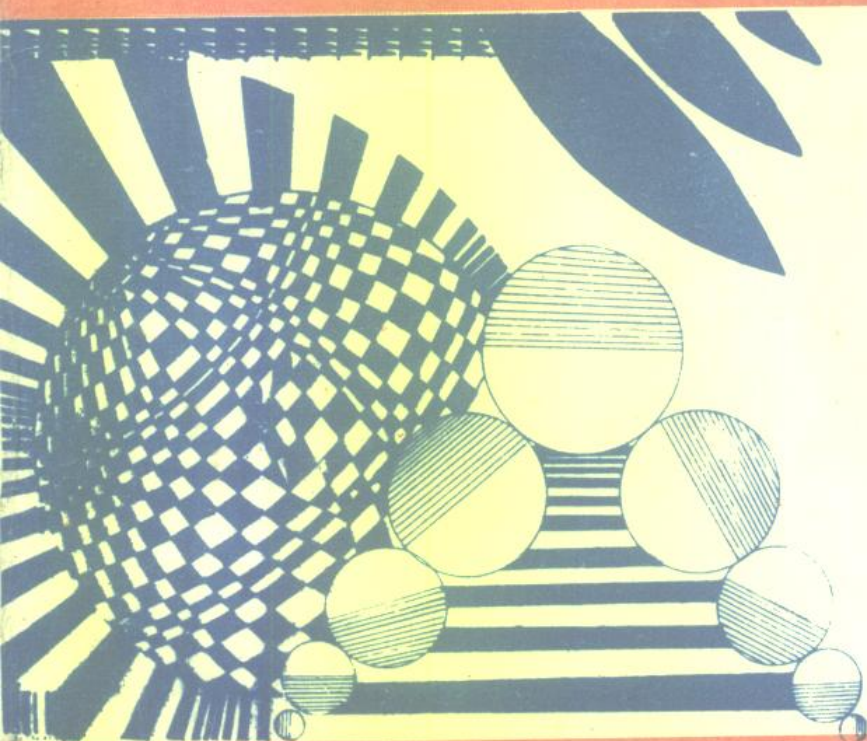


高等学校教材

电子系统计算机辅助设计

史浩山 主编



西北工业大学出版社

11N402

458888

S50

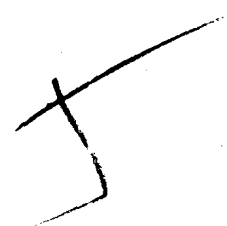
高等学校教材

电子系统计算机辅助设计

史浩山 廉保旺 编著

西北工业大学出版社

1995年12月 西安



(陕)新登字 009 号

【内容简介】本书着重介绍电子系统分析与设计的计算机方法和具体实现。全书共分八章，主要内容包括线性、非线性电路的计算机辅助分析技术，灵敏度与容差分析，最优化设计技术，图形生成与输出技术，自动布线与印制板图设计技术，电子系统 CAD 应用软件的原理与使用等。并介绍了电子 CAD 系统的软、硬件组成方法和发展趋势。各章除介绍相关的规定内容外，并配有程序或设计实例及适量的例题和习题，以便使读者通过上机或练习加深对本部分内容的理解。

本书可作为电子、通信、无线电技术类各专业本科高年级和研究生的必修或选修课教材，亦可供相关专业工程技术人员参考。

DZ97/32

高等学校教材

电子系统计算机辅助设计

史浩山 主编

责任编辑 郑永安

责任校对 齐随印

*

©1995 西北工业大学出版社出版

(710072 西安市友谊西路 127 号 电话 4253407)

陕西省新华书店发行

西北大学出版社印刷厂排版

陕西西安丰华印刷厂印装

ISBN 7-5612-0752-2/TN·32(课)

*

开本：787×1092 毫米 1/16 印张：15.875 字数：385 千字

1995 年 12 月第 1 版

1995 年 12 月第 1 次印刷

印数：1—5 000 册

定价：14.00 元

购买本社出版的图书，如有缺页、错页的，本社发行部负责调换。

前 言

本书根据“高等工业学校电子线路计算机辅助设计课程教学基本要求”，在西北工业大学出版社 1989 年版《计算机辅助电子线路设计》的基础上修订、充实而成，名为《电子系统计算机辅助设计》，由航空工业部航空专业教材编审委员会推荐出版。

计算机辅助设计技术是 70 年代以来逐步发展形成的一门新兴学科，是电子计算机在工程技术领域的一个重要应用方面。它对电子系统设计技术的介入引起了设计领域的一场深刻革命，促进了电子系统设计技术的重大变革。CAD 网络系统的出现，CAD 与 CAM 技术的结合以及 CIMS 系统的问世，已经使计算机辅助技术在更为广阔的领域中占有重要的地位。

本书在系统地介绍电子系统计算机辅助设计的基本理论、基本方法和程序实现的基础上，适当地加强了图形技术和系统实现方面的有关内容。例如印制板图设计、原理图生成、通用电子 CAD 分析与设计软件的原理与应用等，并给出了电子系统计算机辅助设计的具体实例。

全书内容共分八章。第一章介绍电子系统计算机辅助技术的基本内容、作用、CAD 系统的配置和基本构成、CAD 系统的发展方向、计算机辅助分析的过程和基本要求等，希望使读者对本书要探讨的问题的概貌有所了解。第二章介绍线性电路的时域和频域分析方法，包括器件和系统分析模型的建立、节点分析法、改进节点法、稀疏表格法、线性动态电路和伴随模型法等，并给出了稳态和瞬态分析的实现框图和具体程序。通过相关习题和上机训练的配合，希望使读者初步掌握电路分析程序的编制和调试方法。第三章介绍非线性电路直流分析和时域分析，包括数学模型的建立，非线性分析的节点法、伴随模型法等。第四章介绍灵敏度分析的伴随网络法、增量网络法和容差分析的最坏情况分析法、统计分析法 (Monte-Carlo 法)，本部分内容对系统组成设计和系统优化设计均有重要意义。第五章介绍系统参数的最优化设计，包括最优化设计引论、典型的无约束和有约束最优化设计方法、优化设计实例等，本部分内容是 CAD 技术的重要组成部分。第六章介绍图形生成与输出技术，包括电路分析曲线和电原理图的生成、输出和传输技术。第七章介绍自动布线技术和印制版图设计技术，包括印制版图的布局、布线、后处理输出。并给出了 PROTEL 等实用软件的使用方法。第八章电子系统 CAD 应用软件原理与使用，说明了 PSPICE、MC3 等应用软件的原理与特性，并给出了电子系统设计与分析实例。

本课程的参考时数为 50 至 70 学时。要求的先修课程为“信号与系统”、“电子线路”、“程序设计基础”、“计算机原理及其应用”及计算机高级语言。

本书由西北工业大学史浩山担任主编。其中第六、七、八章由廉保旺编写，其余各章由史浩山编写。廉保旺还对第三章相关内容作了整理、修改。

西安电子科技大学吴大正教授对书稿内容进行了详细审阅，并提出了十分宝贵的意见，作者在此致以衷心的感谢。

本书的编写、出版还得到了电子工程系和出版社许多专家的热情支持、鼓励和帮助，在

此一并向他们致以深切的谢意。

我们希望本书的内容能够跟踪近年来电子 CAD 的发展现状和趋势，并能对从事电子系统计算机辅助设计工作的广大读者有所帮助。但由于电子 CAD 领域的理论发展十分迅速，应用范围相当广泛，在现有内容与读者见面时，仍可能难以满足读者工作和学习的需要，甚至书中不乏谬误之处，恳请广大读者批评指正。

编 者

1994 年 7 月于西北工业大学

目 录

第一章 概 论	1
§ 1-1 系统及电子系统	1
§ 1-2 计算机辅助技术及 CAD	1
§ 1-3 CAD 系统的配置和基本构成	4
§ 1-4 电子 CAA 的过程和基本要求	8
§ 1-5 CAD 系统的发展方向	11
预备知识	14
习 题	18
第二章 线性电路分析技术	19
§ 2-1 概 述	19
§ 2-2 器件模型	19
§ 2-3 节点分析法	22
§ 2-4 改进节点分析法	29
§ 2-5 线性电路频域分析程序	33
§ 2-6 稀疏表格法	51
§ 2-7 线性动态电路的伴随模型法	56
附录 建立瞬态分析模型用到的几个数值积分公式	63
习 题	65
第三章 非线性电路分析	67
§ 3-1 非线性器件的数学模型	67
§ 3-2 非线性电路的直流分析方法	75
§ 3-3 非线性代数方程的求解	81
§ 3-4 非线性电路中的伴随模型分析法	87
§ 3-5 非线性电路的时域分析	102
习 题	103
第四章 灵敏度与容差分析	105
§ 4-1 概 述	105
§ 4-2 增量网络法	108
§ 4-3 伴随网络法	117
§ 4-4 容差分析	127

习 题	132
第五章 系统参数的优化设计	133
§ 5-1 最优化设计引论	133
§ 5-2 多变量及单变量函数的最优化方法	136
§ 5-3 系统参数优化设计	148
习 题	155
第六章 图形生成与输出技术	156
§ 6-1 概 述	156
§ 6-2 电路分析曲线的图形生成技术	156
§ 6-3 交互式电路原理图形的生成与表示技术	160
§ 6-4 电路原理图形的数据结构	169
§ 6-5 图形输出的操作与处理方法	176
§ 6-6 图形通信与传输技术	182
习 题	183
第七章 自动布线与印制板图设计技术	184
§ 7-1 概 述	184
§ 7-2 自动布局	184
§ 7-3 自动布线	188
§ 7-4 印制板图和后处理输出	195
§ 7-5 实用软件及其应用	205
习 题	219
第八章 电子系统 CAD 应用软件原理与使用	220
§ 8-1 概 述	220
§ 8-2 PSPICE 软件的使用方法	221
§ 8-3 MC3 电路分析软件的使用方法	240
§ 8-4 电子系统设计分析举例	242
习 题	246
参考文献	247

第一章 概 论

§ 1-1 系统及电子系统

“系统”是我们在日常生活中经常涉及到的一个概念。一般说来,系统是指一些部件的组合,这些部件组合在一起,可完成一定的任务。例如机械系统、电子系统、生物学系统、控制系统、通信系统等都是一些大的物理系统;能源系统、纺织系统、邮电系统、航空航天系统、水利系统、农业系统、林业系统、物资系统、外贸系统等又指国家国民经济的某个部门;信息管理系统、网络监控系统、计算机辅助设计系统、工程图纸输入输出系统、数据处理系统等又是包括软、硬设备在内的科学研究成果。

电子系统也是由一些电子部件组成的、可以完成一定任务的组合。它可能是由数以万计个电子设备或元件组成的大系统,也可能是只有几个基本元件组成的小系统。例如卫星通信系统、海底电缆系统、程控电话系统、数据交换系统、金融计算机网络系统、民航售票系统等都是可以覆盖全国或全球的、包括电子设备数量巨大的大系统;而一个滤波系统,则可能是只由电感、电容组成的二阶滤波器,也可能是指只由一个集成电路片子组成(其中可能集成了几十或几百个电子元件)的开关电容滤波系统(小系统)。一般说来,每一个电路单元都可以叫做一个电子系统。所以,在本书的叙述中,对“电路”与“系统”两个词经常不予区分。

所谓设计系统,就是指构造一个能完成给定任务的系统。一般来说,设计过程不是一个简单的一次能完成的过程,而是一个逐步试探的过程。这种试探过程往往要经过艰苦的实验过程和千万次重复。用计算机完成系统设计过程并承担实验和试探的任务,从而缩短设计周期和提高设计质量,这就是我们研究和发展电子系统计算机辅助设计技术的目的。

§ 1-2 计算机辅助技术及 CAD

电子计算机以其运算速度快、计算精度高、能存储信息、能进行逻辑判断以及能按程序进行自动运算和处理等特点,使它在工农业生产、科学研究、军事技术等各个领域得到了广泛的应用。

微型计算机及计算机网络技术的出现,则使计算机技术的发展得到了一次重大突破。它给计算机科学的发展提供了强大的推动力,为计算机应用的范围开拓了更为广阔的领域。由于大规模、超大规模集成电路的发展异常迅速,使高性能、低价格的微机系统在许多方面与大、中型机并行使用。其应用领域得到不断扩展。譬如在工业应用中即已涉及从管理到工程分析与设计的各个方面。

自 60 年代以来,逐步采用了计算机系统做为人们的辅助工具,支持人们在自动化方面向更高阶段发展。目前在电子工业中,如电子产品设计、电路分析、印刷电路板(PCB)设计、集成电路(IC)掩膜设计、结构系统分析、软件开发、系统评价、电路或系统模拟、可靠性模拟与鉴定、

可维修性和可测试性模拟、故障诊断、仪器校准、自动测试与控制、实验室自动化及电子产品车间生产管理等方面,都是计算机辅助系统(Computer Aided System,CAS)大显身手的领域。在其它工业方面,如飞机、船舶、机械设计制造、水利建筑工程、情报检索查询、绘图出版、教学、医学诊断、系统工程、生物物理、人工智能、专家系统、地质资源、办公自动化等,通常由于工作量或工作质量非人力所能直接完成的,都能通过计算机辅助技术实现。

计算机辅助设计(Computer Aided Design,CAD)是在计算技术、应用数学和模拟理论的基础上发展起来的一门新的、独立的学科。它是计算机辅助技术的一个重要方面。而电子线路的计算机辅助设计则又是计算机辅助设计技术中发展最早、最成熟的一部分,它已成为电子技术的一个重要分支,也是电子计算机在电子技术领域的一个重要应用方面。由于CAD技术用于电路设计的效益显著,故世界各国竞相普及。目前复杂电路的设计,特别是大规模、超大规模集成电路的设计,都离不开CAD技术的应用。

计算机辅助电子线路设计一般是指:计算机根据设计人员的指令(例如源程序中包含的各种指令)执行各种数据分析和模拟实验过程(例如电路特性分析、考察元件参数变化对电路特性的影响等),并输出有关结果。

显然,计算机的上述“辅助设计”过程尚无力完成电路设计全过程的任务。例如对设计方案的提出和完善,对计算结果的分析和判断,对电路图形的再产生等过程,还都需要设计人员介入。

但是,一种新的计算机自动设计电路的技术,正由于各国科学家的不懈努力而日渐推向实用阶段。这种自动设计技术,仅需设计者根据技术指标要求提出初步方案,计算机即可完成自动识图、形成电路方程并求解、调整设计方案、输出设计结果等全部任务。

根据计算机在设计过程中担任工作的多少,CAD在电子线路设计中的应用大致有这样两种情况:一种是较为简单的,即由设计者列出电路方程,计算机仅承担数值计算并输出有关结果的任务;第二种是由设计者将电路图及其参数转化为计算机的输入数据,由计算机形成电路方程并求解,进行电路优化设计,生成和输出电路图形,以至完成印制板设计等任务。

能够标志CAD的理论和算法的研究水平及其应用程度和范围的,是世界各国(包括我国)先后研制出来的大量的通用分析程序。在电路分析方面,以美国加州大学柏克莱分校开发的SPICE 2G.6为最新、最流行的版本;在IC设计方面,美国TEK公司的MERLYN-G设计软件,其扩展能力可达1万个门电路;在印制板(PCB)CAD方面,已经历了四代并正向第五代智能设计系统发展,并在第五代PCB CAD系统中将引入专家系统去解决自动布线问题。日本也已在电视机外围电路设计上普遍采用了CAD。

即使是早期的电路分析通用程序,当其运行时也已相当于使计算机变成了一个现代化的大型实验室,可以在其中进行各种逼真的电路模拟实验。这些实验包括:直流分析、交流分析、瞬态分析、灵敏度分析、最坏情况分析;还可以选择温度分析、噪声分析、失真度分析、传递函数响应分析等。此外,还可以进行信号分析、优化处理,或对非电系统进行电模拟分析。可见,这样的通用分析程序已可满足各种电路分析和设计过程的需要,从而给CAD技术的广泛运用提供了坚实的基础。

以具备各种分析、设计能力而设计的各种CAD系统的出现,更为CAD技术的发展增加了新的活力。例如CAD图形工作站,印刷电路板生产CAD系统等,已都有很强的功能。而由计算机通信技术和CAD技术相结合而产生的局部网络型CAD系统,则更具有多种功能和可

大范围运用的特点。以 APOLLO DOMAIN 微型机 CAD 系统为例,其应用范围可包括下述十个方面:

- (1) 电子的计算机辅助设计 (ECAD);
- (2) 机械的计算机辅助设计 (MCAD);
- (3) 计算机辅助制造 (CAM);
- (4) 计算机辅助软件工程 (CASE);
- (5) 技术出版;
- (6) 建筑工程/构造 (AEC);
- (7) 人工智能 (AI);
- (8) 结构和有限元分析;
- (9) 财务模型、模拟和系统分析;
- (10) 计算机科学和研究。

大家知道,传统的电子线路设计过程,一般都是采用试凑法。即由设计者根据设计指标,试选一个设计方案,并确定电路元件参数。再根据已知参数用解析的方法,或者搭成电路进行实验,将所得的数据与技术指标进行比较。若不满足,改变元件参数或电路结构后,再重复上述过程,直到满意为止。这种设计方法重复、繁琐、费时、设计效果差,远不能与 CAD 方法相比。将上述 CAD 方法和传统的实验方法进行电子线路设计的流程用一个框图表示,如图 1-1 所示。

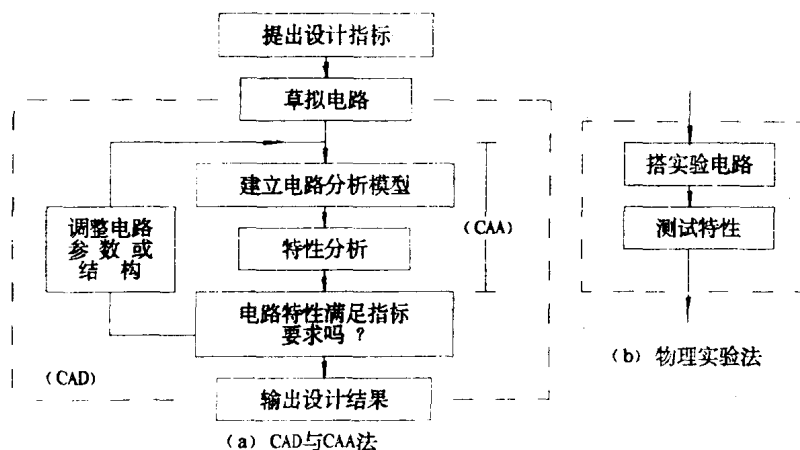


图 1-1 电子线路设计流程

电子线路的 CAD 技术与传统的设计方法相比,可概括出下列几个优点:

- (1) 迅速、可靠;
- (2) 可选用较复杂的电路模型,使设计效果更接近于实际情况;
- (3) 可采用通用分析程序,使同类问题的解决过程变的简单;
- (4) 可定出各电路元件允许的公差;
- (5) 可获得最优设计方案;

(6) 使用 CAD 系统进行设计时,用户可直接与屏幕上显示的电路图进行对话,易于与 CAM 技术结合。

计算机辅助电子线路设计,其内容可分为 CAA(COMPUTE AIDED ANALYSIS)和电路优化设计两部分:CAA 是在给定元件参数和电路结构的条件下,计算电路的性能指标;而优化设计则是在给定有关性能指标的情况下,确定电路最优组构或元件参数的最优取值。实际上,一个 CAD 过程往往是多个 CAA 过程的重复,也可以说 CAA 是 CAD 的主体。本书将要介绍的大部分属于 CAA 的内容。故在本章第四节,我们还将对电子线路 CAA 的过程和基本要求作简要说明。

§ 1-3 CAD 系统的配置和基本构成

前已述及,电子线路 CAD 技术已由单机完成科学运算的单一功能发展到多机相联,组成 CAD 局部计算机网络的阶段,并在功能上与计算机辅助制造(CAM)相结合。随着微机图形工作站的出现,微型计算机 CAD 系统(MCADS)更是在性能/价格比上展示了强大的生命力。鉴于 CAD 系统的软、硬件配置及相关专题还未成为当今电子线路 CAD 教科书的基本内容,故本书只准备在本节简要介绍 CAD 硬、软件系统的组成概况及发展趋势,并在第七章专门介绍单机及网络系统的一个重要功能——图形生成及输出技术。

一个由单机组成的 CAD 系统的基本硬件配置框图可如图 1-2 所示。其中 CRT 用来显示各种设计图形和人机交互中系统反馈给用户的各种信息;键盘和数字化仪用来让用户向 CAD 系统输入各种操作命令、图形数据及其它各种信息;绘图仪及打印机用来输出以图形和文字表达的设计图纸、产品文件、生产计划等;计算机则用来处理各种数据和管理各种输入输出设备。计算机的机型可以是各类大、中、小型机,也可以是微型计算机。而随着各类 CAD 系统的大量涌现,一些性能优良的超级微机(图形工作站)CAD 系统已向 CAD 技术领域中的统治地位的小型机 CAD 系统提出了有力的挑战,大有取而代之之势。这些各类不同档次计算机的共同特点是要求具有一定容量和速度的外存储器和输入输出设备。

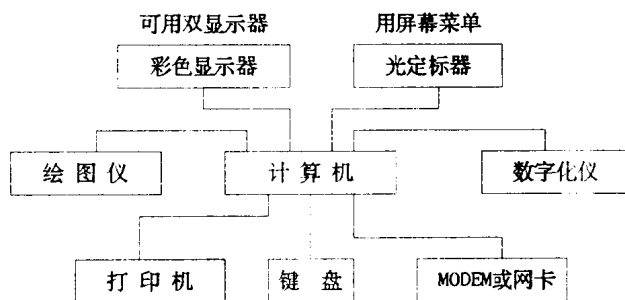


图 1-2 一个 CAD 系统的基本硬件配置

CAD 系统的软件功能模型可分为四个部分:数据库及其管理系统(DBMS),图形系统,方法库和应用程序。其配制如图 1-3 所示。其中,任一模块的运行均离不开数据库的操作,因此数据库及其管理系统(DBMS)是 CAD 系统的核心。

在 CAD 系统的发展过程中,由于设计对象的需要和用户对用户界面的要求,图形系统的位置显得越来越重要。图形系统由一系列嵌套在某种高级语言中的图形输入/输出(I/O)函数

构成,主要倾向于采用国际标准图形核心系统(GKS)作为 CADs 的基础。一般可由四个相互联系的部分组成,即对象的描述及数据结构、图形应用软件、图形支撑软件和图形设备。这四个部分的关系如图 1-4 所示

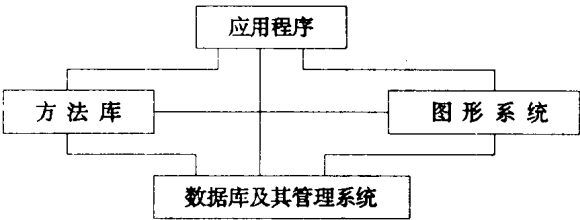


图 1-3 CAD 系统软件模块框

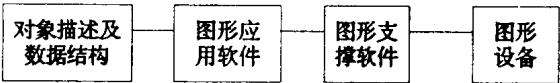


图 1-4 图形系统结构图

1. 对象描述及数据结构

实际上这是一些数据文件,其中保存欲生成的那个对象的全部描述信息,包括:该对象各组成部分的形状、几何尺寸、有关的拓扑信息及该图形对象有关的属性信息,如色彩、纹理、表面状况等。在一些实际问题中还可以涉及一些非几何数据。

2. 图形应用软件

图形应用软件的主要功能:一为接收输入,即接收由图形输入设备经过图形支撑软件送来的命令和数据,构造或修改被处理对象的模型;二为形成输出,即从上述文件中取出对象的几何数据及有关属性,按要求进行处理,然后利用图形支撑软件提供的功能,生成所需要图形并由图形设备输出。

3. 图表支撑软件

它通常由一组公用的图形子程序组成,是对操作系统和高级语言图形处理能力的扩充。图形支撑软件在计算机图形技术中起着十分重要的作用,它提供了设备的无关性,即用户在开发图形应用软件时,不必关心具体设备的物理性能和参数,应用软件可在不同硬件系统间方便地移植、运行;还极大地提高了图形应用软件的开发效率,因为支撑软件提供多种图形输出原语(graphic output primitives),如画线、圆弧、曲线、标志、填充区域、标注文字等。允许对图形进行分段移动以及放缩、旋转等各种变换,这就使图形用户不必从头做起,而可以从较高起点出发进行开发。

4. 图形设备

这是计算机图形技术的物质基础,分输入和输出设备两类。目前常用的图形设备见表 1-1 和表 1-2。

表 1-1 常用图形输出设备

图 形 显 示 器	CRT 显示器	光栅扫描显示器
		随机扫描显示器(刷新式)
		随机扫描显示器(储存管式)
	其它显示器	液晶显示器
		等离子束板显示器
		发光二极管显示器
		激光显示器

表 1-2 常用图形输入设备

定位设备(Locator)	数字化仪,鼠标器,操作杆
描画设备(Stroke)	数字化仪
检取设备(Pick)	光标,鼠标
命令选择设备(Choice)	按钮,功能键
数值输入设备(Valuator)	可调电位器,拨号盘,键盘
字符输入设备(String)	键盘,字符阅读器,语音识别器

方法库则用以完成设计的分析、计算工作。其应用程序往往随着系统的应用领域不同而不同。

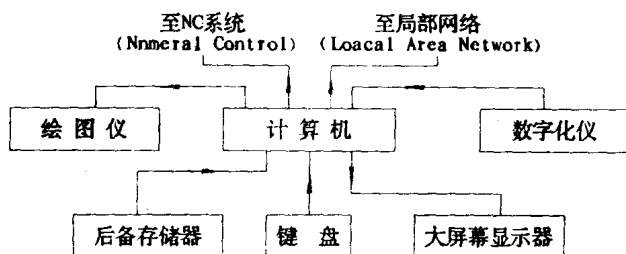
在图 1-2 所示的 CAD 系统中,由于其计算机系统由单一的主机来担任,故常叫做“独立型”CAD 系统。这种系统随主机不同而使其应用效果受到限制。以独立型 MCADS 为例,其操作系统通常是 MS-DOS 单用户、单任务、双 8 位或 16 位 CPU,内存 640KB 字节以内,外存 40MB 以内,故在此系统上运行的实用程序或应用程序都较受局限。有鉴于此,目前功能较强的 CAD 系统多采用局部计算机网络结构。

局部网络型 CAD 系统是计算机通信技术与 CAD 技术相结合而形成的产物,是对单用户单任务 CAD 系统一个重要改进。此类系统的组成方法是建立工作站,其典型工作站的硬件组成框图如图 1-5 所示。它除了具有独立型 CAD 系统的基本配置外,并通过一定的软、硬件装置连接到网络系统上去。此外,还可设置专门的前端通信处理机,用以担负通信任务和控制各工作站之间的信息流。

此类系统的先进性在于它可以提供一定的智能。允许用户有一个合适的响应时间来准备数据和进行简单的运算,这样更多的计算工作和大的数据存储文件的访问完全可以由网络来

局网型 CAD 系统能够得以迅速发展并具有优良的性能,是因为计算机局部地区网络除了可以实现网内软、硬设备资源共享这一基本性能(这一点对于 CAD 系统尤其重要)外,还具有以下特征:

- 可以把分散在几百到几千米范围的不同终端互连。
- 具有 1~100Mb/s 的传送速率。
- 可以提供数据、语言、视频和图形、图象等综合服务。
- 能支持标准化协议和标准终端接口等。
- 采用国际标准化组织 ISO 推荐的开放系统互连模型 OSI 的各项原则。



整个 CAD 网络的结构可以是星型、环型和总线型等多种。以 § 1-2 中提及的 APOLLO DOMAIN 微机 CAD 系统为例,其整体结构可如图 1-6 所示。它以一个典型工作站做为一个节点(每个节点一台 32 位微处理器,1-4M 字节主存,34-500M 字节外存及其它外部设备等)以多个节点组成一个令牌环网。

图 1-6 APOLLO DOMAIN 环网型 CAD 系统

再把令牌附在信息的后面继续传送,直到由下一个信息发送和再一次截获令牌。

上述信息传递方式使令牌环网具有如下特点:

- 信息单向流动,不存在路径选择问题,适合于局部网络简单、经济的要求。
- 线路连接容易、快速,使网上信息传递具有很好的实时性。
- 不需要复杂的拥塞控制技术,从而简化了软件的设计和开销,也避免了由拥塞而产生的死锁。
- 数据传输效率高。既可以是基带传输,也可以是宽带传输。
- 对通信媒体的适应性强。可以使用同轴电缆、光纤、双绞线等多种介质。
- 环结构网的初始投资低,挂接和摘除设备容易。

APOLLO DOMAIN 环网型 CAD 系统使用基带传输,建立了一个 12Mb/s 的高度灵活的通信信道。其节点距离可达 1km,全网可有几百个节点。该系统完全可以和不少小型机的 CAD 系统相匹敌,而价格还不及这些系统的一半。由此可以看到局网型 CAD 系统的优越性和良好的应用前景。

还有一种挂靠式 CAD 系统。它是把简单 CAD 系统挂靠到大、中型计算机系统中,从而充分享用大、中型机的资源。比如将复杂的计算和图形变换等操作由大型机完成,再将处理后的数据送至 CAD 系统进行再处理,从而扩展了 CAD 系统的功能。

§ 1-4 电子 CAA 的过程和基本要求

前已述及,计算机辅助分析(CAA)是传统的计算机辅助设计(CAD)技术的重要组成部分。也是传统计算机辅助设计课程要介绍的主要内容,故本节用一定的篇幅介绍计算机辅助分析的主要过程和基本要求。

利用 (CAA) 进行电路性能分析的过程可如图 1-7 所示。其主要步骤可以归纳为如下几点:

- (1)建立电路的数学模型;
- (2)选择算法,编写程序;
- (3)程序调试过程;
- (4)数据输入,程序正式运行;
- (5)以适当的形式输出有关结果。

实际上,在已经掌握电路理论、电子线路、程序设计语言、计算方法等先修课程有关知识的基础上,通过编制专用程序来解决一些电子线路的机助分析与设计问题,并不是很困难的事情。下面我们通过一个简单例子来说明利用专用程序来解决特定电路分析问题的方法和步骤。

【例 1-1】 有单级晶体管放大电路如图 1-8(a)所示,试编程考察各电阻元件及晶体管 β 值对放大器工作点发生的影响。

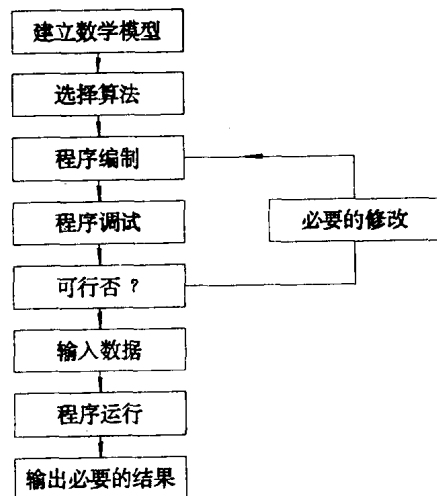


图 1-7 用 CAA 进行系统性能分析的流程图

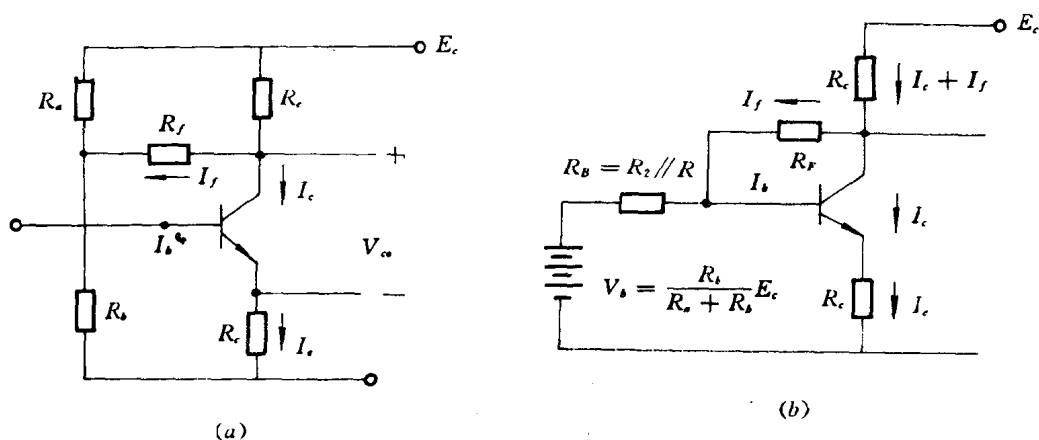


图 1-8 晶体三极管放大器及其等效电路

当环境温度改变或调换管子时,可能会引起放大器工作点的变化。图 1-8(a)所示实际也表明常用偏置电路的组成情况。为简单计,有时把图 1-8(a)中的一些电阻开路或短路,可组成如图 1-9(a)-(f)等各种情况。图 1-9 各种电路的取得,在编程实现时,我们只要对图 1-8(a)的电阻作特殊取值,比如用 $R=0$ 和 $R=\infty$ (可用一大电阻例如 $R=30\text{ M}\Omega$ 代之)代之就可以实现了。故在计算机编程时,只要分析 R, β 取不同值时图 1-9(a)的 I_C, V_E 的不同输出,即可达到考察放大器工作点稳定性的目的。

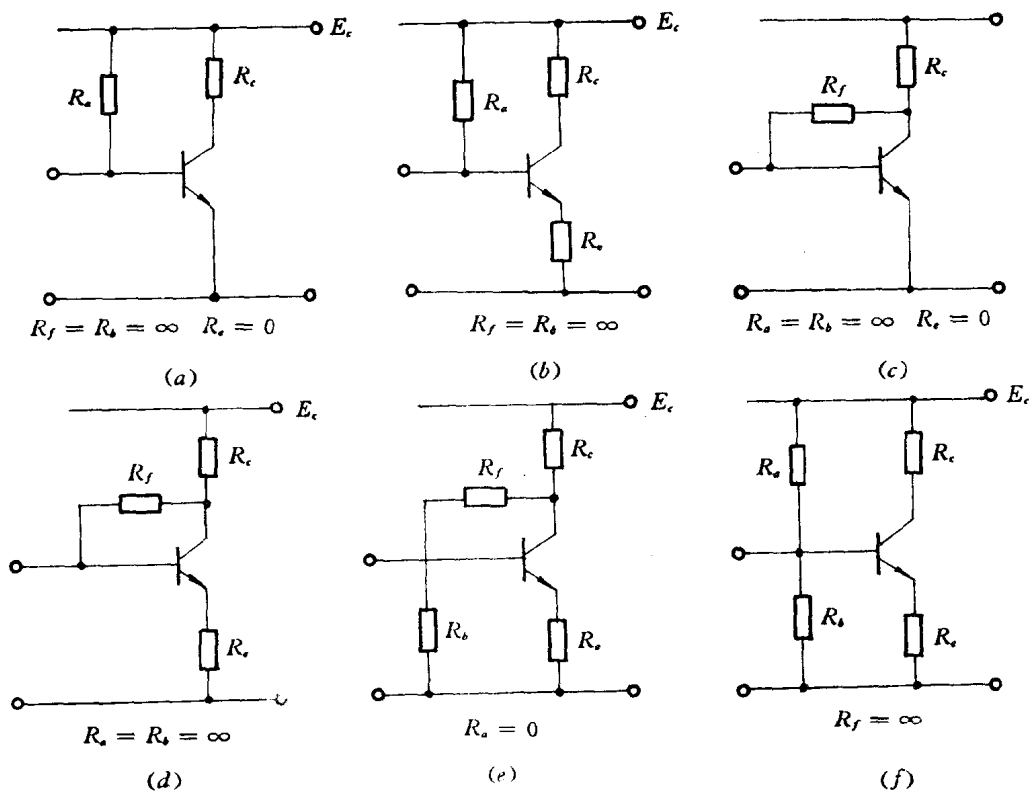


图 1-9 单级放大器常用各种偏置电路

下面我们程序实现这一分析过程。

由电子线路的有关知识,我们可得到上述电路的分析方程如下:

$$\left. \begin{aligned} -R_b I_f + R_b I_o / \beta + R_c I_c &= V_b - V_{be} + I_{ceo} R_b / \beta \\ -(1 + 1/\beta) I_o + I_c &= -I_{ceo} / \beta \\ (R_o + R_f) I_f + R_o I_o + R_c I_c &= E_o - V_{be} \end{aligned} \right\} \quad (1-1)$$

如果我们令

$$\begin{aligned} A &= R_b R_c I_{ceo} / \beta (R_c + R_f) (V_b - V_{be} + I_{ceo} R_b / \beta) \\ B &= R_c (R_c + R_f) I_{ceo} / \beta + R_b (E_o - V_{be}) \\ C &= R_b R_c (1 + 1/\beta) + (R_b / \beta) (R_o + R_f) + R_o R_b \\ D &= R_c (R_c + R_f) (1 + 1/\beta) \\ E &= (V_b - V_{be} + I_{ceo} R_b / \beta) [-(1 + 1/\beta) R_c - R_c] \\ F &= I_{ceo} / \beta \cdot (R_b R_c / \beta - R_c R_c) \\ G &= (E_c - V_{be}) [R_b / \beta + R_c (1 + 1/\beta)] \end{aligned}$$

则由(1-1)式可将 I_c 、 I_f 简单表示成

$$I_c = (A + B) / (C + D) \quad (1-2)$$

$$I_f = (E + F + G) / (C + D) \quad (1-3)$$

并可将晶体管的集电极电压 V_c 表示为

$$V_c = E_c - R_c (I_c + I_f) \quad (1-4)$$

如果我们希望考察 β 、 V_{be} 、 I_{ceo} 等参数的变化对放大器工作点所发生的影响,即考察上述参数变化对 I_c 、 V_c 值产生的影响,则可以根据已有关系式编制出 FORTRAN 程序如下:

```
C   A GENERAL TRANSISTOR BIASING PROGRAM
      REAL ICEO,IC,IFO
      READ(*,1) RC,RF,RA,RB,RE,BETA,EC,VBE,ICEO
1    FORMAT (9F12.6)
      RBB=BA*RB/(RA+RB)
      VB=RB*EC/(BA+RB)
      A=RBB*RE*ICEO/BETA+(RC+RF)*(VB-VBE+ICEO*PBB/BETA)
      B=RE*(RC+RF)*ICEO/BETA+RBB*(EC-VBE)
      C=RBB*RE*(1+1/BETA)+RBB*(RC+RF)/BETA+RC*RBB
      D=RE*(RC+RF)*(1+1/BETA)
      E=(VB-VBE+ICEO*RBB/BETA)*(-1*(1+1/BETA)*RE-RC)
      F=(ICFO/BETA)*(RBB*RE/BETA-RC*RE)
      G=(EC-VBE)*RBB/BETA+RE*(1+1/BETA)
      IC=(A+B)/(C+D)
      IFO=(E+F+G)/(C+D)
      VC=EC-RC*(IC+IFO)
      WRITE(*,2)RC,RF,RA,RB,RE,BETA,EC,VBE,ICEO
2    FORMAT (5X,9(IPE12.8))
      WRITE(*,3)IC,VC
3    FORMAT (3X,'IC=',IPE12.8,'AC='IPE12.8)
      STOP
```