

高等学校教材

计算机辅助电路分析

付志红 主编



高等教育出版社

高等学校教材

计算机辅助电路分析

付志红 主编

高等教育出版社

内容提要

《计算机辅助电路分析》是2003年公布的“高等教育百门精品教材建设计划”精品项目“电路原理立体化教材建设”的成果之一。

全书共分7章,阐述了电路分析的基本理论、数值计算方法、电路分析软件的应用3个方面的内容,包括:计算机辅助电路分析的基本问题、器件模型的概念、电路分析的先进技术和发展趋势;电路方程的建立理论、非线性电路分析基础;线性代数方程组、非线性代数方程组、一阶常微分方程、数值积分的数值求解算法;MATLAB(含Simulink)、Multisim软件在电路分析中的应用(直流电阻电路、动态电路、正弦交流电路分析和虚拟实验技术)。本书兼顾了电路分析的基本理论和求解算法、电路建模和仿真的概念、专业电路分析软件的使用几个方面的内容。全书例题丰富,配套的MATLAB程序和Multisim模型文件可以在重庆大学“电路原理”国家精品课程网站下载(<http://202.202.216.41:8080/new/index.php>)。

本书适于用作电类专业本科生教材,也可供从事电路设计的研究生、科研人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

计算机辅助电路分析/付志红主编. —北京:高等教育出版社,2007.1

ISBN 978-7-04-020465-0

I. 计… II. 付… III. 计算机辅助电路分析-高等学校-教学参考资料 IV. TN702

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第002425号

策划编辑 杜 炜 责任编辑 孙 薇 封面设计 张 志 责任绘图 吴文信
版式设计 王艳红 责任校对 姜国萍 责任印制 尤 静

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100011
总 机 010-58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 北京铭成印刷有限公司

购书热线 010-58581118
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

开 本 787×960 1/16
印 张 13.75
字 数 250 000

版 次 2007年1月第1版
印 次 2007年1月第1次印刷
定 价 17.60元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 20465-00

前 言

随着现代电子技术的发展,电路的规模越来越庞大,系统越来越复杂。其中,大规模集成电路的发展尤为迅速,计算机辅助电路分析(Computer Aided Analysis of Circuits,简称CAAC)得到重视和发展,已成为电路分析和设计有效并广泛使用的辅助工具,并促进了现代电路理论、电路方程的数值计算方法、电路分析软件的发展。如今,电子设计自动化(Electronic Design Automation,简称EDA)已成为一个新兴的产业,并融入电子电路设计的各个阶段。计算机辅助电路分析课程涉及现代电路分析方法和电路分析的计算机应用,是经典的电路原理课程的拓展,得到了电类专业的重视,涉及的相关理论和应用是电类专业本科生、研究生应该掌握的知识。我们对计算机辅助电路分析独立设课多年,多次修改自编讲义,融入了多年的教学经验,在此基础上编写了本书。本书不仅适合于电类专业本科生教学使用,也可作为研究生、电子设计工程师的设计参考书。

全书共分7章,阐述了电路分析方法、数值计算、电路分析软件的应用3个方面的内容。第1章介绍了计算机辅助电路分析的基本概念、发展概况、发展趋势,介绍了先进的电路仿真分析方法和工具;第2章介绍了电路方程的矩阵形式,着重介绍了矩阵形式的节点分析法、改进的节点分析法;第3章介绍了电路方程的数值求解算法;第4章、第5章介绍了MATLAB在电路分析中的应用,分成MATLAB语言编程和Simulink仿真两种方法介绍;第6章、第7章介绍Multisim的基础知识和在电路分析中的应用。本书选择MATLAB、Multisim作为电路分析的软件工具。MATLAB是当前最为流行的数值计算软件,是学生和研究人员应当掌握的数学工具。通过MATLAB编程,学生可以学习电路的分析方法和数值计算方法,MATLAB强大的计算能力和分析工具还可以解决Multisim等专业电路分析设计软件所不能解决的特殊问题。Multisim是当前流行的电路分析设计软件,不但适合初涉电路课程的学生使用,还有助于电气工程师从容应对复杂电路的设计。全书例题丰富,配套的MATLAB程序和Multisim电路模型文件,可以在重庆大学“电路原理”国家精品课程网站下载(<http://202.202.216.41:8080/new/index.php>)。

本书第1、2、4、7章由付志红执笔,第5、6章由肖冬萍执笔,第3章由谢品芳和肖冬萍执笔。此外,付志红负责起草全书编写大纲、统稿、修改定稿,肖冬萍负责全书索引的编写工作。

本书作为 2003 年高等教育出版社“高等教育百门精品教材建设计划”精品项目“电路原理立体化教材建设”的一个组成部分,得到了高等教育出版社的大力支持,在此表示衷心的感谢。本书的编写参考了江泽佳教授主编的《电路原理》第二版、周守昌教授主编的《电路原理》第 2 版。周守昌教授对于本书的编写还给予了热情的关心和悉心的指导,对本书的大纲、编写进度进行了总体把关,还认真审阅了全稿,提出了很多宝贵意见。在此向周老师和江老师表示诚挚的感谢。

本书送审稿承蒙北京邮电大学吕玉琴教授仔细审阅,提出了许多宝贵意见。本书得到了重庆大学教材建设基金资助,还得到了李新教授的关心和帮助,以及重庆大学电气工程学院电路原理课程组的大力支持。在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中肯定存在不足或错误,恳请广大读者批评赐教。

编 者
2006 年 9 月

目 录

第 1 章 概 论	1
§ 1.1 计算机辅助电路分析的基本问题	1
§ 1.2 器件模型	3
§ 1.3 计算机辅助电路分析软件的发展	8
§ 1.4 新型电路分析手段	9
1.4.1 分布式计算技术	9
1.4.2 计算智能	10
1.4.3 实时仿真技术	11
第 2 章 电路方程的形成	14
§ 2.1 节点分析法	15
§ 2.2 矩阵形式的节点分析法	18
2.2.1 节点方程的矩阵形式	18
2.2.2 含受控源网络的节点方程的矩阵形式	21
2.2.3 含有耦合电感元件的节点方程的矩阵形式	28
§ 2.3 改进的节点分析法	34
§ 2.4 非线性电路分析	47
2.4.1 非线性元件	48
2.4.2 非线性器件模型	49
2.4.3 非线性电路方程的建立	50
习题	53
第 3 章 电路方程的数值计算方法	56
§ 3.1 线性方程组的求解	56
3.1.1 线性方程组的直接解法	56
3.1.2 线性方程组的迭代解法	67
§ 3.2 非线性代数方程的数值求解	71
3.2.1 区间二分法	71
3.2.2 牛顿-拉弗森迭代法	73
§ 3.3 一阶常微分方程的数值求解	78
3.3.1 前向欧拉法	78

3.3.2 后向欧拉法	82
3.3.3 梯形法及其预估-校正法	84
3.3.4 龙格-库塔法	87
§ 3.4 数值积分	92
3.4.1 数值积分的定义及代数精度	92
3.4.2 牛顿-柯特斯求积公式	92
3.4.3 复化求积公式	94
习题	97
第 4 章 MATLAB 在电路分析中的应用	99
§ 4.1 动态电路分析	100
4.1.1 输入-输出方程法	101
4.1.2 一阶电路三要素分析法	105
4.1.3 状态变量分析法	107
§ 4.2 正弦交流电路的分析	111
4.2.1 相量分析法	111
4.2.2 元件参数求解方法	119
§ 4.3 电路的复频域分析	122
4.3.1 部分分式展开	122
4.3.2 直接的拉普拉斯变换法	125
习题	127
第 5 章 基于 Simulink 的电路仿真	130
§ 5.1 Simulink 基础	130
5.1.1 Simulink 建模与仿真环境	130
5.1.2 Simulink 基本操作	131
§ 5.2 SimPowerSystems 模型集	136
§ 5.3 基于 Simulink 的电路仿真	139
5.3.1 直流电路仿真	139
5.3.2 动态电路仿真	141
5.3.3 正弦稳态电路仿真	146
习题	149
第 6 章 Multisim 基础	151
§ 6.1 Multisim 8 用户界面	152
6.1.1 菜单	152
6.1.2 工具栏	157
6.1.3 设计工具箱	159

6.1.4 电子数据表	159
§ 6.2 Multisim 元件库	160
6.2.1 元件浏览器	160
6.2.2 电源库	161
6.2.3 基本元件库	164
6.2.4 指示元件库	166
§ 6.3 Multisim 仪器仪表库	167
6.3.1 数字万用表	167
6.3.2 函数信号发生器	168
6.3.3 瓦特表	168
6.3.4 示波器	169
§ 6.4 电路图绘制	171
第 7 章 基于 Multisim 的电路分析	174
§ 7.1 直流电阻电路的分析	177
§ 7.2 动态电路分析	181
§ 7.3 交流电路分析	188
§ 7.4 虚拟实验	191
习题	199
索引	202
参考文献	209

第1章

概 论

电路分析方法是将实际电路抽象为电路模型,用电路理论基本原理对电路模型进行分析计算,得出电路工作时的电压、电流和功率等结果。电气工程师根据结果分析电路设计是否合理,分析电路的故障,分析电路的稳定性和可靠性,改进电路等。在计算机出现以前,电气工程师根据电路理论和经验对电路作近似分析,再将电路搭成线路板进行测试。如果未能达到性能要求,再修改电路,重新测试……这样反复进行直到满足要求。这种情况下,电路分析是用人工完成的,从建立电路方程,到计算分析结果,工作量是非常大的。在现代,电子元器件、集成电路飞速发展,电子产品越来越复杂,许多电路的电子元器件成千上万,节点数量巨大,如果还靠人工分析是绝对不可能的。例如,小规模集成电路的节点数约为几百个,大规模集成电路的节点数上千个,超大规模集成电路的节点数可高达数亿个,节点数目之庞大可想而知。

由于计算机软、硬件技术的飞速发展,计算机在人们工作和学习中的应用已经非常普遍,电路分析软件已成为电路分析和设计有效的、广泛使用的辅助工具。计算机辅助电路分析(Computer Aided Analysis of Circuits,简称 CAAC)涉及电路的分析方法、计算机算法和编程思想,以及电路分析软件的使用,是电类专业本科生、研究生应该掌握的一项技能。

§ 1.1 计算机辅助电路分析的基本问题

电路的分析可归纳为表 1-1-1 所示的几个方面:

利用计算机,可对所设计的电路进行详尽分析,包括直流、交流电路分析,电路的瞬态分析、稳态分析,电路的时域和频域分析,电路的噪声与失真分析,灵敏度分析,温度扫描分析,极零点分析,传输函数分析,最坏情况分析,蒙特卡罗分析等,这些分析有助于电路的优化设计、故障诊断和电路可靠性分析,是电路设计的基础。

表 1-1-1 电路分析的基本问题

电路类型	要分析的问题
线性电阻电路和 线性动态电路	① 直流分析 ② 交流分析 ③ 瞬态分析 ④ 噪声分析 ⑤ 容差分析
非线性电阻电路	① 直流工作点分析 ② 驱动点特性分析 ③ 传输特性分析
非线性动态电路	① 初始条件、偏置或平衡点分析 ② 瞬态分析 ③ 稳态分析 ④ 非线性失真分析

电路的分析与设计又可分为模拟电路和数字电路两部分,模拟电路设计和数字电路设计存在很大区别。数字电路可抽象为逻辑门、触发器、寄存器、加法器、减法等逻辑单元,其易于抽象化、规则化的特点使得数字电路自动化设计技术比较成熟,而模拟电路则要复杂得多:

① 影响模拟电路性能的因素多。例如,器件参数的离散性、工作频率、工艺条件、工作环境、输入信号变化、电磁干扰、负载变化、噪声等。

② 模拟电路结构变化多。模拟电路的分析与设计是数字/模拟混合电路设计的难点。

一般来讲,不论是线性电路还是非线性电路,是稳态分析还是瞬态分析,采用计算机分析的步骤大体如下:

- ① 输入电路图和元器件参数。
- ② 识别图形,将实际的电路器件模型化。
- ③ 形成矩阵形式的电路方程。
- ④ 求电路方程数值解。
- ⑤ 输出结果(数值解或波形)。
- ⑥ 对数据进行的分析和处理。

其中,①步骤由手工完成,②、③、④、⑤步骤由计算机完成。流程框图如图 1-1-1 所示。

电路分析的首要问题是电路的模型化。将实际电路器件抽象为基本电路元件或元件的组合,便于应用电路理论建立电路方程,而模型的精确程度、复杂程度将影响到分析的精度和计算速度。一般来讲,非线性电路建模要困难得多。

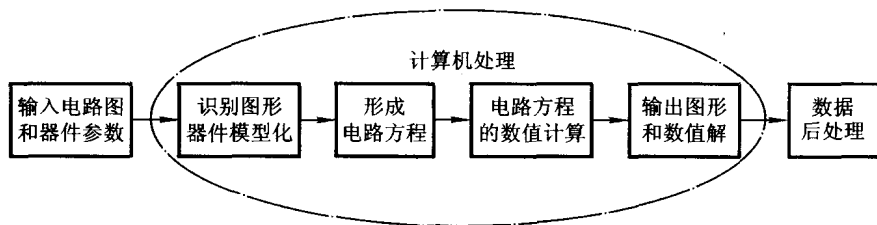


图 1-1-1 计算机分析电路流程图

例如,电力电子电路中大量采用了二极管、电子开关等非线性器件,而且涉及电路的多种控制方式,不仅需要进行直流稳态分析、动态小信号分析,还需要进行纹波分析、大信号分析和稳定性分析,先后出现了平均法、状态空间平均法、等效电源法等建模方法。1978年,R. Keller首次运用状态空间平均理论进行开关电源的Spice仿真。近30年来,经过许多学者的努力,形成了各种开关电源的平均Spice模型。例如,Dr. SamBen Yaakov的开关电感模型,Dr. Vatche Vorperian基于OrCAD9.1的开关电源平均PSpice模型,Steven Sandler基于ICAP4的开关电源平均IsSpice模型,Dr. Vincent G. Bello基于Cadence的开关电源平均模型等。电路的建模理论比较复杂,也不属于本书讨论范畴。

电路方程的建立方法也是多种多样的,每种分析方法都有相应的应用条件,建立的方程规模差异也很大,不同的分析软件采用的分析方法也不同。由于现代电路方程规模较大,要得到解析解是不可能的,因此,普遍采用的是数值算法。电路方程的建立和数值算法是电路分析中的两个重要问题。

§ 1.2 器件模型

一般来讲,现代电路分析软件都具有丰富的元器件模型库,集成了国际上著名器件生产厂的成千上万个器件模型,给电路分析带来了极大的方便,但不管元器件模型库多么丰富,新器件总是在不断出现,制造工艺的不同、器件参数的离散性也会影响器件性能。电路分析软件如何适应这些变化呢?事实上,任何实际电路器件,根据其中所发生的物理过程,往往可以用理想电路元件的组合来等效地表示,这种方法称为实际电路器件的模型化。同一实际电路器件,在不同的条件下(例如激励信号频率的不同),可以用不同的理想电路元件的组合来等效表示,虽然这种等效表示带有某种近似性质,但只要模型建立适当,是可以达到分析要求的精度的。下面列出一些常用实际器件的等效模型。

1. 线性电阻器

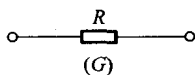


图 1-2-1 电阻元件

图 1-2-1 所示是电阻元件的等效模型。

2. 线性电容器

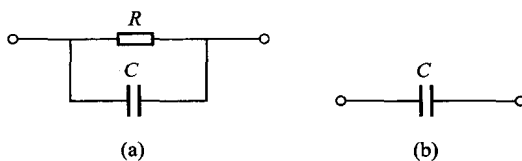


图 1-2-2 电容器模型

图 1-2-2(a) 考虑了电容器的介质损耗。

3. 线性电感线圈

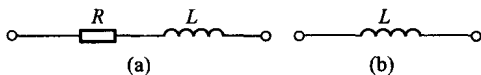


图 1-2-3 电感线圈模型

图 1-2-3(a) 考虑了电感线圈电阻。

4. 独立源

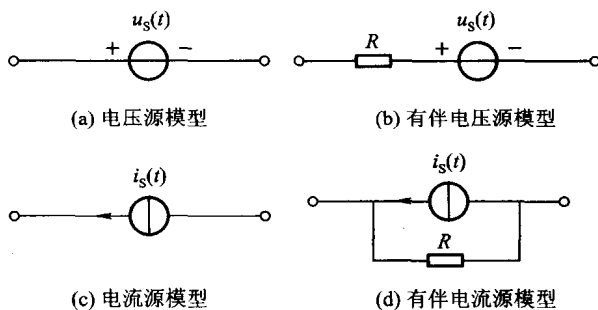


图 1-2-4 独立电源模型

图 1-2-4 所示是各种独立电源的等效模型。

5. 晶体管

晶体管分 PNP 型和 NPN 型两类, 图 1-2-5 中(a)是 PNP 型晶体管器件的

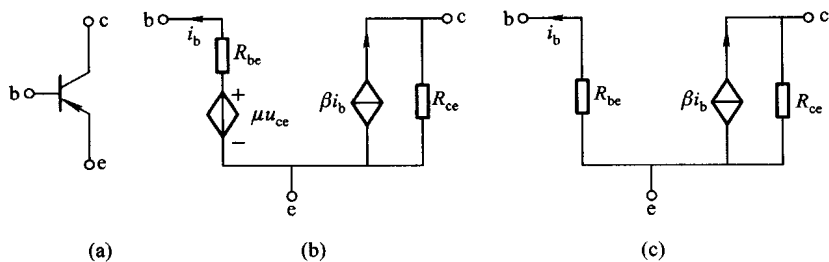


图 1-2-5 晶体管的小信号模型

符号, (b)、(c) 是它对应的小信号模型, (c) 为简化模型。NPN 型晶体管的小信号模型与此类似。

6. NMOS 场效应晶体管

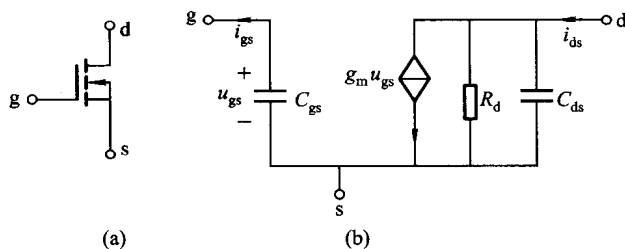


图 1-2-6 NMOS 场效应晶体管的小信号模型

图 1-2-6 所示是 NMOS 场效应晶体管的小信号模型。

7. 变压器

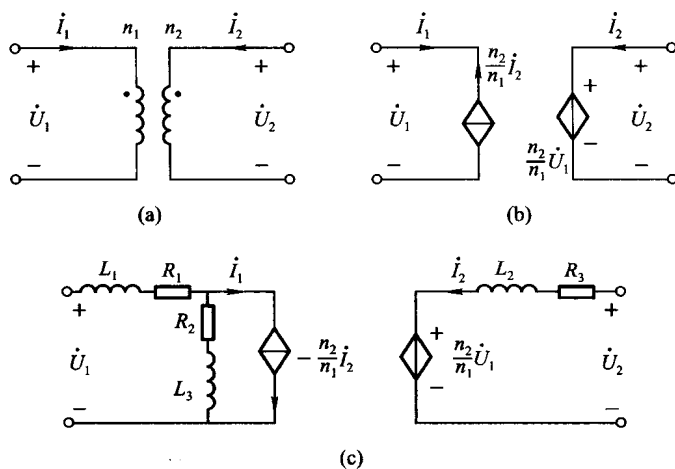


图 1-2-7 变压器的符号及模型

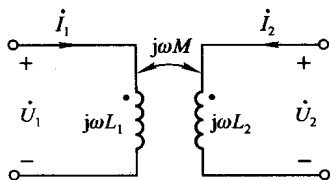
图 1-2-7 中, (b) 为理想变压器电路模型, (c) 为实际变压器电路模型, 考虑了漏感、铁损、铜损等影响。

8. 线性二端口耦合电感元件

图 1-2-8 为二端口耦合电感元件相量模型, 端口电压、电流关系为

$$\dot{U}_1 = j\omega L_1 \dot{I}_1 + j\omega M \dot{I}_2 \quad (1-2-1a)$$

$$\dot{U}_2 = j\omega M \dot{I}_1 + j\omega L_2 \dot{I}_2 \quad (1-2-1b)$$



根据式(1-2-1), 可对含耦合电感元件的电路进行正弦交流分析。如果对上式进行适当变换, 耦合电感元件又可用含受控源的模型表示。

在式(1-2-1)中, $\dot{I}_1$ 、 $\dot{I}_2$ 可用 $\dot{U}_1$ 、 $\dot{U}_2$ 表达, 并令 $L'_1 = L_1(1-k^2)$, $L'_2 = L_2(1-k^2)$, $k = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}}$, k 称为耦合系数, 则式(1-2-1)可化为

$$\dot{I}_1 = \frac{1}{j\omega L'_1} \dot{U}_1 - \frac{M}{L_1} \cdot \frac{1}{j\omega L'_2} \dot{U}_2 = \dot{I}'_1 + \beta_1 \dot{I}'_2 \quad (1-2-2a)$$

$$\dot{I}_2 = -\frac{M}{L_2} \cdot \frac{1}{j\omega L'_1} \dot{U}_1 + \frac{1}{j\omega L'_2} \dot{U}_2 = \beta_2 \dot{I}'_1 + \dot{I}'_2 \quad (1-2-2b)$$

其中, $\beta_1 = -\frac{M}{L_1}$, $\beta_2 = -\frac{M}{L_2}$, 则耦合电感元件可用如图 1-2-9 所示的电路模型来表示。

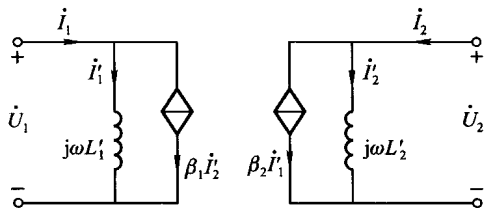


图 1-2-9 二端口耦合电感元件电路模型

对应于器件的不同型号, 由于生产工艺、技术指标的不同, 建立的模型也可不同。在电路分析软件中, 一般按器件型号、生产厂家建模。

对于 NMOS 场效应晶体管, 参照图 1-2-6, 建立考虑漏极、源极电阻和极间电荷存储效应后的电路模型如图 1-2-10 所示。

图 1-2-10 中, R_d 、 R_s 分别是漏极和源极电阻, C_{gs} 、 C_{bs} 、 C_{bd} 、 C_{gd} 分别是反映

器件的极间电荷存储效应的等效电容。

电路器件很多,但都可用下面基本的电路元件及其组合表示:电阻 R 、电感 L 、电容 C 、电压源 U_s 、电流源 I_s 、电流控电流源 (Current Controlled Current Source, 简称 CCCS)、电压控电流源 (Voltage Controlled Current Source, 简称 VCCS)、电流控电压源 (Current Controlled Voltage Source, 简称 CCVS)、电压控电压源 (Voltage Controlled Voltage Source, 简称 VCVS)、耦合电感。因此,在进行电路分析时,需将电路器件按上述基本元件模型化,分析时就只需考虑上述理想电路元件了。

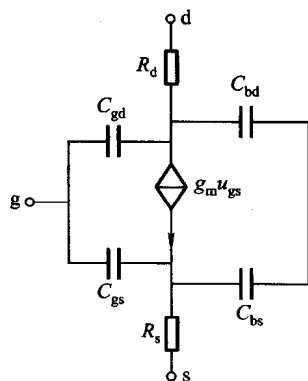


图 1-2-10 NMOS 场效应晶体管模型

例如, Flyback 变换器是一种非线性电路, 实际电路如图 1-2-11 所示, 其平均小信号交流模型如图 1-2-12 所示, 可见其平均小信号交流模型也是用理想的电路元件表示的。

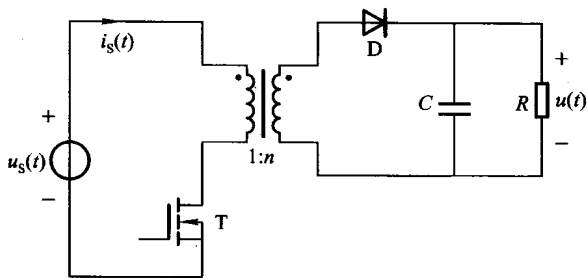


图 1-2-11 Flyback 变换器电路

图 1-2-12 中, R_{on} 为 T 的导通电阻, D 为 T 的导通时间与栅极控制信号周期之比, 各大写字母表示的变量为静态工作点参数, 各小写字母表示的变量为交流小信号。

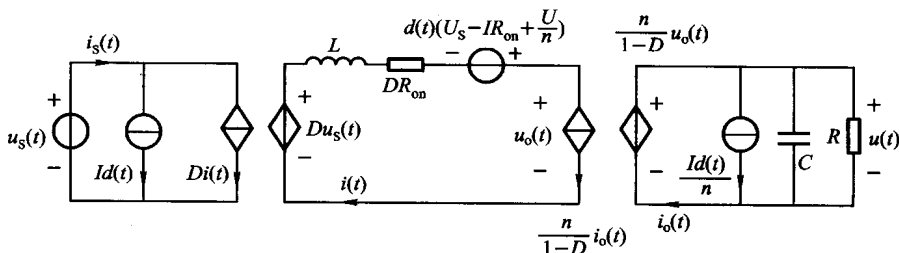


图 1-2-12 Flyback 变换器的平均小信号交流模型

§ 1.3 计算机辅助电路分析软件的发展

计算机辅助电路分析软件的发展基本上可以分为4个阶段。

1962年,IBM公司发布了TAP电路分析软件。之后,出现了NET、ECAP、CONNAP等。

20世纪70年代,由于在非线性方程、微分方程和稀疏矩阵求解方面取得了突破,出现了ASTAP、AOP、Spice等第二代电路分析软件,但求解线性代数方程采用的是直接求解法,复杂度较高。其中著名的Spice于1975年诞生,后来,采用改进节点法形成了Spice2,成为至今仍被广泛使用的电路分析软件。

20世纪70年代后期,求解线性方程组的松弛迭代算法得以发展,电路分析的求解速度比以前提高了一到两个数量级。例如,Tango、Protel for DOS等,加州理工学院以状态空间平均法为基础研发了SCAP电力电子电路分析软件,也得到广泛应用。

在现代,电路分析软件功能越来越强大,向着模拟电路、数字电路和混合信号系统仿真,多种仿真软件协同仿真,实时仿真,以及优化设计、PCB绘制、EDA设计集成的大型软件包的方向发展。例如,OrCAD、Protel DXP、Multisim、Saber、Tina Pro等,实现了图形化电路录入、层次化的管理、图形或数值化输出、线路板绘制等功能,这就是电路设计的自动化(Circuit Design Automation,简称CDA),其特点表现为:

① 功能更为完善,是集电路分析、设计、印制电路板(PCB)布线的集成化环境,提供团队设计功能。

② 丰富的元器件模型库,集成了国际上著名器件生产厂的成千上万个器件模型,模型的建立、模型库的扩充更为方便,给电路分析带来了极大的便利。

③ 强大的分析功能和后处理能力。

④ 多种分析软件提供通用电路输出接口,便于相互间调用。

⑤ 有的软件提供虚拟仪器仪表库,便于开展虚拟实验。

⑥ 提供了VHDL/Verilog设计与仿真接口、FPGA/CPLD综合功能,具有模拟电路与数字电路的混合仿真分析能力,可实现电路设计的自动化。

讨论电路的计算机辅助分析,有必要提及电子设计的自动化(Electronic Design Automation,简称EDA)。EDA技术将计算机技术应用于数字电路系统设计,始于20世纪60年代末至70年代初,到现在已有三代产品:

① 计算机辅助设计(Computer Aided Design,简称CAD)。出现于20世纪70年代,可用计算机编辑电路原理图,实现PCB布局布线,这极大地促进了中小

规模集成电路的开发和应用,例如 Protel。

② 计算机辅助工程(Computer Aided Engineering,简称 CAE)。出现于 20 世纪 80 年代,以计算机仿真和自动布线为核心技术,实现原理图输入、逻辑仿真、电路分析、自动布局布线、PCB 后分析。

③ 电子系统设计自动化(Electronic System Design Automation,简称 ESDA)。出现于 20 世纪 90 年代,采用一种“自顶向下”的设计方法,从系统设计入手,在顶层进行功能框图的划分和结构设计,在框图一级进行仿真、纠错;采用 VHDL、Verilog-HDL 等硬件描述语言,描述高层次的系统行为;通过编译器形成标准的 VHDL 文件,在系统一级进行验证;用综合优化工具生成具体门电路的网络表;最后的物理实现级可以是 FPGA、CPLD 或 ASIC。ESDA 有利于在设计早期发现结构设计中的错误,极大地提高了系统设计效率,缩短了产品的研发周期。目前流行的 EDA 工具有 Altera 的 MAX + plus II、Lattice 的 ispEXPERT 和 Xilinx 的 Foundation Series。

随着电子技术、计算机技术的飞速发展,EDA 技术已成为电子学领域研究和应用的热点,并形成一个独立的产业。

§ 1.4 新型电路分析手段

目前,电路分析主要以软件仿真分析为主,大量采用的在线仿真还处于实时仿真的低级形式,难以适应大型系统和强实时性要求的场合,先进的实时仿真系统由于其不菲的价格,其应用还局限于航空、航天、军事、雷达等特殊领域。分布式计算、智能计算是近代出现的新型计算技术,具有高速的并行计算能力,分布式计算具有资源共享的特性,智能计算则具有自学习、自适应等特性。量子计算机、光子计算机、生物计算机是近代科学家提出的计算机新概念,其计算能力将远远超过现代电子计算机,新型计算机的应用将是计算机领域的一次大革命。由于新型计算机、新型计算技术、系统仿真实理论的发展,电路分析和仿真必将呈现新的特性,在运算能力、资源共享、高速实时性等方面必将取得重大突破。

1.4.1 分布式计算技术

分布式计算是近年提出的一种新的计算技术,它将一些需要大型计算的问题分解成许多部分,并分配给网络上的多个计算机并行处理,计算机间共享信息,最后把这些计算结果综合起来得到最终结果。分布式计算的实质就是利用网络把成千上万台计算机连接起来,组成一台虚拟的超级计算机,完成单台计算机无法完成的超大规模的问题求解。