

控制系统计算机辅助工程

—CAE2000系统及其应用

韩璞 周黎辉 董泽 编著



73
2



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

控制系统计算机辅助工程

—CAE2000 系统及其应用

韩璞 周黎辉 董泽 编著

中国电力出版社

内 容 简 介

本书详细地介绍了控制系统计算机辅助工程的发展,并以作者所研制的软件“控制系统计算机辅助工程 CAE2000 系统”为基础,系统论述了计算机辅助工程应用的各个方面。全书共七章,分别介绍了 CAE2000 系统的硬件构成及其使用方法、系统的组态方法、系统仿真与辨识、数据采集与分析、控制系统参数优化方法、控制系统计算机辅助分析原理及方法、常用 CAD 算法及应用等。本书作为 CAE2000 系统的应用,举例给出了《自动控制原理》及《过程控制》课程的主要实验内容,并附有参考答案。

本书具有很强的实用性,可作为 CAE2000 系统的用户手册,也可作为从事自动控制类专业技术人员的参考书,还可作为自动化专业本科学生的实验指导教材。

图书在版编目(CIP)数据

控制系统计算机辅助工程:CAE2000 系统及其应用/韩璞等编著.-
北京:中国电力出版社,1999

ISBN 7-5083-0142-0

I.控… II.韩… III.计算机控制 IV.TP271

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 43819 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

实验小学印刷厂印刷

各地新华书店经售

1999 年 10 月第 1 版 1999 年 10 月北京第一次印刷
787 毫米×1092 毫米 16 开本 12.75 印张 283 千字
印数 0001-3500 册 定价 15.00 元

版 权 所 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

前 言

控制系统计算机辅助工程 (CAE) 的发展是在近 20 年的时间里, 伴随着当代一些新技术的发展而发展起来的一门综合性新技术。

控制系统计算机辅助工程来源于控制系统计算机辅助设计 (CAD)。由于近几年计算机辅助设计发展很快, 内容逐渐扩展, 已从辅助设计、辅助分析、辅助教学发展到工程中的实时应用, 所以人们称控制系统计算机辅助设计为控制系统计算机辅助工程。

针对上述情况, 我们开发了 CAE2000 系统。该系统集控制系统仿真、系统辨识、参数优化、数据采集与分析、控制系统辅助分析与设计、过程过程系统辅助教学于一体, 基于 Windows 95 平台, 使用图形组态及交互方式, 使得该系统功能强、应用范围广、易于学习和使用。开放式的软硬件结构, 使系统可以不断扩充。

本书就是以“控制系统计算机辅助工程 CAE2000 系统”为基础, 论述了计算机辅助工程应用的各个方面。

本书的第一章讲述了 CAE 的形成及发展过程, 并介绍了 CAE2000 系统的基本功能和特点。第二章介绍了 CAE2000 系统的硬件构成及其使用方法。第三章介绍了 CAE2000 系统软件的安装方法和工作原理。第四章介绍了控制系统的组态方法、仿真原理及方法。第五章介绍了系统辨识原理及方法。第六章介绍了数据采集系统的组态方法、数据采集与分析、控制系统参数优化方法。第七章介绍了控制系统计算机辅助分析原理及方法。第八章介绍了常用的几种 CAD 算法及应用。作为 CAE2000 系统应用的例子, 在第九章和第十章里, 给出了《自动控制原理》及《过程控制》课程的主要实验内容, 并附有参考答案。附录介绍了 CAE2000 的常用算法库。

本书具有很强的实用性, 可作为 CAE2000 系统的用户手册, 可作为从事自动控制类专业技术人员的参考书, 还可作为自动化专业本科学生的实验指导书。

CAE2000 系统由华北电力大学动力系韩璞、董泽、周黎辉、孙海蓉、王炳谦、彭仲平、雷光辉、陈建国、戴毅姜等人研制, 目前已在许多电力高等院校及中等专业学校、电力试验研究所、火力发电厂等单位推广应用。

本书由韩璞、周黎辉、董泽编著, 孙海蓉、彭仲平、王炳谦也参加了部分章节的撰写工作。

本书涉及的内容很多, 由于篇幅所限, 许多问题的叙述不够全面和深入, 加之作者水平有限, 书中的错误在所难免, 诚望读者不吝指正。

作者

1999 年 6 月 18 日

目 录

第一章 绪论	1
第一节 CAE 的形成和发展	1
第二节 CAE2000 系统的发展及其应用	3
第二章 CAE 2000 系统硬件的组成原理及使用	6
第一节 应用于生产现场的硬件系统	6
第二节 应用于实验室的硬件系统	12
第三章 CAE2000 系统的安装和工作原理	24
第一节 系统支撑环境及安装	24
第二节 CAE2000 的工作区	26
第三节 CAE2000 的工作原理	26
第四章 控制系统仿真	28
第一节 控制系统组态	28
第二节 控制系统的仿真运行	34
第三节 仿真应用实例	43
第五章 系统辨识	48
第一节 辨识系统的构成	48
第二节 辨识算法	50
第三节 辨识用参数的选择	53
第四节 辨识运行时的控制	54
第五节 验证模型	56
第六节 辨识应用实例	57
第六章 数据采集与分析处理	59
第一节 数据采集系统配置	59
第二节 数据采集运行	64
第三节 其他功能	71
第七章 控制系统计算机辅助分析	79
第一节 传递函数输入方法	79

第二节	时间响应曲线	81
第三节	闭环系统稳定性判断	83
第四节	根轨迹图	84
第五节	频率特性曲线	85
第六节	伯德图	86
第七节	非线性控制系统的分析	87
第八章	CSCAD 常用算法	92
第一节	多项式矩阵的基本运算	92
第二节	矩阵的奇异值分解	96
第三节	李雅普诺夫方程的求解	98
第四节	代数李卡蒂(Riccati)方程的求解	107
第五节	离散富立叶变换	111
第六节	计算矩阵的特征值和特征相量	116
第七节	控制系统的稳定性、能控性和能观性检验	120
第九章	自动控制原理实验	123
第一节	开环与闭环控制及其稳定性	123
第二节	系统稳定性的劳斯判据及 PI 控制器参数	126
第三节	根轨迹及其应用	130
第四节	频率特性分析	133
第五节	线性控制系统的校正	138
第六节	非线性系统分析	140
第七节	离散控制系统的设计与校正	143
第十章	热工自动控制系统实验	146
第一节	被控对象动态特性的测试	146
第二节	单回路调节系统的整定与调试	149
第三节	串级控制系统仿真	151
第四节	导前微分控制系统仿真	156
第五节	单级和串级三冲量给水控制系统仿真	158
第六节	协调控制系统仿真	161
附录	模块的分类说明	164
参考文献		

第一章 绪 论

控制系统计算机辅助工程的发展是在近 20 年的时间里伴随着当代一些新技术的发展,特别是控制技术、计算机技术、信息技术、人工智能以及系统工程等的发展而逐步发展起来的。

控制系统计算机辅助工程来源于控制系统计算机辅助设计(CAD)。由于近几年计算机辅助设计发展很快,内容也逐渐扩展,已从辅助设计、辅助教学发展到工程中的实时应用,所以人们也称控制系统计算机辅助设计为控制系统计算机辅助工程。

第一节 CAE 的形成和发展

自动控制技术作为一门学科出现在 40 年代。开始所采用的数学工具主要是传递函数和频率特性,而且主要针对单输入和单输出的系统。在 60 年代以前,控制系统的分析和设计主要依靠手工计算和一些图表的帮助,因而在经典控制理论中,人们引入了各种各样的图表和曲线,如波特(Bode)图、奈奎斯特(Nyquist)图、尼柯尔斯(Nichols)图以及 M 圆等。

到了 60 年代,计算机逐渐引入到工程设计领域,其中也包括自动控制系统的设计。开始,计算机主要用于控制系统问题的单个题目的数值计算,采用的是批处理作业方式,即将所要解决的问题和原始数据编成程序一起送入计算机,计算机对它进行计算,最后输出计算结果。而在整个计算过程中,无人—机对话的功能。这种方法的缺点是不能将计算机和工程技术人员两者的特长有机地结合起来。计算机具有很强的计算和数据处理能力,两者的结合将能对控制系统的设计发挥更大的效能。因此,计算机辅助设计(CAD)控制系统的程序逐渐由单个题目的数值计算发展成为会话式的通用程序,每个程序解决一个独立的问题。近 20 多年来,国内外陆续建立了不少的计算机控制系统辅助设计的软件包,它们已被广泛地应用于教学、科研以及工业生产部门。这些软件包将许多解决单个问题的通用程序及数据进行统一管理,并且应用交互式工作方式,从而使控制系统的计算机辅助设计变得更加简单和灵活。

控制系统计算机辅助设计(CSCAD)一方面起源于控制系统计算机仿真。所谓计算机仿真,就是应用性能相似原理构成数学模型在计算机上进行试验研究的一门综合性技术。通过仿真,用户可以直接得到系统的实域解及其性能指标。CSCAD 另一方面起源于古典频域法的推广应用。早期的许多 CSCAD 软件也仅仅是经典控制理论中波特图、奈奎斯特图、尼柯尔斯图等计算机上的实现。后来英国的 Rosenbrock 学派成功地将频域法推

广应用于线性多变量系统中，这才引起了国际同行的普遍重视。随后许多学者建立了自己的 CSCAD 软件系统，从此形成了 CSCAD 系统的规模和内容：

- (1) 管理程序。它对 CSCAD 系统的硬、软件资源进行管理。
- (2) 信号处理和系统辨识程序。对测试数据进行处理，并建立系统的数学模型。
- (3) 模型分析与变换程序。它对系统模型的基本性能（如稳定性、能控性以及能观性等）进行分析，并根据设计方法的要求，对模型进行变换。
- (4) 系统设计程序。根据提出的性能指标设计系统的控制器。由于要求不同，应该提供几种方法供使用者选择。常用的设计方法有经典的频域法、状态空间法和现代频域法等。
- (5) 系统仿真程序。它对系统的动态响应进行计算。由于该程序在判断设计的结果是否满足要求时需要多次使用，所以要求计算快速准确。
- (6) 输入/输出程序。实现数据、图像及指令的输入输出，实现人一机信息交换。

近年来，CSCAD 技术内容在逐渐扩展，应用范围逐步扩大，CSCAD 软件包已经产品化，CSCAD 软件包中的人—机交互水平有了长足的发展，特别是近几年 Windows 环境的出现，在 CSCAD 中引入了图形交互方式，使 CSCAD 系统能做到易于学习，易于使用，能快速有效地进行人一机交互，有利于发挥人、机特长，照顾到人的心理因素、生理因素，适应不同水平用户的需要。

近年来人工智能技术的发展，大大加强了 CSCAD 软件资源的能力。人工智能中的学习方法改进了 CSCAD 问题求解的策略；人工智能的感知技术改进了 CSCAD 的人—机信息交互功能；人工智能的知识表达方法改进了 CSCAD 的数据库的数据管理、存储和检索。从近年来将专家系统引入 CSCAD 的情况即可以看出，计算机在 CSCAD 系统中，不仅仅起着“普通计算助手”的作用，而且还可以发挥一种更加积极的“专家顾问”作用，可以在系统的整个设计和开发过程中，积极提出各种“专家建议”，并可为这种建议向用户进行必要的解释和补充。

近年来，在某些控制系统的实验室里，以及某些工业生产现场中，在过程控制的环境下，实时任务的特殊要求已经与 CSCAD 所能提供的方便条件结合了起来，使得 CSCAD 的实时应用得到了发展。例如在控制系统实验室里，为了研究某个受控过程的建模情况，就可以利用 CSCAD 软件进行系统辨识。实时数据既可以从实际受控过程，也可以从过程的仿真系统中直接送入计算机，观察对比在同样输入下，实际过程的响应与仿真模型的响应，以校验模型的准确情况。利用这种方法，还可以进行研究模型简化后的影响，以及模型简化的实验研究。

在生产过程现场的环境下，参数自寻优适应控制正是 CSCAD 技术实时应用的另一种具体体现。因为它可以在实时情况下，进行受控对象的在线辨识和控制规律的在线计算。

把 CSCAD 技术作为控制系统教学的一种辅助手段是 CSCAD 的另一种应用。计算机辅助教学（CAI）通常应包括多种不同的模式，如训练、实习、对话、测验、问题求解、仿真研究等，照顾到了学生的整个学习过程的一些主要方面。并且注意到了如何引导学生

去正确思维、正确推理等。但是,目前国内外的一些控制系统辅助教育软件往往与一般的辅助设计软件无论在结构上或内容选择上均差别不大,这也是目前人们正在解决的问题。

目前,计算机集成制造(CIM)技术正在机械制造业里兴起,CIM是将机械元器件的整个制造过程——概念形成、产品设计、制造模型、制造产品等融为一体,由计算机自动完成。计算机集成制造系统(CIMS)已为许多企业带来巨大的经济效益。虽然距离普遍使用计算机集成制造的目标还比较远,但是就现在的计算机集成制造水平,也使人们看到了它有着无限广阔的发展前景。目前,人们正把计算机集成制造概念引入控制领域,从系统建模、系统设计、系统调试、系统运行及管理由计算机统一完成。虽然这一技术在控制领域也仅仅是一种尝试,但它已把CSCAD技术向前推进了一大步。

综上所述,由于CSCAD技术内容的逐渐扩展,应用范围逐步扩大,现在也称该技术为控制系统计算机辅助工程(CSCAE)。

第二节 CAE2000 系统的发展及其应用

人们都知道,人与人之间交换信息可通过语言来实现。为了实现人与计算机之间交换信息,也要设法解决“语言”问题。最简单的“语言”是机器语言,它是用机器指令来实现的。机器语言是非常难学难用的,所以人们又创造了“算法语言”。算法语言是面向科学计算的语言,它的形式比较接近与人们习惯用的语言和数学语言,它很容易被一般人员掌握和使用。即使使用高级算法语言,编制CSCAE软件,也是件非常困难的事,所以,近30年来,出现了许多CSCAE方面的优秀计算机应用软件,即程序包。程序包的优点是用户不需要编制程序,特别是人一机交互技术做得好时,不懂计算机的人也可方便地进行CSCAE方面的工作。但是,程序包有一个最大的缺点——应用范围的局限性。在设计程序包时,程序的框架是固定的,程序所能解决的问题也是固定的,不利于使用者自己的发挥。

仿真语言可以弥补仿真程序包的这种缺陷。近几十年来,已经出现了数百种仿真语言,广泛流行使用的也有数十种。在早期的工作中,CSCAE主要集中在软件包的编写上,但近几年,也像仿真语言一样,涌现出了许多CSCAE语言,MATLAB语言就是最典型、最普及也是最受欢迎的一种。

MATLAB语言是1980年美国学者Cleve Moler等人推出的交互式语言。由于该软件的使用极其容易,且提供了丰富的矩阵处理功能,所以控制理论领域的研究人员很快就注意到了这样的特点,并在它的基础上开发了控制理论与CAD专门的应用程序集(又称为工具箱),使之很快地在国际控制界流行起来。

由于MATLAB在控制界产生了巨大的吸引力,所以有很多软件设计人员仿照MATLAB的思想设计出了一些其他的CSCAE软件与环境。MATLAB和其他交互式语言的出现标志着计算机辅助设计技术进入了一个崭新的阶段。

无论语言怎样简单,使用怎样方便,要想解决实际问题,也存在一个学习编程问题。应用工具箱避免了用户编制程序,但这已是程序包的范畴了。所以,现在的应用软件,在一定程度上,已很难分清谁是程序包,谁是语言了。

值得注意的是,在某一特定领域,解决一些特定问题,软件包有它特殊的价值。

CAE (Computer Aided Engineering) 2000 系统是笔者十几年来逐步发展起来的一种控制系统辅助工程软件。它的前身是笔者早期研制的仿真软件 ASSPP-B1、SSSA、MI-RTS、CTES-1。这些软件的主要功能是系统的实时及非实时仿真,后来又加入了数据采集及系统参数辨识功能。它们的应用环境是 DOS 系统。这些软件的突出特点是使用方便、灵活,在教学、科研及工程中都得到了普遍应用。近三年来,我们着手研制了 CAE2000 系统,它借助了原来几个程序的优点,在 Windows 95 平台下实现了控制系统计算机辅助工程的各种功能。由于时间紧迫,许多功能还不尽完善,有待于进一步提高。

CAE2000 与其他流行的软件相比,其最大的一个优点是,它与外部设备紧密结合,可以完成工程中的许多实时应用。

CAE2000 系统的具体功能如下。

1. 数据采集与分析处理

CAE2000 可同时完成多路不同信号制式过程变量的采集与监视,其监视方式可以选用实时数据、实时直方图、实时趋势曲线等多种方式。

它可同时显示多条历史趋势曲线或数据,历史趋势曲线时间长度不受限制,可显示、打印任意时段的趋势曲线或数据。

提供多种辨识算法辨识系统模型。也可利用简单的飞升曲线法拟合热工对象的数学模型。

求出对象数学模型后,可用参数寻优功能,为单回路、串级和导前微分控制系统提供最优的调节器参数,并给出动态过渡过程调节品质。

2. 控制系统仿真

CAE2000 提供了一个强有力的仿真环境,可对线性及非线性控制系统进行非实时及实时仿真。非实时仿真一般用以研究控制系统特性,寻找控制系统的最佳结构及参数等目的。实时仿真时,可以在仿真系统里接入实际控制仪表或模拟计算机,用以研究新型控制装置特性,培训实际生产中的工程技术人员。

CAE2000 提供了非常直观、快捷的图形组态功能,包含有 60 种图形化、组件式的控制系统功能模块,通过鼠标在屏幕上拖动模块即可组成任意控制系统。

在线修改模块参数功能可使使用者很容易地对时变系统进行研究,亦可优化控制系统参数。

3. 智能控制算法研究

随着控制技术及计算机技术的发展,许多新型的控制仪表不断出现并用于自动控制系统中。近几年自适应控制、模糊控制、鲁棒控制及神经网络控制等新型控制算法已成功地应用于生产现场中。由于其算法的复杂性,许多工程技术人员并不了解算法内涵,而且这

些算法并不象 PID 控制算法那样成熟。因此,有许多理论及应用问题还需进一步研究。

CAE2000 提供了模糊控制、自适应控制、神经网络控制、鲁棒控制等多种较成熟的控制算法模块,与常规算法模块配合,可构成各种现代控制系统,完成对这些控制器和控制系统的研究。

4. 控制系统计算机辅助分析

控制系统的发展是分三个阶段进行的。首先是以经典控制理论为基础,以自动控制器为核心的自动控制系统阶段。在这一阶段,研究的主要对象是单输入单输出的线性自动控制系统。系统的数学模型用传递函数表示;用于分析和设计自动控制系统的方法是频域法;涉及的理论基础是以反馈控制为中心的经典控制理论;研究的主要内容是稳定性问题。第二个阶段是以现代控制理论为基础,以控制计算机为核心的最优控制系统阶段。在这一阶段,研究的主要对象是多输入多输出的复杂系统。系统的数学模型用状态方程表示;用于分析和设计系统的方法是时域法;涉及的理论基础是现代控制理论;研究的主要内容是最优性问题。第三个阶段是以控制论、信息论、仿生学为基础,以智力机为核心的智能控制系统阶段。在这一阶段中,除研究控制算法外,更着重研究的是人工智能问题。

综上所述,随着控制系统的发展,其分析方法也发生了很大的变化,特别是现代的一些控制算法,手工计算已无法对其进行分析,必须借助计算机才行,所以计算机辅助分析方法变得非常重要。

CAE2000 系统提供了一些经典控制理论分析算法及一些控制系统 CAD 的常用算法。包括根轨迹图、伯德图、奈魁斯特图、相平面图、稳定性判据、多项式矩阵的基本运算、矩阵的奇异值分解、李雅普诺夫方程的求解、李卡蒂方程的求解、快速傅立叶变换、能控性与能观性分析、状态观测器设计等。

第二章 CAE 2000系统硬件的 组成原理及使用

CAE2000 系统硬件部分的功能是将生产现场或实验室硬设备送来的各种测量信号经信号转换器及模/数转换器进行信号处理、隔离、A/D 转换、量程变换后送给计算机，把计算机内部的数据经数/模转换器及信号转换器进行量程变换、D/A 转换、信号处理后送给生产现场或实验室硬设备。

CAE2000 系统的硬件有两种，一种应用于生产现场，另一种应用于实验室。下面将分别介绍这两种硬件系统。

第一节 应用于生产现场的硬件系统

一、硬件系统结构及技术指标

应用于生产现场的硬件系统结构图如图 2-1 所示。

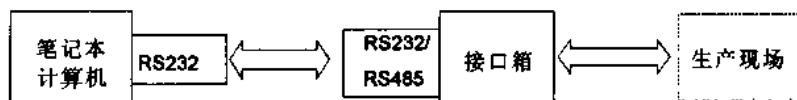


图2-1 硬件系统结构图

下面讲述各部分的主要技术指标。

1、笔记本电脑

最低配置如下：

CPU P2/233

RAM 32MB

软盘驱动器 3.5"

硬盘 3GB

CRT 31cm

打印机 无型号限制

2、接口箱

(1) 模拟量输入通道：

- 1) 输入通道数。24 路，路路隔离。
- 2) 隔离电压：500V (DC)。

3) 输入量程:

1—8 路: $0\sim150\text{mV}$, $0\sim500\text{mV}$, $0\sim1\text{V}$, $0\sim10\text{V}$, $1\sim5\text{V}$ 。

注: 当输入信号为电流时, 在输入端接入 125Ω 电阻即可。

9—16 路: $0\sim150\text{mV}$, $0\sim500\text{mV}$, $0\sim1\text{V}$, $0\sim10\text{V}$, $1\sim5\text{V}$, $4\sim20\text{mA}$ 。

注: 由软件及接口箱上的 U/I 开关设置电流或电压, 而且该 8 路必须同时是电压或电流。

17—20 路: 各种型号的热电阻信号 R_t/P_t 。

21—24 路: 各种型号的热电偶信号 E_t 。

采样速率: 10次/s 。

精度: $\pm 0.1\%$ 或更高。

(2) 模拟量输出通道:

输出通道数: 4 路, 全隔离 D/A 转换, 隔离电压 500V (DC) 。

输出量程: $0\sim10\text{V}$, $4\sim20\text{mA}$ 。

注: 由软件及接线端子选择电流或电压。

精度: 电流输出时 $\pm 0.1\%$, 电压输出时 $\pm 0.2\%$ 。

电流负载电阻: $0\sim500\Omega$ 。

(3) 测试信号源:

输出量程: $0\sim500\text{mV}$, $0\sim10\text{V}$, $0\sim20\text{mA}$ 。

二、接口箱原理说明

接口箱内部结构方框图如图 2-2 所示。

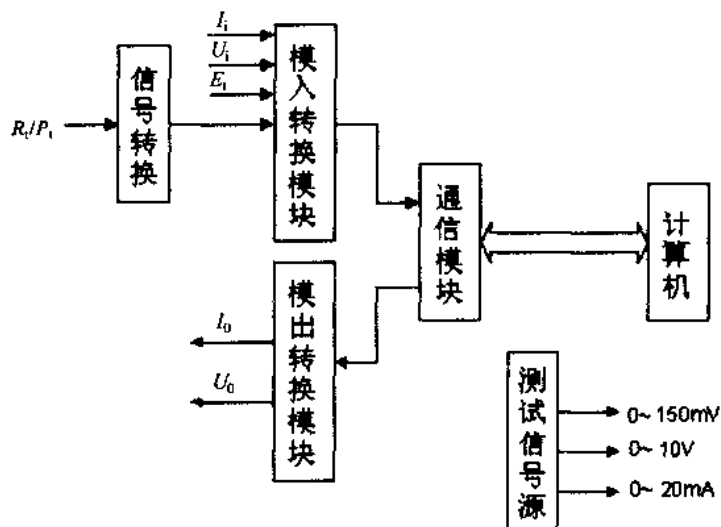


图2-2 接口箱内部结构方框图

1、信号转换电路

该电路的作用是将各种热电阻的电阻变化信号转换成标准信号送给模入转换模块。

其原理图如图2-3所示。

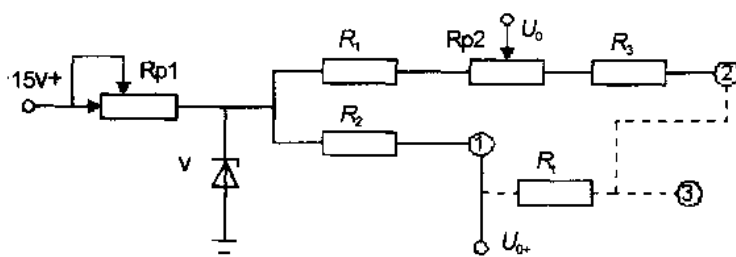


图2-3 信号转换电路原理图

信号转换电路是一个典型的直流电桥，输出毫伏与热电阻的变化值成正比。电桥桥臂电流为 0.5mA。上桥臂电阻 R_1 、 R_2 远远大于下桥臂电阻，所以当热电阻 R_t 在一定范围内变化时，认为桥臂电流基本不变，从而保持桥路输出毫伏与热电阻的变化值成正比。

该桥路是一通用电桥，输入可接不同类型热电阻 (R_t 、 P_t)，由于不同型号的热电阻零度时阻值不同，调整 R_{p2} (调零电位器) 使温度为零时桥路输出为零。输出量程由 R_{p1} 来调整。为保证桥路输出稳定，桥路电源采用两级稳压，由 R_{p1} 、 V 将 15V 电压稳压成 6V。

热电阻 R_t 采用三线制方式接入桥路，由于其中两线分别接入电桥的两个桥臂，所以当环境温度变化时， R_t 连线电阻发生相应变化，它们的影响相互抵消，从而起到了温度补偿作用。

2、测试信号源电路

测试信号源电路提供 0~10V、0~20mA、0~150mV 标准信号输出，作为试验和调机用信号源，其原理图如图 2-4 所示。

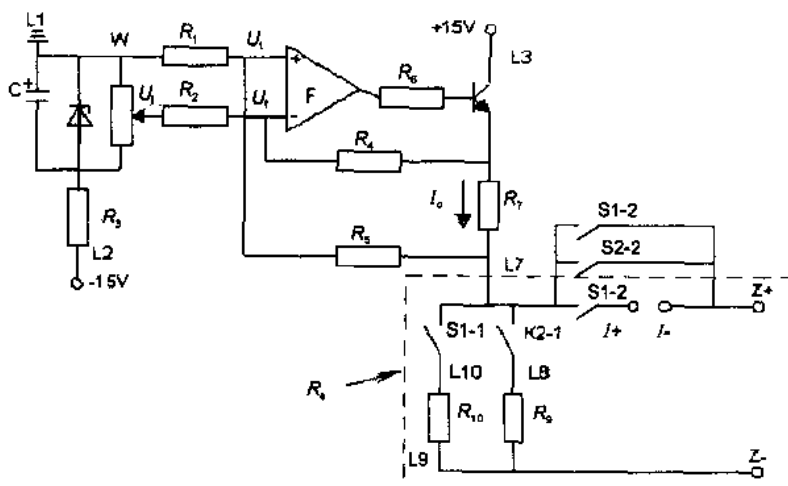


图2-4 测试信号源电路原理图

从图中可看出，信号源电路主要由放大器 F、功率放大级等部分组成， R_e 为等效负载

电阻。下面以电流输出来分析其工作原理。

$$U_f = \frac{U_i(R_4 + R_7 + R_e)}{R_2 + R_4 + R_7 + R_e} + I_0(R_7 + R_e) \frac{R_2}{R_2 + R_4} \quad (2-1)$$

由于 $R_1=R_2=R_4=R_5 \gg R_7$ 和 R_e , 所以

$$U_f \approx \frac{U_i R_4}{R_2 + R_4} + I_0(R_7 + R_e) \frac{R_2}{R_2 + R_4} \quad (2-2)$$

$$U_i = \frac{I_0 R_1}{R_1 + R_5} R_1 \quad (2-3)$$

因放大器放大倍数很大, 则 $U_f = U_i$, 由此得到

$$\frac{U_i R_4}{R_2 + R_4} + I_0(R_7 + R_1) \frac{R_2}{R_2 + R_4} = \frac{I_0 R_1}{R_1 + R_5} R_1 \quad (2-4)$$

$$U_i R_4 = I_0 R_1 (R_1 - R_7 - R_1)$$

$$\text{所以} \quad I_0 = -U_i / R_7 \quad (2-5)$$

从以上的分析可看出输出电流与负载电阻无关, 仅与可调电源 U_i 和恒定电阻 R_7 有关, 取 R_7 为 180Ω , U_i 在 $0 \sim 3.6V$ 范围内变化, I_0 则为 $0 \sim 20mA$ 。

想得到不同等级的电压输出, 通过琴键开关 S1、S2 切换, 分别接入 R9、R10, 得到 $0 \sim 150mV$ 或 $1 \sim 10V$ 电压输出。

3、模入转换模块

本系统采用台湾威达公司生产的 I-7017 模块三块。I-7017 为 16 位 8 通道模拟量输入模块, 它对所有通道提供可编程的输入范围。本模块对工业测量和监视应用是极为廉价实用的设备。其光偶隔离输入在模拟量输入和模块之间提供 $500V(DC)$ 的隔离, 保护模块避免由于电源输入高电压的损坏。

I-7017 提供信号调理、A/D 转换, 量程整定和 RS-485 数字通信功能。通过提供 A/D 输入光隔离和变压器隔离, 隔离电压达 $500V(DC)$, 可保护设备免受地回路干扰和电源浪涌的损坏。

I-7017 采用 16 位微处理器控制的 $\Sigma-\Delta$ (Sigma-delta) A/D 转换器将传感器电压或电流转换成数字量数据, 然后将数字量数据变换成工程单位。当主计算机需要时, 模块通过标准 RS-485 接口将该数据送到主计算机。I-7017 功能框图如图 2-5 所示。

4、模出转换模块

模出转换器选用的是威达公司的 I-7024 模块一块, 其功能框图如图 2-6 所示。

该模块从主计算机通过 RS-485 接口接收其数字量输入。数据格式可以是工程单位或者是十六进制表示的二进制补码, 或者是满量程的百分数, 根据模块的配置而定。之后, 其微处理器控制的 D/A 转换器将数字量转换成模拟量输出信号。

从指定监视输出的 ADC 单元可以得到真正的模拟量输出信号的回读值。通过配置软件可以规定转换率和设定电流。模拟量输出模块可以在规定的电压或电流范围内输出单通道模拟量。

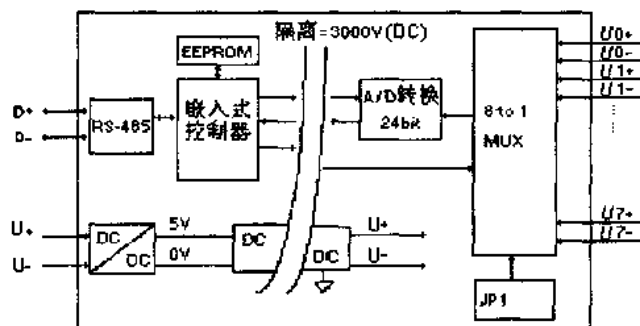


图 2-5 ADAM-7017 功能框图

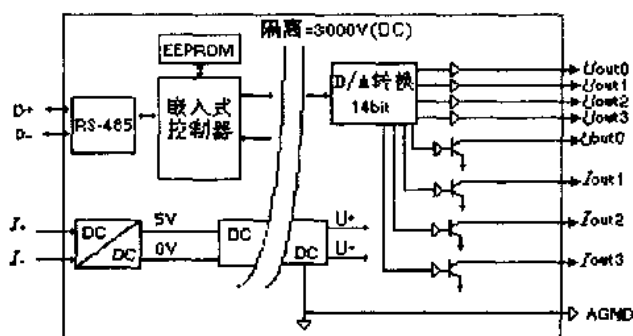


图2-6 I-7024功能框图

D/A 输出采用光电隔离, 隔离电压达 500V(DC), 可防止地线电流干扰和电源浪涌来保护设备。

5. 通信模块

通信模块采用的是威达公司的 I-7520 模块, 其功能是将主机的 RS-232 转换成 RS-485。转换器采用光电隔离和变压器隔离, 防止主计算机静电或连线出错。波特率在 1200 和 38400bps 之间变化。

RS-485 协议是特别为满足工业要求而设计的 EIA 标准, 即通信距离长, 具有较佳的传送速率, 连线少, 握手容易。RS-485 采用一对有补偿的双绞线。在工业环境中屏蔽双绞线有较好的噪声抑制比。I-7520 模块的功能框图如图 2-7 所示。

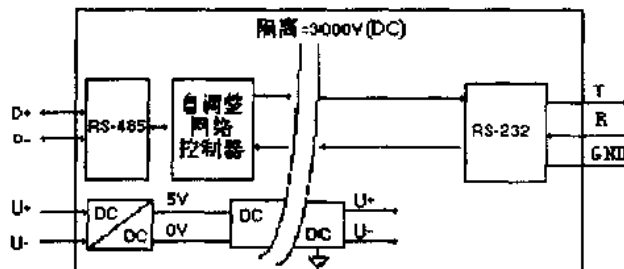


图2-7 I-7520模块的功能框图

三、面板接线与调试说明

接口箱面板如图 2-8 所示。

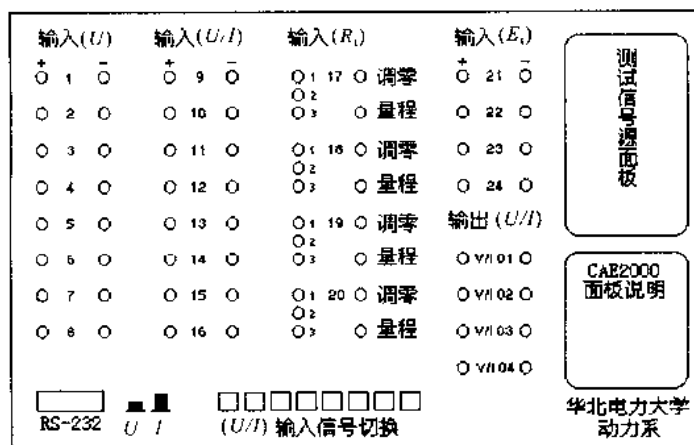


图2-8 接口箱面板图

1、输入信号接线

面板上可接 24 路输入，分别接入三个 I-7017 模块。1—8 路接入第一个模块，9—16 路接入第二个模块，17—24 路接入第三个模块。由于模块的零点和量程是以块为单位调整，不是以路为单位调整，所以每个模块输入只能是同一量程。在使用中 1—8 路固定接电压输入（要想接电流信号，必须外接 125Ω 电阻），9—16 路可接电压也可接电流，由琴键开关切换，电流输入时输入端已接入 125Ω 精密电阻，应注意的是 8 路必须是同类同级信号。17—20 路接热电阻输入，用三线制方式接入。由于不同类型热电阻的零度阻值和变化率不同，所以每路设有调零和调量程电位器。输入最大值在 150mV 以内。21—24 路接热电偶输入。由于热电阻桥输出和热电偶输入均为毫伏信号，所以第三模块输入量程只能是 0~150mV 档，其热电阻与热电偶的非线性问题与量程问题由系统软件来处理。

2、输出信号连接

本装置有 0~10V 和 4~20mA 两种信号输出，由输出插孔输出，由一块 I-7024 模块提供，模块可以分别输出电流或电压信号，但不能同时输出两种信号，由计算机控制。

3、通信信号连接

计算机与转换模块的连接用 I-7520 通信模块完成，采用标准 9 针插头（座），一头接计算机通信口（COM1），另一头接面板上 9 针插座。

4、测试信号源

测试信号由琴键开关（V、mV、mA）来切换，可输出 0~10V，0~150mV，0~20mA 三种信号，I₊、I₋、U₊、U₋ 孔用来接电流表或电压表，应注意的是输出电流时 I₊、I₋ 必须接电流表，否则输出开路无电流输出。“测验信号输出”为话筒插孔，将插头插入插孔，由红黑两夹子分别输出信号正、负极。“测验信号调节”为一指针式多圈电位器，调节稳定，