 不带打印功能的 ACAP 源程序.....	51
2.4 非正弦周期函数傅里叶分析程序的使用.....	64
2.4.1 方波的有限次傅里叶级数的近似波形程序 FAGP-1 的使用.....	64
2.4.2 方波的离散傅里叶分析程序 FAGP-2 的使用.....	67

第3章 PSPICE 软件及其应用	73
3.1 PSPICE 6.2 版本的图形编辑器 Schematics 的使用.....	73
3.1.1 怎样进入 PSPICE 图形编辑器界面.....	73
3.1.2 怎样调出一个电路元器件图符.....	75
3.2 实例分析.....	77
3.2.1 实例一 二阶动态电路的分析.....	77
3.3 图形编辑器 Schematics 菜单命令.....	85
3.3.1 File 菜单（文件管理菜单）.....	85
3.3.2 Edit 菜单（编辑菜单）.....	86
3.3.3 Draw 菜单（画图菜单）.....	86
3.3.4 Analysis 菜单（分析菜单）.....	86
3.3.5 Marker 菜单（标记菜单）.....	87
3.3.6 View 菜单（观察菜单）.....	87
3.3.7 Navigata 菜单（导航菜单）.....	87
3.3.8 Options 菜单（选择项菜单）.....	88
3.3.9 Tools 菜单（工具菜单）.....	88
3.3.10 Windows 菜单（窗口菜单）.....	88
3.3.11 Help 窗口（帮助菜单）.....	89
3.4 图形后处理程序 Probe 菜单命令.....	89
3.4.1 File 菜单（文件管理菜单）.....	89
3.4.2 Trace 菜单（增加模拟曲线菜单）.....	89
3.4.3 Plot 菜单（曲线图处理菜单）.....	90
3.4.4 Window 菜单（窗口菜单）.....	90
3.4.5 View 菜单（观察菜单）.....	90
3.4.6 Tools 菜单（工具菜单）.....	90
3.4.7 Help 菜单（帮助菜单）.....	91
3.5 模拟计算程序 PSPICE 菜单命令.....	91
3.5.1 File 菜单（文件操作菜单）.....	91
3.5.2 Display 菜单（显示菜单）.....	92
3.5.3 Help 菜单（帮助菜单）.....	92
3.6 Schematics 窗口工具栏上的图标按钮.....	92
3.7 Probe 窗口工具栏上的图标按钮.....	93
3.8 综合应用举例.....	94
3.8.1 实例二 简单差分放大器的分析.....	94
3.8.2 实例三 RLC 串联谐振电路的分析.....	99
3.8.3 实例四 直流电路的分析.....	101
3.8.4 实例五 含集成运算放大器电路的分析.....	105
3.8.5 实例六 R、C 充放电电路的分析.....	109
3.8.6 实例七 正弦激励下 R、C 一阶动态电路的分析.....	114

3.8.7	实例八 CMOS 反相器的分析	119
3.8.8	实例九 N 沟道增强型 MOS-FET 的 V_{DS} - I_D 输出特性曲线的分析	123
3.8.9	实例十 考比兹振荡器电路的分析	128
3.8.10	实例十一 三阶巴特沃思有源低通滤波器的计算机辅助设计	132
3.8.11	实例十二 含集成运算放大器电路的层次结构分析	140
3.8.12	实例十三 负载获得最大功率电路的分析	143
3.8.13	实例十四 二极管伏安特性的分析	149
3.8.14	实例十五 RC 正弦波发生器电路的分析	161
3.8.15	实例十六 施密特触发器电路的分析	170
3.8.16	实例十七 含线性耦合电感的全波整流电路的分析	175
第 4 章	PSPICE 电路描述语言与文本输入文件	182
4.1	用 PSPICE 电路语言描述电路	182
4.1.1	PSPICE 输入描述语句分类	182
4.1.2	PSPICE 输入描述语句的构成与规定	182
4.1.3	标题语句、注释语句和结束语句	183
4.1.4	元件描述语句	184
4.1.5	半导体器件描述语句	186
4.1.6	电源描述语句	188
4.1.7	模型、子电路的描述语句和库文件的调用语句	192
4.2	用 PSPICE 分析直流电路	195
4.2.1	直流分析语句	195
4.2.2	输出控制语句和输出变量	197
4.2.3	实例一 用 PSPICE 软件计算直流电路的各节点电压	198
4.2.4	实例二 试计算实例一中节点 2 电压的直流传输特性	199
4.2.5	上机操作	200
4.3	用 PSPICE 分析交流电路	201
4.3.1	交流特性分析 .AC	201
4.3.2	实例三 用 PSPICE 软件模拟 RLC 串联谐振电路不同 Q 值下的谐振曲线	202
4.4	用 PSPICE 分析动态电路	203
4.4.1	瞬态特性分析 .TRAN	203
4.4.2	初始条件语句 .IC	204
4.4.3	实例四 二阶动态电路的各种单位阶跃响应曲线的分析	204
4.5	综合应用举例	205
4.5.1	函数定义语句 .FUNC	205
4.5.2	包括文件语句 .INC	206
4.5.3	参数及表达式定义语句 .PARAM	206
4.5.4	参数扫描分析语句 .STEP	207
4.5.5	任选项语句 .OPTIONS	207

4.5.6 实例五 简单差分放大器电路的分析	207
4.5.7 实例六 CMOS 反相器组成的九级环形振荡器电路的分析	208
4.5.8 实例七 RLC 串联电路正弦激励下响应的分析	210
第 5 章 电子电路分析程序 MC3 的基本使用方法及应用举例	212
5.1 概述	212
5.1.1 软件基本功能及特征	212
5.1.2 用法入门	212
5.2 功能键及下拉式菜单	215
5.2.1 主要功能键的作用	215
5.2.2 操作窗中各项的功能	215
5.2.3 下拉菜单及主要功能	216
5.3 鼠标操作介绍	217
5.3.1 基本操作	217
5.3.2 菜单操作及加载操作	217
5.4 应用举例	217
第 6 章 MC5 演示版简介	231
6.1 软件简介	231
6.1.1 软件的基本功能	231
6.1.2 软件的第五代产品的特点	231
6.1.3 演示版限制说明	233
6.2 软件安装、启动及卸载方法	233
6.2.1 软件安装	233
6.2.2 如何启动软件	234
参考文献	235

电子电路 CAD 概论

1.1 引言

CAD (Computer Aided Design, 计算机辅助设计) 是计算机在工程技术上的一项重要应用。全国 CAD 应用工程协调小组在《中国计算机报》上撰文强调, 应发挥政府宏观调控作用推动我国 CAD 产业发展。文中指出, 政府和行业应采取促进和鼓励企事业单位推广应用 CAD 技术, CAD 技术在企事业单位的应用, 应作为单位领导任职目标, 政绩考核基本内容之一。而电子电路 CAD 是 CAD 技术中发展较早和比较成熟的一个方面。国外一些技术先进的国家的电子电路 CAD 应用技术已相当成熟和普及, 可以说, 没有不懂 CAD 应用技术的电路设计人员。国内, 电子电路 CAD 技术的应用方兴未艾, 在科研、工程及高校教学领域中正在普及。在相关行业, 工程技术人员迅速掌握电子电路 CAD 应用技术是提高我国电子产品及工程设计质量, 使之具有国际先进水平的一项重要手段。在电子电路 CAD 领域中, 电路仿真即电路的计算机辅助分析 (Computer Aided Analysis, 简称 CAA) 是电路 CAD 的核心部分, 尤其是大规模、超大规模集成电路的分析与设计都离不开电路 CAA 与 CAD 程序的应用。现在 CAA 与 CAD 应用程序的用途早已超过了这个范围, 很多电路与系统设计工作者常用它模拟和验证自己的电路设计。

电路 CAD 应用能力是电子工程、信息工程、自动控制等相关领域中工程技术人员及高校师生必须具有的一种基本素质和能力, 因此各行业专家学者应该高度重视电路 CAD 应用的研究。

1.2 电子电路 CAD 的原理

图 1.1 为电路设计流程图, 左边为传统的设计方式, 右边为 CAD 设计方式。下面我们对这两种方式加以比较, 由此便可阐明电路 CAD 的原理。

传统的电子线路设计通常要经历初步设计、实验试制、小批量生产、正式投产 4 个阶段, 而且还必须经过这 4 个阶段的不断反复才能完成, 因为这种设计过程实质上是以实验为主, 辅以定性分析和定量估算的一种设计过程。传统的电子线路设计一般以典型电路的分析为基础, 设计者根据已有的公式、图表等进行手算和利用简单的计算工具进行计算, 因此, 既难以跳出固有框框的限制, 又难以进行复杂的计算分析。计算时一般要对元器件

的等效电路和数学模型作大量的近似和简化处理，而且要忽略一些寄生参数的影响，这就常常使得计算结果与实际性能差距很大，需要经过费时颇长的实验调试反复凑试来修正原有的设计。由于手算无法对电路进行灵敏度和统计分析，使得设计者不可能规定元件容差的合理范围，常造成电路中元件互换性差，产品合格率低。另外，传统的设计方法不便于对电子线路的某些故障进行模拟分析，因而难以确保产品的可靠性。这些矛盾随着电子线路的日益复杂而日趋尖锐。再有，传统的设计方法无法胜任大规模和超大规模集成电路的设计工作。

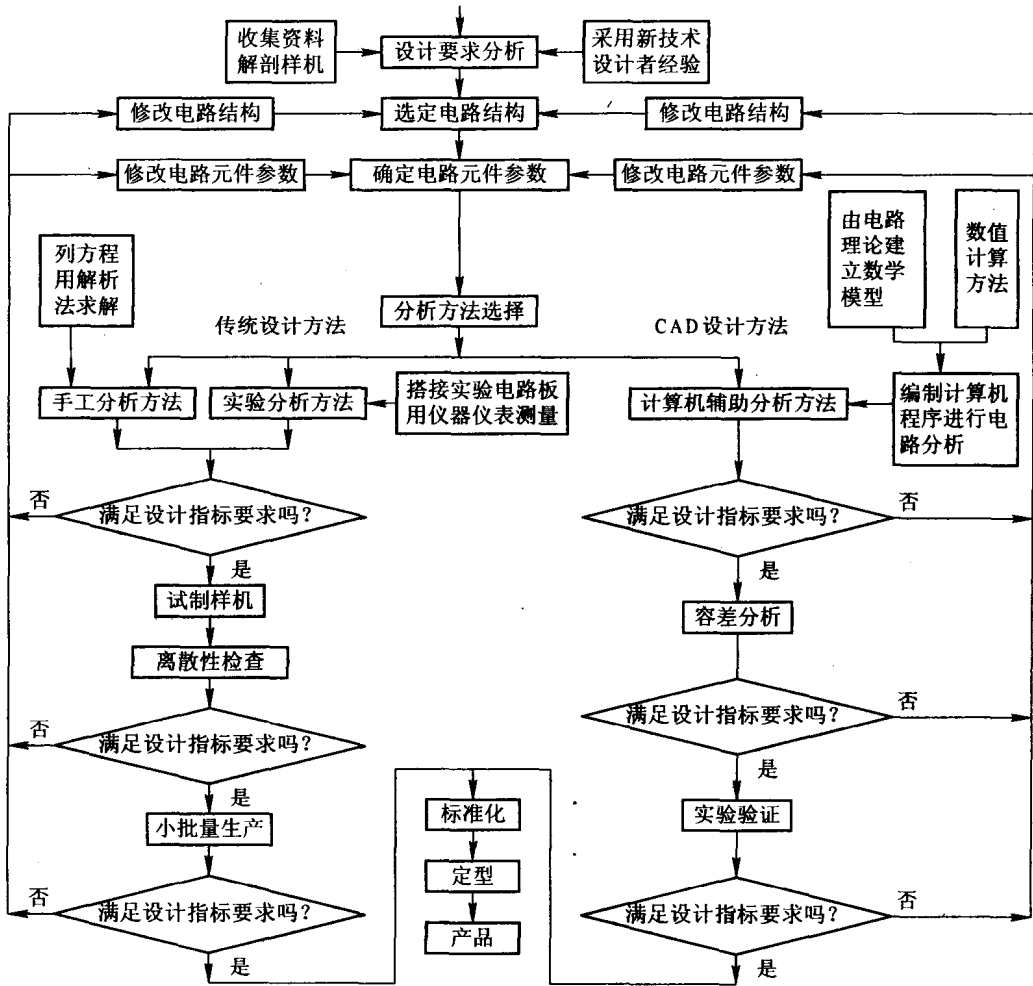


图 1.1 电路设计流程图

现代电路设计即电路 CAD 是以电子计算机为主要工具的。计算机的应用，改变了电路设计的方式。首先，由于计算机的计算能力强，有可能采用精确的模型，自动建立电路或系统方程，并用它分析、计算电路的性能指标，如不满足，还可自动修改参数，使所设计的电路达到最优化的目的。其次，可用电子计算机直接模拟电路的各种功能，用功能程序代替大量的仪器仪表，对电路进行各种分析、计算和模拟，而不需要任何实际元件。因此，

有人称计算机为“现代化实验室”。可见，电子计算机这一强有力的工具，使设计过程由搭接实验电路进行凑试为主的方式，改变为以计算机进行分析计算和最优化为主的设计方式。由于 CAD 把电子计算机的快速、高精度、存储容量大、严格的逻辑判断和优良的数据处理能力与人的创造性思维能力充分结合起来，因而，比传统的电路设计方法优越得多。具体体现在下述几方面：

- (1) 设计效率高，使设计周期大大缩短；
- (2) 设计质量和产品合格率大大提高；
- (3) 可节约原材料和仪器仪表等，从而降低了成本；
- (4) 可模拟各种极限情况，如超低频、大功率、高温、低温等；
- (5) 代替人的重复性劳动，节约人力资源。

目前，计算机应用于电子线路设计的许多阶段。例如，在方案设计阶段，计算机可用于对各种预选的电子线路方案进行分析与比较，选取最佳方案；在方案设计成功后，计算机可进行印刷线路板和集成电路板的布线设计；在试验阶段，计算机可完成对测量数据的处理和分析等。虽然利用计算机进行电子线路设计具有以上优点，但目前却不能进行电子线路的完全自动化设计。一般说来，这种设计过程还要依赖于人的智慧和劳动，依赖于对计算机的妥善使用。总之，在此过程中，设计者的思考和意图仍占主导地位，而计算机仅仅作为一种有效的设计工具。因此人们把上述过程称为计算机辅助电路设计（Computer Aided Circuit Design，简称 CACD）。

至此，我们可以对电子电路 CAD 作以简单的概述：电子电路 CAD 是设计电子电路的一种方法，该方法中，利用已设计好的各种电路分析程序在电子计算机上辅助设计人员完成电子电路的设计任务。

1.3 电路的计算机辅助分析及其程序的功能

1.3.1 电路 CAA 的过程

从图 1.1 中可以看出，电路 CAD 的过程中包含了大量电路的计算机辅助分析，即电路 CAA，故电路 CAA 是电路 CAD 的基础，其过程如图 1.2 所示。

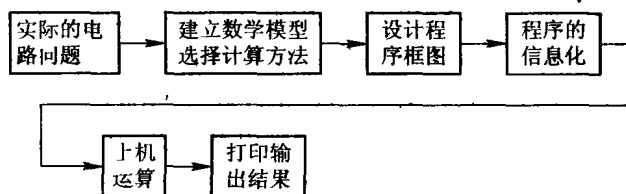


图 1.2 电路 CAA 的过程

1.3.2 电路 CAA 软件及其功能

PSPICE 软件是典型的电路 CAA 软件，是 MicroSim 公司于 20 世纪 80 年代中期推出的

基于 PC 机的通用电路模拟分析软件, 可以进行模拟分析、数字分析、模拟/数字混合分析、参数优化等, 应用面很广。

PSPICE 软件可模拟如下内容:

(1) 直流分析 (包括非线性电路的直流分析)

- ① 电路的直流工作点
- ② 直流小信号传输函数值
- ③ 直流转移曲线
- ④ 灵敏度分析

(2) 交流小信号分析

- ① 频域分析
- ② 噪声分析
- ③ 失真分析

(3) 瞬态分析

- ① 瞬态响应
- ② 大信号正弦模拟

(4) 电路的温度特性分析

(5) 统计分析和最坏情况分析

1.4 当今流行的电子电路 CAD 软件

OrCAD 公司的产品包括电路图输入软件包、逻辑模拟软件包、PCB 设计软件包、CPLD 设计软件包。很多 EDA (电子设计自动化) 工具用 OrCAD 的电路图输入程序作为设计输入。最近, OrCAD 同 MicroSim 公司合并, 使得其产品功能更强。

Tango 软件包是美国 Accel Technology 公司于 20 世纪 80 年代末推出的。它由电路原理图设计软件 Tango-Schematic 和印刷电路板设计软件 Tango-PCB 组成。由于 Tango 软件包简单实用, 对计算机软硬件的配置要求不高, 曾广泛流行。

Protel 软件包是 20 世纪 90 年代初由澳大利亚 Protel Technology 公司研制开发的电子电路 CAD 软件包, 是在 Tango 的基础上改进的电路 CAD 软件, 适用于一般中型电路的设计。Protel 公司在 1990 年推出基于 DOS 平台的终极版本, 即 Schematic3.31ND 和 Autotrax1.61 之后, 便全面转向 Windows 平台软件的开发。1998 年, 推出 Protel98, 它是第一个包含 5 个核心模块的真正 32 位 EDA 工具。全新一代 EDA 软件 Protel98 for Windows 95/NT 是将 Advanced SCH98(电路原理图设计)、PCB98(印刷电路板设计)、Route98(无网格布线器)、PLD98(可编程逻辑器件设计)、SIM98(电路图仿真/模拟)集成于一体的设计环境。1998 年后, Protel 公司再次引进强大技术——MicroCode Engineering 公司的仿真技术和 Incases Engineering GmbH 公司的信号完整性分析技术, 使得 Protel 的 EDA 软件步入了与 UNIX 上大型 EDA 软件相抗衡的局面。1999 年, Protel 公司正式推出了 Protel99——具有 PDM(独特的设计管理)功能的强大 EDA 综合设计环境。

PSPICE A/D 系列是最受大众欢迎的商用电路仿真软件。它是 1984 年美国 MicroSim 公

司依 SPICE2 标准发展起来的、可在 IBM 及其兼容机上运行的 SPICE 程序。历年来经过多次改版，以其强大的功能及高度的集成性而成为个人电脑上最受欢迎的电路仿真软件。1998 年 1 月 MicroSim 公司与 OrCAD 公司合并，仍称 OrCAD 公司。两公司强强合并后连续推出 OrCAD Release7、8、9 EDA 系统。OrCAD Release9 包括：原理图输入、器件信息管理系统 OrCAD Capture CIS™ 9.0；模拟/数字混合电路分析与设计 OrCAD PSPICE® A/D 9.0；印制板电路图设计 OrCAD Layout® Plus 9.0；可编程逻辑设计 OrCAD Express® Product 9.0。目前国内流行的版本为 PSPICE7.1 评估版，即 MicroSim Eval 7.1(窗口版 PSPICE)及 PSPICE5.0 (DOS 版)，本书将详述其功能和使用方法。

Electronics Workbench 软件以 PSPICE 为内核，是 Interactive Image Technologies 公司 1989 年推出的电路仿真软件，最新版本为 5.0，界面友好，功能强大，简单易学。它具有更多的组件并可以扩充，提供大量的样本电路，能够暂存测试结果和各种波形。该软件可以对模拟电路与数字电路进行仿真，被称为虚拟实验室。

第 2 章

基于高级语言输入方式的电路分析程序

本章将介绍几个用 BASIC 语言编写的教学用电路分析程序，包括直流分析程序、瞬态分析程序、交流分析程序及傅里叶分析程序。这些程序覆盖了电路分析课程中的直流电路、动态电路及交流电路中的计算和分析。由于可以直接接触到源程序语言，因此使读者对程序设计的原理可以有一个直观的了解，并可对程序进行修改练习。

2.1 直流分析程序 DCAP 的使用

2.1.1 直流分析程序 DCAP 的部分源程序

直流分析的完整源程序见 2.1.5 节，下面是配合讲解所列的部分源程序。

程序 2.1 直流分析程序 DCAP 的部分源程序：

```
10 REM 'DCAP'  
15 DIGITS 6,4  
:  
50 READ M, N, M2  
:  
1579 READ I, J, K, L, V  
:  
1785 RETURN  
:  
6660 RETURN
```

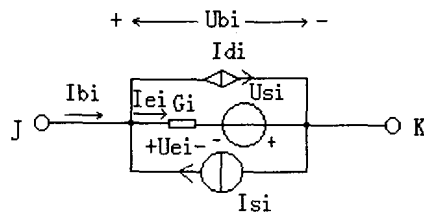


图 2.1 第 i 条标准支路

2.1.2 DCAP 程序使用方法

1. 标准支路

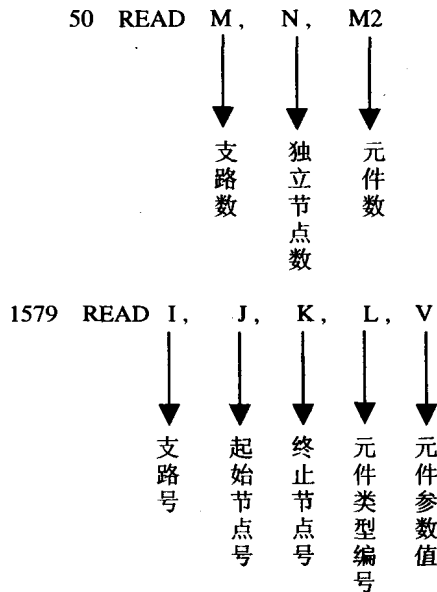
使用 DCAP 程序首先要定义标准支路，标准支路如图 2.1 所示。注意标准支路中各变量的参考方向的规定。

2. 读数语句和置数语句

用 DCAP 程序对电路进行计算，要对电路的拓扑结构、元件的参数等进行描述，它是通过 BASICA 语言的读数语句(READ)和置数语句 (DATA) 的配合来完成的。

1) 读数语句

读数语句见 2.1.1 节中的程序 2.1。读数语句中各变量的含义如下所示：



其中 L 为元件类型编号的数值，其统一编号如表 2.1 所示。

表 2.1 元件类型统一编号

类型号	0	1	2	3	4	5	6	7	10
意义	G 电导	R 电阻	C 电容	L 电感	Us 电压源	Is 电流源	CCCS	VCCS	M 互感

2) 置数语句

置数语句 DATA 用于通过键盘输入具体数据，为读数语句中的变量赋值。

2.1.3 实例一 用 DCAP 程序求解直流电路的各支路电流及节点电压

本实例讲解如何通过置数语句 DATA 输入数据，如何运行 DCAP 程序获得输出结果。实例电路图如图 2.2 所示。

在着手分析一个电路时，可以按如下步骤进行电路分析的准备工作：

- (1) 参照标准支路的形式，适当地划分支路并对每个支路进行编号。
- (2) 选定电流的参考方向。由于采用关联的参考方向，电压的参考方向亦随之而定。
- (3) 确定节点数并对每个节点编号，参考节点编以“0”号。

做了这些工作后，支路数 M、独立节点数 N 和元件数 M2 这一组数据就可以确定下来。

(4) 确定每个元件的 I、J、K、L、V 的数值。前 3 个变量 I、J、K 确定了元件在电路中的几何连接关系。按照标准支路的规定，独立电压源不应没有电阻与之串联，独立电流源和受控电流源不应没有电阻与之并联，其支路电流方向已由电阻元件的(J、K)决定了。所以对于独立电源，其(J、K)可以方便地赋以(0, 0)。而对于受控源，J 赋以控制支路号，K 赋以其所在的支路号，从而也不至于与其它无源元件的始、末节点混淆起来。

下面对本实例进行具体分析。

1. 步骤一：画拓扑图

拓扑图即表示连接关系的线图 G。根据标准支路的规则确定各个支路，图 2.2 电路图的拓扑图如图 2.3 所示。其中支路 1 由电流源 IS 和电阻 R1 构成，支路 8 由电阻 R8 和电压控制电流源 G1 构成，支路 4 由电阻 R4 和电压源 VS 构成，其余支路均由各个电阻构成。

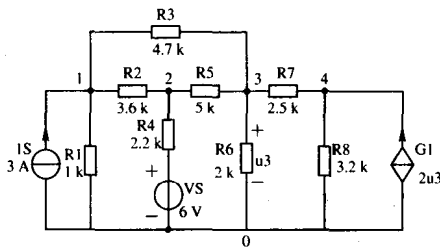


图 2.2 电路图

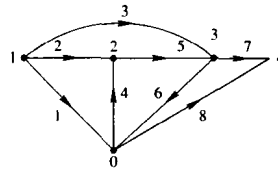


图 2.3 拓扑图

2. 步骤二：编辑 DATA 数据输入语句

由图 2.2 及图 2.3 可知，本实例电路中有 8 条支路，4 个独立节点，11 个元件。给 READ M,N,M2 语句赋值的 DATA 语句为

```
8000 DATA 8,4,11
```

以支路 1 为例，给 READ I,J,K,L,V 语句赋值的 DATA 语句为

```
8010 DATA 1,1,0,1,1000,1,0,0,5,3
```

上述确定的 M、N、M2 以及各组 I、J、K、L、V 可以用从 8000 号语句开始的 DATA 语句输入计算机。完整的 DATA 语句如下所示：

输入语句

```
8000 DATA 8,4,11
```

```
8010 DATA 1,1,0,1,1000,1,0,0,5,3
```

```
8020 DATA 2,1,2,1,3600,3,1,3,1,4700
```

```
8030 DATA 4,0,2,1,2200,4,0,0,4,6
```

```
8040 DATA 5,2,3,1,5000,6,3,0,1,2000
```

```
8050 DATA 7,3,4,1,2500,8,0,4,1,3200
```

```
8060 DATA 0,6,8,7,2
```

```
8070 DATA 0,0,0
```

3. 步骤三：运行 DCAP 程序

在 BASICA 环境下，按功能键 F2 或直接键入 RUN,即开始执行 DCAP 程序。

4. 步骤四：观察输出结果

DCAP 程序执行完毕后即在屏幕上显示输出结果，所得输出数据如下所示：
输出结果

节点电压	支路数值	支路电压	支路电流	支路功率
2131.488	1	2131.488	-.8685117	-1851.222
637.873	2	1493.615	.4148932	619.6908
-.5180289	3	2132.006	.4536184	967.1172
-1454.407	4	-637.873	-.287215	183.2067
	5	638.391	.1276782	81.5086
	6	-.5180289	-2.590144E-04	1.34177E-04
	7	1453.889	.5815556	845.5171
	8	1454.407	-.5815556	-845.8184

支数值路	支路电压	支路电流	支路功率
1	2131.488	2.131488	4543.242
2	1493.615	.4148932	619.6908
3	2132.006	.4536184	967.1172
4	-631.873	-.287215	181.4834
5	638.391	.1276782	81.5086
6	-.5180289	-2.590144E-04	1.34177E-04
7	1453.889	.5815556	845.5171
8	1454.407	.4545022	661.0311

从以上输出数据可知，节点 1、2、3、4 的节点电压分别为 2131.488 V、637.873 V、-0.5180289 V、-1454.407 V。注意：输出变量的单位为国际单位制 SI 中的 V(伏特), A(安培), W(瓦特), S(西门子), Ω (欧姆), F(法拉), H(亨利)。受控源的支路号用 0 表示，例如 8060 语句。为使程序结束，在输入语句的后面应再加一组 (M, N, M2) = (0, 0, 0)，如标号为 8070 的输入语句。这样在程序执行到语句 55 时，便转到 330，使运行结束(见程序 2.2)。

2.1.4 上机操作

假设 MS-BASIC 及 DCAP 程序均在 C:\CAA 子目录下，在 CAA 子目录下利用键盘键入下面的命令：

C:\CAA\BASICA

回车后即进入 BASICA 全屏幕编辑状态，如图 2.4 所示。界面底部列出了各功能键及其意义。例如，1LIST 代表功能键 F1，其作用是列出当前源程序清单；2RUN 代表功能键 F2，其作用是运行当前源程序；3LOAD 代表功能键 F3，其作用是调入指定源程序；4SAVE 代表功能键 F4，其作用是存储当前源程序等等。以上功能键的作用也可通过直接键入命令来实现。