

电路网络的 计算机辅助分析

胡康成
杨雯

编著

云南大学出版社

电路网络的计算机辅助分析

胡康成 杨 雯 编著

云南大学出版社

责任编辑: 张世鸾

封面设计: 于 学

内 容 简 介

本书系统地阐述了利用电子计算机对电路网络进行分析和设计的基本原理和具体方法。主要内容为线性电路网络的直流分析、交流分析和瞬态分析的数学模型、计算方法、通用分析程序的编写和程序的具体应用。

本书具有理论分析和具体应用并重的特点。书中选编了大量的具体程序及应用,以利于读者的理解和掌握。

本书可作为高等院校电子专业、计算机专业以及相近专业高年级学生的教材,也可供从事电路网络、系统分析与设计和计算机应用方面工作的科技工作者和工程技术人员参考。

电路网络的计算机辅助分析

胡康成 杨 雯 编著

*

云南大学出版社出版发行

(云南大学校内)

云南大学出版社印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 1/16 印张: 11 字数: 255 千

1996年9月第1版 1996年9月第1次印刷

印数: 0001—1000

ISBN 7-81025-721-8/TV·2 定价: 14.50 元

前 言

电路网络的计算机辅助分析和设计是一种分析、设计电路网络的新方法、新手段和现代化的新工具。它把计算机的快速计算、优良的数据处理能力与人的创造性思维劳动充分结合起来,缩短了设计周期,提高了设计质量。并使工作人员从烦琐的、重复的计算、列方程、解方程、查数据及繁重的绘图工作中解放出来,达到省时、省费用、高质量、高效率的目的。

本书系统地阐述电子计算机辅助分析和设计电路网络方面的基本理论和具体方法。主要内容为电路网络的直流分析、交流分析和瞬态分析的数学模型、计算方法、通用分析程序的编写、算法及程序的优化和具体应用。考虑到易学和便于推广,书中采用 BASIC 语言,全部程序都在 IBM 微型计算机上通过调试和进行运算。读者可根据需要采用相应的程序并对程序作恰当的修改,以满足技术指标的要求。

分析是求给定电路网络的性能。电路网络的计算机辅助设计——CAD 用于电路系统的设计。CAD 的基础是电路网络的计算机辅助分析。新方法 CAD 已成为一切工业企业、管理部门、高等院校等的基本组成部分,是今后发展的新方向。其趋势是对用户而言操作越来越简单、易行。对开发者而言越来越难,要求越来越高,要综合性地应用有关的多门学科的知识,才能编写出一个成功的 CAD 软件。

为了掌握本书内容,读者应具备线性代数、计算数学、BASIC 语言、电子线路、数字电路和电路理论等方面的基础知识。

本书总结了我们的 11 年 CAD 课教学的实践经验,同时,参考了科技大学、复旦大学、清华大学等兄弟院校以及国外的有关教材编写而成。在此向兄弟院校的有关老师表示衷心的感谢。向支持本书编写工作的云南大学教务处、信息与电子科学系、云南大学出版社的有关老师深表谢意。

由于我们的知识水平有限,编写时征求各方面的意见不够充分,因此书中有可能出错和不妥之处,殷切希望读者批评指正。

编者: 胡康成 杨 雯

1996 年 1 月于云南大学信息与电子科学系

目 录

第一章 概 述	(1)
§ 1.1 什么是计算机辅助电路分析	(1)
§ 1.2 电路分析的基本内容	(4)
§ 1.3 CAD 技术及其发展概况	(8)
§ 1.4 CAD 系统的基本组成、发展趋势及应用前景	(10)
§ 1.5 实例	(14)
第二章 线性代数方程组的求解	(20)
§ 2.1 高斯(Gauss)消去法	(20)
§ 2.2 主元素消去法	(23)
§ 2.3 高斯-约当(Gauss-Jordan)消去法	(25)
§ 2.4 直接三角形分解法	(31)
§ 2.5 线性方程组求解程序和矩阵求逆程序	(37)
第三章 线性网络的稳态分析	(45)
§ 3.1 网络拓扑的基本原理	(45)
§ 3.2 节点分析法	(45)
§ 3.3 直流分析程序	(65)
§ 3.4 直接列出节点电导矩阵的直流分析程序	(83)
§ 3.5 线性网络的交流分析程序	(103)
第四章 线性网络的瞬态分析	(121)
§ 4.1 瞬态响应的数值分析方法	(121)
§ 4.2 差分方程的稳定性分析	(139)
§ 4.3 无源元件的“瞬态伴随模型”	(145)
§ 4.4 网络的瞬态节点电压方程	(148)
§ 4.5 线性网络瞬态分析程序	(152)

第一章 概 述

§ 1.1 什么是计算机辅助电路分析

电路设计师在设计完电路后,总要进行校验。校验的方法无非是用物理的或数学的两种方法。在没有计算机时,人们用“纸和笔”的方法来进行数学模拟。先在纸上画出电路草图,标出有关信息和数据,然后根据基尔霍夫电压定律(KVL)、电流定律(KCL)和欧姆定律在纸上列出方程式,并借助于计算尺或计算器,手工进行求解,根据解得的结果检验设计的正确性。由于要靠人工求解,因此“纸和笔”的方法有下列限制:

- 1) 电路要比较简单,否则人工计算有困难;
- 2) 元件类型也要比较简单;
- 3) 计算精度有限;
- 4) 当要重复计算时,时间太长。

另一种检验的方法是“实验装置板”法,这是一种物理模拟的方法。即在实验装置板上按设计草图搭接一个实验电路,并通电进行实验。然后利用电表和示波器等来测量电路性能,以此来校验设计的正确性。这种方法设计一般电子、电工电路是有效的。目前,它仍然是我们常用的检验方法之一。但它有下列限制:

- 1) 实验时间太长,特别是要作多种方案和元件参数的比较实验时尤为突出;
- 2) 要获得精确的元件值有困难,因此实验的精度不高;
- 3) 不能进行破坏性或边缘状态的实验,例如无法做高温、高压等条件下的电路运行状况的实验。
- 4). 容差和最坏情况分析有困难。

当进行大规模集成电路的设计时,已无法在实验装置板上搭接实验电路。一个包含有几千个甚至上万个晶体管、电阻和电容等元件的大规模集成电路,可以制作在几个平方毫米或者十几个平方毫米的硅片上。而用实验装置板搭接出来的电路(如果能搭接的话!)也与实际电路差别太大,失去了物理模拟的意义。

随着电子工业的发展,特别是大规模集成电路的发展,电路设计越来越复杂,对设计的可靠性也要求越高,原来的“纸和笔”的方法和“实验装置板”的方法不能适应,急需要解决电路设计的检验问题。

随着电子计算机的出现和设计技术的发展,利用计算机进行电路的数学模拟不但成为必要,而且有了可能。计算机辅助电路模拟也叫计算机辅助电路分析,它将要模拟的电路的数学问题编制成程序并利用计算机求解。由于计算机运算速度快、精度高,解决了“纸和笔”方法所不能解决的问题。它又不受破坏性条件的限制,可以进行各种破坏性条件的模拟,因此它也能解决“实验装置板”方法所不能解决的问题。目前,它已成为电路设计师有力的工具,被广泛地应用在大规模集成电路和一般电子线路的设计中,取得了显著的效果。

计算机辅助电路分析是一种“分析”或者“模拟”工具,它不是“设计”工具。它要求设计师先设计好电路,画出草图并标上相应信息和参数,然后将设计的电路结构、元件参数等送入计算机。由计算机进行求解并输出结果,最后由设计者自行去判断电路的正确性,它不能代替人的设计工作,只是帮助人们去检验设计的正确性。目前,除了个别专门类型的电路以外,还不能用计算机进行电路的自动设计和最佳设计,此项工作还在研究中。

电路设计的过程可用图 1—1 来表示:

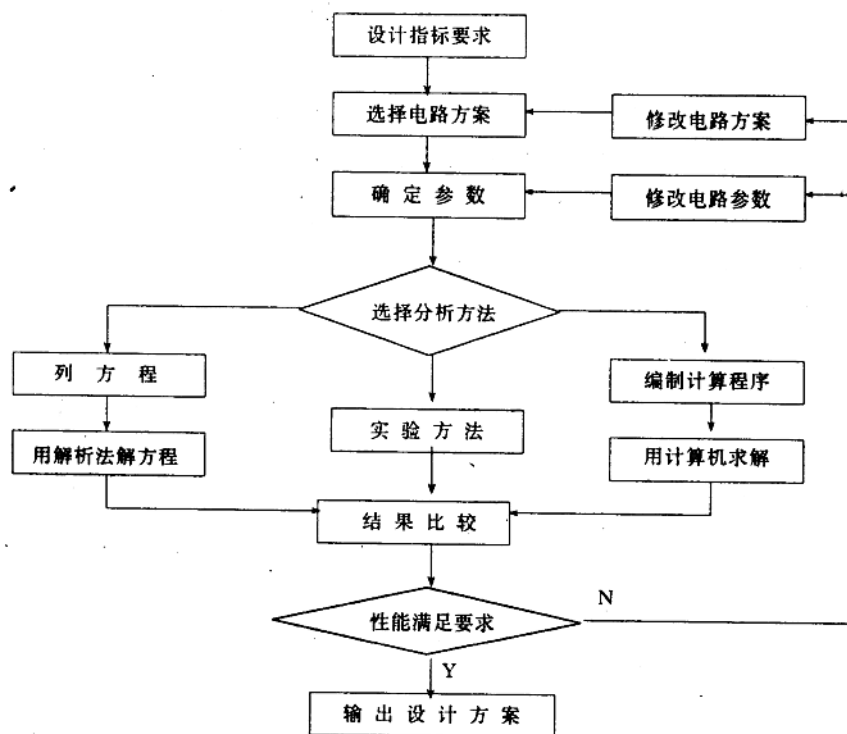


图 1—1 电路设计流程图

开始用计算机进行电路分析时,只是根据具体电路编制一个分析此电路的程序进行计算。当要分析另外电路时,又得重新编制分析程序。通常,要分析一个电路至少要做如下几方面的工作:

第一步,对电路各种元件建立数学模型,即要用数学公式去描述元件的电流电压特性及其与物理参数的关系。例如一个电阻值为 R 的电阻,其两端电压与电流关系可用 $V = IR$ 表示。而一个二极管(如图 1—2 所示),其两端电压与流

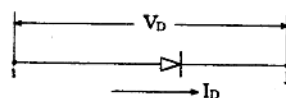


图 1—2 二极管示意图

过二极管的电流之间的关系可用我们熟知的下述公式表示。

$$I_D = I_S(e^{V_D/V_T} - 1)$$

其中, I_s 为反向饱和电流, V_T 为热电压。

第二步, 建立电路方程, 通常用人们所熟知的基尔霍夫电流定律 (KCL)、基尔霍夫电压定律 (KVL) 和欧姆定律等来列方程。如图 1-3 所示的这样一个简单的电路, 用上述这些定律列出如下的代数方程组:

$$\begin{cases} (\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_4})V_1 - \frac{1}{R_2}V_2 = \frac{E}{R_4} \\ -\frac{1}{R_2}V_1 + (\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3})V_2 = 0 \end{cases}$$

第三步, 求解方程。这要涉及到线性代数方程组的求解方法、常微分方程组的求解方法和非线性代数方程的求解方法。

从上面看到, 要分析一个电路, 至少要进行上述三步, 并要编制程序上机, 这是一个工作量很大的事情, 并且涉及到电路理论, 计算数学、程序设计和半导体器件物理等方面的专业知识, 要每个电路设计师自己去完成上述工作, 显然是效率低和不值得的。因此要进行计算机辅助电路分析就必须要有“通用”的电路分析程序。

一个通用的电路分析程序, 最基本的是要能对各种电路自动建立电路方程, 然后求解方程并输出所需的结果。另外, 程序中应备有元件的数学模型或允许用户自行定义的数学模型。这样, 设计师要分析一个电路时, 只要将电路的结构和元件参数输入到计算机中, 分析程序能自动地进行分析, 而不需要设计师自己去编程序, 这里“通用”的含义是指“自动列方程、求解方程并输出等功能”, 是相对于最初的只是为一个电路而用的程序而言的。目前除了能分析各种类型器件、各种性质的电路的通用分析程序以外, 也有专为一类器件, 如 MOS 晶体管、双极型晶体管等电路进行分析的“专用”电路分析程序, 也有只能分析线性电路的线性电路分析程序等。这些电路分析程序, 从自动列方程、解方程这些基本特点看是一样的。

为了方便电路设计师使用分析程序, 能以比较直观而又简洁的方式表示要分析的电路的结构和元件参数, 电路分析程序有必要向用户提供专为描述电路结构和元件参数的“电路分析程序的输入语言”或者叫作“电路描述语言”。用户要进行电路分析时, 只要用这个语言写出自己的电路结构和元件参数, 指明分析类型和输出要求, 就能进行他所需要的分析。只有此时, 电路分析程序才能成为电路设计师有力的助手, 如图 1-4 这样的电路, 其结构和元件参数可描述成下面形式:

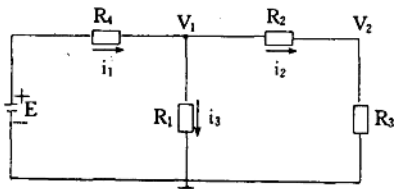


图 1-3 由电阻和电压源组成的简单电路

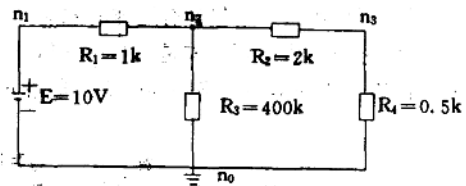


图 1-4

$$\begin{aligned} R_{1,1-2} &= 1\text{k}\Omega \\ R_{2,2-3} &= 2\text{k}\Omega \\ R_{3,2-0} &= 400\text{k}\Omega \\ R_{4,3-0} &= 0.5\text{k}\Omega \end{aligned}$$

$$E_1 - 0 = 10V$$

这样的表示方式对电路设计师是很直观的,且易于学习和记忆。
用户使用电路分析程序的大致步骤如图 1—5 所示。

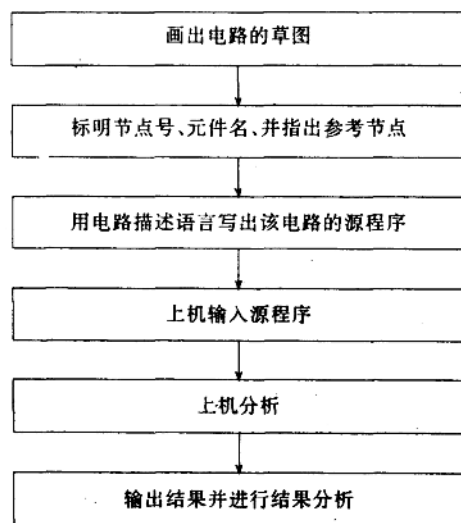


图1—5 使用电路分析程序流程图

§ 1.2 电路分析的基本内容

不同性质的电路网络,其要分析的内容不完全相同,分析的方法也不一定相同。从网络包含的元件类型划分,有电阻性网络和动态网络之分,前者不包含像电容或电感这样的储能元件,而后者则一定包含有这样的储能元件。从元件性质划分,又可分为线性网络和非线性网络,进一步的还可分成是 MOS(金属-氧化物-半导体)晶体管类的电路和双极型晶体管类电路等。各种类型网络需要解决的电路分析问题可大致归纳成表 1—1 所示。

表 1—1 各种网络的电路分析问题

网络类型	要 分 析 的 问 题
1. 线性电阻网络和线性动态网络	(1) DC 分析(求线性电阻网络的直流解) (2) AC 分析(求线性动态网络的频率特性) (3) 瞬态分析(求线性动态网络的瞬态特性) (4) 噪声分析(把噪声源作为输入求 AC 解或瞬态解) (5) 容差分析(灵敏度和最坏情况分析)

网络类型	要 分 析 的 问 题
2. 非线性电阻网络	(1) 工作点分析(求非线性电阻网络的直流解) (2) 驱动点特性的确定(求驱动点电流和电压之间关系) (3) 传递特性确定(求输出电压、电流作为输入电压、电流的函数关系)
3. 非线性动态网络	(1) 初始条件、偏置或平衡状态分析(把所有电容开路、电感短路时求工作点) (2) 瞬态分析(求在用户或程序指定的初始条件下,有或没有输入情况下的输出波形) (3) 稳态分析(求有或没有输入情况下的稳态周期解)

表 1-1 中所有的分析中,最基本的分析是直流(DC)、交流(AC)和瞬态(TR)分析。其它的分析问题都是在这三种分析的基础上进行的。

一个好的通用电路分析程序大体上由五个部分组成:输入、器件模型处理、列方程、数值解和输出。本节只是简略地叙述每个部分的功能和处理内容,以便使读者对电路分析程序的轮廓有个初步的了解,更详细的内容将在以后各章中分别叙述。

一、输入

一个好的电路分析程序应具有一个供用户直观地描述电路结构和元件参数的输入语言,此输入语言也叫做“电路描述语言”。用户用电路描述语言将要分析的电路写出源程序,并输入到计算机中,由输入程序或叫做电路描述语言的编译程序进行加工处理。一个好的输入语言和编译程序应具有以下功能:

- 1) 能识别和处理由字母或数字等组成的“自由格式”语句的源程序,
- 2) 容许接受以表格数据表示的元件模型函数,
- 3) 能接受用户自行定义的子程序所说明的模型数据,
- 4) 备有模型库和允许用户使用机内模型库,
- 5) 能识别源程序错误,包括语法错误和部分语义错误,

(语法错误是指那些不符合语言中对源程序规定的错误,例如,数据形式错误、非法的元件名字、非法的语义标志符等。语义错误包括电路连接上的错误,如开路、自回路、电压源回路、电流源割集等。)

- 6) 将输入数据分类加工整理,供以后阶段的程序使用。

最简单的输入语言是一种“表格式”或“固定格式”的语言,它实际上还称不上是语言,它直接利用算法语言(如 FORTRAN、ALGOL、BASIC 等语言)中输入语句所要求的数据格式作为用户输入时书写电路数据和信息。这种“输入语言”对用户使用不方便、不直观,但它不需额外的“编译程序”。这是早期电路分析程序所采用的一种输入形式。

目前较多采用的是一种称之为“自由格式”的输入语言,它是面向电路设计师的一种专门语言。它提供了描述电路结构、元件参数、分析类型、运行条件、输出要求等各种语句。这些语句直观易懂、书写自由、使用方便。但它要求电路分析程序中包含此语言的编译程序。各个电路分析程序,由于使用的计算机和工具语言的不同,以及解决问题和要求的不同,在满足上述六个功能上会有所差别。

近年来还出现了采用人机交互方式输入语言的电路分析程序。这种程序允许用户借助于人机交互设备(如光笔图形显示器)直接将电路图和元件数据送入计算机,并进行分析。如发现错误,可直接通过交互方式修改电路图或参数,重新或继续进行分析。这种方式使用方便直观,容易修改。但必须有交互式设备以及相应的输入软件为基础。

二、器件模型处理

通用电路分析程序允许电路中出现各种类型的元件,而这些元件都必须有相应的数学模型去描述它们。专用的分析程序则只要包含一定类型的元件的数学模型即可。通常,分析程序内备有一些常用元件的模型,例如二极管、MOS晶体管、双极型晶体管、结型场效应晶体管等模型,事先编制好模型计算程序存入模型库中,用户只要给出必要的模型参数就可直接调用。如用户要自行定义新的模型,则可根据程序中事先的约定,编制模型子程序嵌入到库中以供调用。

功能更强的电路分析程序往往还具有模型嵌套功能,在输入语言中也相应地有“宏模型”或“子电路”这样的语句,以描述嵌套和多重嵌套的情况。这样,用户要使用标准的或常用的单元电路,如门电路、触发器等只要直接给这种子电路的名字和必要参数就可,而不必拆成晶体管、电阻等基本元件来描述这有利于简化源程序,同时也节省存贮量。

我们这里所说的器件模型处理,是指那些非线性元件如二极管、三极管、非线性电阻、电容等的处理。器件的模型处理在整个电路分析程序中占有重要的地位,分析结果的精度在很大程度上取决于模型的精度,分析过程中大部分时间是在计算模型和等效电路。

严格地说,任何非线性元件总是要用一个三维的偏微分方程才能描述它们。若把它用来进行电路分析,即使在今天的计算技术和电路理论已达很高水平下也是不可能的,因此,总是要进行某种程度的近似。这就要考虑近似的精度,精度要求太高,必然使计算公式复杂、项数增多,就要增加存贮量和计算时间,精度太低又要造成分析结果不可靠。因此,电路分析对模型的处理要综合考虑精度,使用方便和计算费用(计算时间和存贮量)。

目前,构成模型的方法可粗分为两种,一种是以器件的物理原理为基础,从方程式出发去组成模型。例如MOS晶体管的模型往往采用这种方法,另一种把器件看做暗箱,以其端子的工作特性为着眼点组成模型。这种模型的参数值往往通过测量确定。例如双极型晶体管模型往往采用此法。不论哪一种方法,又都有大信号模型(非线性模型)和小信号模型(线性模型)。

三、列方程

电路分析程序根据输入的电路结构、元件参数和分析要求自动建立电路方程。建立电路方程的基本原理是KCL、KVL和欧姆定律(或叫支路特性方程),但用计算机实现时,不同类型的网络 and 不同分析要求可有不同建立方程的方法,同一类型网络和相同分析要求也可有多种建立方程的方法。

列方程的方法有拓扑矩阵法、节点法、状态变量法、混合法、稀疏表格法(Sparse Tablean Approach)以及上述方法的改进或变形。

节点法是最早被采用的列方程方法,它建立一个以节点电压为未知量的代数方程组,由于它简单直观,因而被广泛采用,但它不能处理电压源和电流相关支路,为克服这个缺点,以后又产生了改进节点法。采用此类方法的程序很多,如美国的SPICE、ISICE、SYSCAP、CIRC等以及国内的DFX和GCAP等。

状态变量法是以电容电压和电感电流作为独立变量而列出的一组微分方程。它适合于瞬态分析,所列的方程组未知量最少。采用此方法的有美国的 CICS、SCEPTRE-2 等。

拓扑矩阵法是利用网络和图的关系,借助于拓扑矩阵根据 KCL、KVL 等列出网络方程。CALAHAN、TAP 等程序使用了该方法列方程。

混合分析法是状态变量法的修正。在利用状态变量法列方程时不消去代数方程变量,因而得到一个混合的微分、代数方程组。它也可以由节点法发展而来,它允许除节点电压以外的支路电流作未知量,实际上改进节点法列的方程组就是混合的方程组。ECAP-I 是用混合分析法来列方程的。

稀疏表格法直接将由 KCL、KVL 和欧姆定律而列出的三组方程组“堆积”在一起而成为要求解的电路方程组,方法简单直观,但方程个数多,基于稀疏矩阵求解技术,采用此法的有 ASTAP 等。

对线性网络的交流分析,可用节点法建立以节点电压为未知数的线性节点方程组;或用混合法建立一个有节点电压和支路电流为未知量的线性混合方程组。

对线性网络的瞬态分析,可用状态变量法建立一个线性状态方程(即线性常微分方程组),也可用节点法或混合法建立离散的线性节点方程组或混合方程组。

对非线性网络的直流分析,可以用节点法建立非线性节点方程组或用混合法建立一个非线性的混合方程组。

对非线性网络的瞬态分析,可用节点法建立一个离散的非线性节点方程组;或用状态变量法建立一个非线性状态方程;也可用稀疏表格法建立一个稀疏表格方程组(是一个混合的方程组)。

列方程方法的选择还要与数值方法结合起来考虑,一般希望选择一个程序简单、方程阶数低的列方程方法。

四、数值解

电路分析程序主要包括三类数值解法:线性代数方程组解法,非线性方程组解法和常微分方程组解法。

线性代数方程组的数值解法是电路分析中最基本的数值方法。这是因为线性网络的直流分析和交流分析所列的方程组是实系数或复系数的代数方程组。非线性网络的直流分析也要反复使用线性代数方程组数值解法,甚至在用节点法、混合法、稀疏表格法求解瞬态分析问题,也要反复应用这个解法。因此选择好线性代数方程组的数值解法对电路分析结果的精度和总的分析时间影响极大。

采用高斯消去法或 LU 分解法比用逆矩阵方法去求解线性代数方程组能节约 $2/3$ 的运算量,但其运算量仍然是 n^3 数量级(n 是方程个数)。由于电路方程的系数矩阵是稀疏矩阵(矩阵中非零元素只占很少部分),因而可采用稀疏矩阵求解技术,它使运算工作量下降到 n 数量级。

对非线性方程,一般先进行线性化,然后再使用上述线性代数方程组的求解方法。线性化的方法有分段线性化方法和牛顿-拉夫森方法(Newton-Raphson),分段线性化是早期电路分析程序中采用的方法,精度差,目前已很少被采用,牛顿-拉夫森方法具有收敛速度快、精度高等优点,但它存在着初值选取困难和易发散的缺点,目前电路分析程序中使用的大都是改进的牛顿-拉夫森方法。

解常微分方程组的方法有显式积分法和隐式积分法两种。显示积分法如欧拉向前公式(Forward Euler Formula)、龙格-库塔法(Runge-Kutta)、阿当姆斯法(Adams)等,它们具有能递推、计算量小、不需迭代等优点。但由于电路方程往往是刚性(或叫病态)常微分方程,国外称 Stiff 方程,显示积分法容易引起不稳定。为了保证数值积分的稳定性,使其舍入误差不增长,就必须选取十分小的积分步长,造成求解时间太长。隐式积分法虽然需要反复迭代求解线性代数方程组,但它的数值稳定性好,在解变化不剧烈时能取得较大的积分步长。并且由于对线性代数方程组使用了稀疏矩阵技术,就使得总积分时间可以缩短。目前,绝大多数电路分析程序都使用隐式积分法,并且还采用了变步长、变阶、误差控制等技巧。常用的隐式积分法有欧拉向后方法(Backward Euler Method)、梯形法(Trapezoidal Method)、多步隐式积分法(Multistep Implicit Integration Algorithms)、Gear 方法、向后差分方法(Backward Difference Formula)等。

五、输出

一个好的电路分析程序应具有各种输出选择,包括输出内容和输出方式的选择,输出内容随着网络类型的分析要求的不同而有所不同。一般有直流工作点、幅频和相频特性、瞬态响应、传递特性和灵敏度分析等。输出方式有表格和曲线两种,可以用打印机打印曲线,也可以用绘图仪绘制曲线。

§ 1.3 CAD 技术及其发展概况

由于计算机技术的迅速发展,特别是图形学、二维、三维图形系统、图形数据库技术以及计算机硬件技术的发展,计算机辅助设计(Computer-Aided Design)技术已经成为一门引人注目的新兴学科,CAD 技术与计算机辅助制造(Computer-Aided Manufacturing)、计算机辅助管理(Computer-Aided Management)相结合成为计算机应用极为重要的新领域。

CAD 技术取得重大突破,超越理论探讨并打入市场是在 70 年代末,目前 CAD 已经成为一种相当成熟的工具,并作为商品进入各领域,CAD 技术被广大工程技术人员用来从事产品、工程等对象的设计、分析及绘图制图工具。由于 CAD 技术能把计算机的快速、准确的特点和设计者的逻辑思维及综合分析能力结合起来,加速了设计过程,提高了产品质量。因而 CAD 技术已成为一切工业企业部门的基本组成部分。

廉价的光栅扫描显示器的使用,微型计算机的普及,特别是超级微机和小型机的出现,使 CAD 系统的价格大幅度降低,因而吸引了众多的企业,甚至吸引了一些家庭,市场的需求量猛增,形成了 CAD 技术迅速发展的局面。目前世界上研究 CAD 系统及其配套设备的公司已达数百家。几乎每周都有新的 CAD 软件问世,美国的 Computer Vision 公司、IBM 公司、Intergraph 等公司被认为处于领先的地位,但是企业之间的竞争仍相当厉害。CAD/CAM/CIM 技术的三位一体工作正在逐步发展起来,CAD 技术将走向更加完美的发展阶段。

CAD 技术的发展,从 50 年代开始,经历了初始准备、研制试验、技术商品化和推广应用等四个时期。

1) 初始准备时期

在 50 年代随着计算机的迅速发展,计算机外设如绘图仪、图形显示器、光笔等的出现,

设计、计算、绘图和图形显示的软件不断开发,为 CAD 技术的发展做好了硬件的准备,这个时期美国麻省理工学院伺服实验室最先采用计算机研制了一台数控自动铣床的数控加工语言 (APT),开拓了 CAD 技术最先阶段。

2) 研制试验时期

进入 60 年代初,CAD 的创始人之一 Sufherland 研制出交互式图形系统 SKETCH-PAD,图形缩放、旋转、平移、分帧原理的软件已经出现,有关专家提出了 CAD 的概念之后,IBM 公司按照通用汽车公司研究实验室提出的技术规范,研制了图样硬拷贝,DAC-1 的硬件。贝尔电话实验室推出远地显示系统 Graphic1,该系统用于印制电路元件与接线的布局,电路或框图的方案设计,文本的编辑,是一种交互式布线软件,IBM 公司在 IBM-360 系列机上采用一种辅助混合式集成电路块设计系统。以上这些都是主要几家公司投入大量资金研制出只供本公司产品设计使用的试验性系统。

3) 技术商品化时期

70 年代小型计算机的出现,图形输入仪、磁盘等硬件和图形软件包,数据库系统等软件的发展,CAD 技术取得了重大突破,出现专门开发 CAD 系统的公司,如 Computer Vision、Intergraph、Calma、Applicon 等公司。推出了许多成套实用的商品化的 CAD 系统,许多种适应于中、小企业应用的系统,形成了一种应用服务的新兴 CAD/CAM 相结合的产业,把 CAD 技术转入商品化阶段,如美国通用汽车公司和波音公司应用 CAD/CAM 相结合技术取得了成果。成为工业设计部门不可缺少的工具和获得经济效益的热门技术。

4) 推广应用时期

80 年代初 CAD 开始全面打入市场,形成了 CAD 技术全面高速发展的局面。这个时期大型 CAD 系统更加完善,利用小型、微型机的 CAD 系统相继问世,应用更加广泛普遍,如 CV 公司的应用在中、小型机的 CAD 的系统移植到微型机上,打开微型机的应用领域,Auto detk 公司的 Auto CAD 在 IBM-PC/XT/AT 机上广泛应用,普及了应用 CAD 技术,成为设计、制造部门的重要工具,一切工业企业部门的基本组成部门,目前 CAD 技术正在蓬勃发展。

到目前为止,美国七家公司处于领先地位,即 CV、IBM、Intergraph、Calma、Applicon、MeAuto 和 Autotrol 公司。他们的产品销售额约占世界市场总销售额的 80% 以上。根据美国 DATA QUEST 公司的调查,美国 1985 年 CAD 应用普及的情况为:

机械	建筑	印刷电路板	印刷技术	CAM	电子设计自动化	集成电路	地图
63%	35%	27%	13%	36%	17%	17%	5%

按工作性质统计:

制 图	设 计	CAM	分 析
53%	30%	10%	7%

以上这些数字,大致看出美国 CAD 的应用水平在机械设计和计算机制图方面已相当普遍。

我国 CAD 技术的开发和应用是在 60 年代后期,主要是研制绘图仪,70 年代初开始研制图形显示器,在电子、机械、航空、造船等工业部门采用多种型号的绘图仪和图形显示器进行产品和工程设计,如 60 年代末我国就自行研制成船体放样、计算机控制切割机,70 年代

中期、后期广大工程技术人员克服困难,积极开展了 CAD 技术开发和应用工作,在基础技术方面,对交互式技术工程数据库,设计计算及优化设计等进行了研究和探讨,取得了一些可喜的成果,但是与国外差距还是很大。有不少单位引进国外的 CAD 系统,经消化吸收或直接应用于所需的领域。国内一些技术力量雄厚的单位也在组织力量开发自己的 CAD 系统。1985 年复旦大学电子工程系成功地开发了集成电路计算机辅助设计与验证系统。由于 CAD 技术对工业企业、研究单位等部门具有重要的应用价值,它的开发和应用将成为我国工程设计和产品设计的必不可少的工具。

§ 1.4 CAD 系统的基本组成

一、硬件的组成

通常 CAD 系统由硬件和软件所组成,CAD 系统的硬件组成如下图所示。

图中计算机的规模视 CAD 系统的规模而定。计算机机型选择如下:

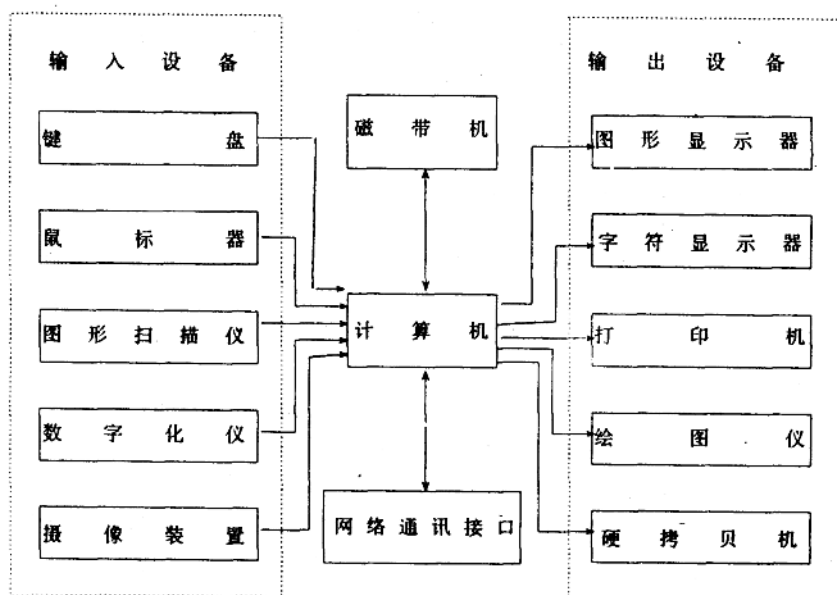


图 1-6 CAD系统硬件配置图

由微型机及超级微型机组成的微型机 CAD 系统,例如微型机可采用 IBM-PC/XT、AT、Apple II 及其兼容机、超级微型机有 IBM-PC/AT、Apollo 及 SUN 微机工作站等,均以 16 位或 32 位微处理器组成的超级微型机 CAD 系统。

由中、小型计算机组成的中、小型机 CAD 系统,例如 PDP-11 系列、VAX 系列机等。

由大型计算机组成的大型计算机 CAD 系统,如 IBM 系列的大型机等。

从 CAD 系统的硬件结构又可分为下列四种类型:

- 1) 集中式系统
- 2) 分布式处理系统
- 3) 多处理机系统
- 4) 独立工作站

图中输入设备通常采用键盘、数字化仪、鼠标器作为输入装置,随着外设的发展新型的外设输入装置也不断出现,有模式识别装置、摄像装置、电子写入器等。

输出设备通常有字符显示器、图形显示器、绘图仪、打印机(或激光打印机)、图形硬拷贝机等。图形显示器可采用中、高分辨彩色图形显示器。

为扩大外存容量,也可采用磁带机进行输入输出。作为微机工作站还应配置有局部网络通讯接口。

二、CAD 的软件

CAD 系统的软件从大的方面来分,有系统软件和应用软件两种。系统软件用来支持计算机及其软件的运行,一般是指操作系统,各种程序设计语言及编译程序等。UNIX 操作系统已在 CAD 中普遍使用。应用软件是专门为 CAD 编制的应用程序包。主要有图形软件,计算机辅助绘图、几何造型、有限元分析等软件。

从 CAD 系统的软件结构来分析应在操作系统 DOS 支持下包括数据库、交互式图形程序库及应用程序库三部分,其层次关系如图所示。

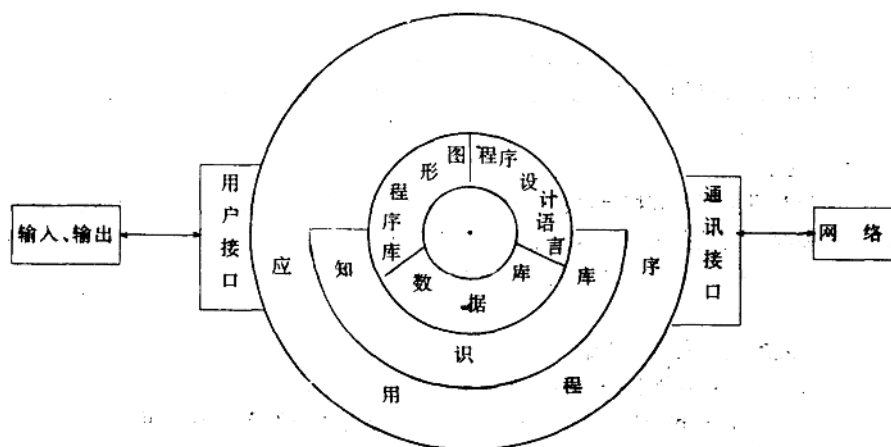


图 1-7 CAD 软件结构图

综合数据库:存有相应专业所需要的设计信息和管理信息。

交互式图形程序库:能以多功能进行图形信息处理和图形信息交换及人机对话的管理程序。

应用程序库:完成各种类型的工程或产品的设计、计算和数据处理的程序。

方法(知识)库:集中应用程序中一些相同的基本方法(或知识)和根据某些专业需要,按照专家知识建立的知识库,这种方法(知识)库具有按逻辑推理判断、决策等手段进行运行,是一种智能化的大型文件。

接口软件:对于 CAD 系统所配置的输入/输出外设,CAD 系统还应配有各种外设接口

驱动程序,可方便连接各种类型的外设。对于各个 CAD 系统,可联成局部网络,应有网络软件,以便共享资源,进行网络通讯。

三、 软件标准

对于 CAD 软件,衡量其好坏是用户选择机型时,考虑的一个重要因素,一个好的 CAD 软件应考虑如下几个方面:

1. 软件开发性好

对于用户的应用,特别是应用软件,它的开放性越好,透明度越高,对用户使用和修改条件就愈好。开放的软件应满足于有很好的用户接口,特别是与高级语言的接口,增强其自动编程的功能,并允许用户方便地进行二次开发和修改。Auto CAD 作图软件包就是开放性较好的一种 CAD 软件,它备有用户接口,可与高级语言(如 FORTRAN 语言)直接调用,用户使用起来很方便。

2. 软件功能丰富

在硬件支持下,软件功能要强,可以多窗口,多层次的图形或字符编辑处理工作,而且可以做到多作业进程同时处理,如 Appllo 机有可供 64 个作业同时处理的能力,CAD 软件不仅有画点、线、圆、剖面线、图块等基本功能,能平移、缩放,而且还应有旋转、消隐、立体造型等三维图形功能。

3. 软件实用性好

对于一个好的软件,应是易于掌握使用,编制简练,操作使用采用屏幕菜单方式,或交互式图形方式,具有人机对话的功能,也可采用图形描述语言或多种高级语言,数据转换率较高。

4. 软件适应性广

由于不同计算机类型各有特点,要能充分利用硬件的优势便于软件的开发和移植,能适应各种机型的需要。而且占用内存容量要较小,留给用户使用的内存容量就大,操作使用简便,如 Auto-trol 软件既可在 VAX 系列机上运行,又可方便移植到 Apollo 机,操作使用都十分方便。

四、 CAD 发展趋势及应用前景

CAD 是近二、三十年发展起来的一项新的设计技术,随着它的迅速发展,近年来工业发达国家已出现了一批开发和销售 CAD 系统的厂商,并推出适于不同领域应用的多种 CAD 系统,CAD 市场也发生了新的变化,CAD 的发展方兴未艾,正在持续向更高的高度发展。

1. CAD/CAM 转向微型机和超级微机

自 IBM 公司推出 IBM-PC/XT 及 AT 微型机系统以来,CAD 在 PC 微型机系统中应用越来越广泛,Auto CAD 就是一种功能很强的,在微机系统应用的 CAD 作图软件包。同时,大量与 PC 机接口的各种外设和数字化仪、图形输入板、打印机、绘图仪及大容量外部存储器的不断出现,使微机 CAD 系统更加完善。

另外 32 位超级微型机的发展,如 IBM-PC/AT,68020 32 位微机系统相继问世,使得单台机器的功能覆盖小型和中型机,多台 CPU 微处理机并行处理覆盖大型机和巨型机。预计今后计算机市场逐渐向微型机及超级微机发展。过去在大型机或中、小型机上运行一些重要软件包,也已向微型机和超级微机上移植,在微机上建立 CAD/CAM 系统。其功能在不断扩大,接近甚至超过了大型机的 CAD/CAM 系统。如 CV 公司把大中型机上的 CAD 软件移植