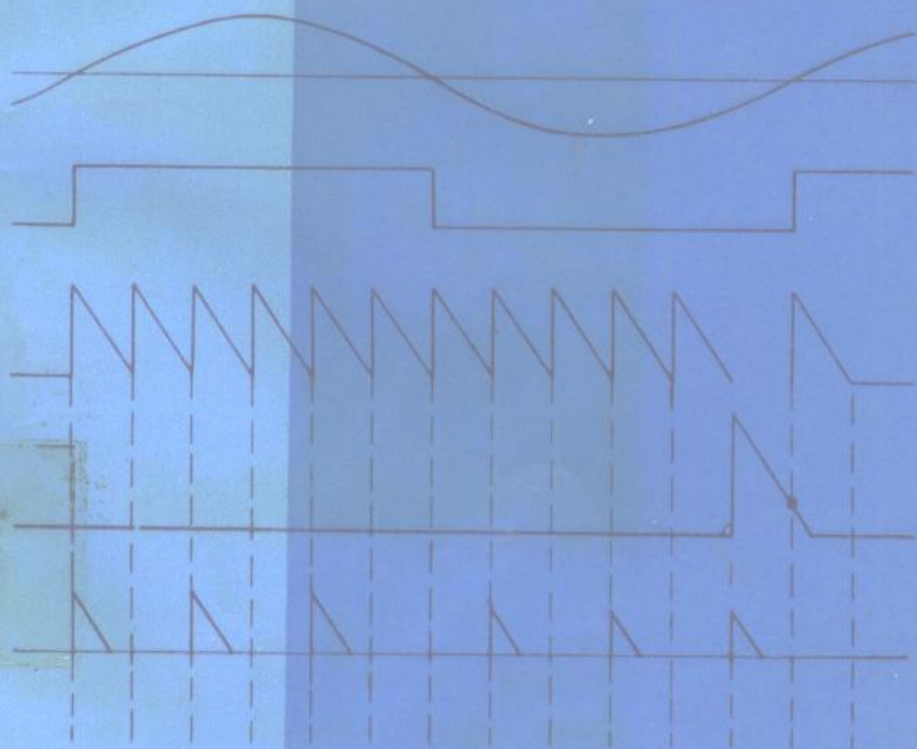


# 电力电子装置的 微型计算机化 设计

梁汉滨 钟彦儒 编著



机械工业出版社

# 电力电子装置的 微型计算机化设计

梁汉滨 钟彦儒 编著



机械工业出版社

本书从应用角度出发,用软、硬件相结合、系统和部件相结合的方法,介绍了电力电子装置的微型计算机化设计,包括检测电路、触发电路的微型机化设计、采用微型机对晶闸管电路故障进行检测与处理、各种应用程序的设计等。最后还详细介绍了应用实例,以开拓读者视野。各章中均附有详细的各部件实例介绍和程序清单,具有理论联系实际而又着重实用的特点。

本书可供从事电力电子装置研制、设计、生产的工程技术人员参考,也可作为大专院校“应用电子技术”及“工业电气自动化”等专业的教学参考书。

## 电力电子装置的微型计算机化设计

梁汉滨、钟彦儒 编著

责任编辑:严森琪 版式设计:胡金珍

封面设计:郭景云 责任校对:申建丽

责任印制:张俊民

机械工业出版社出版 (北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

中国农业机械出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本  $787 \times 1092^{1/32}$  · 印张  $10^{1/2}$  · 字数 230 千字

1990年4月北京第一版·1990年4月北京第一次印刷

印数 0,001—2,740 · 定价: 7.75 元

ISBN 7-111-01740-4/TM·221

## 前 言

随着微型计算机性能的提高和控制技术的发展,使传统的电力电子装置发生了很大变化,采用微型计算机控制的系统正逐步成为电力电子装置自动控制系统中的主要部分。编写本书的目的主要是介绍微型计算机在电力电子装置中应用时的设计原理和具体方法。

全书以作者多年来的科研成果和实践经验为基础,并参阅、整理了部分国内外文献资料编写而成的。选材时注意了先进性、系统性和实用性。考虑到国内应用微型计算机实时控制的现状,本书所涉及的主要机型为8位微型机Z80。

本书由梁汉滨同志编写1、2、5、6章,钟彦儒同志编写3、4章,并由梁汉滨同志统稿。

西安交通大学葛文运副教授对全稿进行了详细的审阅,并提出了许多宝贵意见。在编写过程中,还得到苏文成、张永生两位教授的关心和指导,李守智同志也对初稿提出了不少意见,为此,谨致以衷心的感谢。

由于作者水平有限,书中难免还存在一些缺点和错误,殷切希望广大读者批评指正。

作者

# 目 录

## 前言

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| 第一章 概述 .....                    | 1  |
| 第一节 电力电子装置中应用微型计算机的概况 .....     | 1  |
| 一、电力电子装置采用微型计算机进行控制的优越性 .....   | 1  |
| 二、电力电子装置控制系统中的微型计算机 .....       | 4  |
| 三、今后研究动向 .....                  | 6  |
| 第二节 微型计算机控制在电力电子装置中的具体应用 .....  | 8  |
| 一、在工业传动系统中的应用 .....             | 8  |
| 二、在大功率晶闸管交流设备中的应用 .....         | 20 |
| 三、在电力电子装置的故障诊断和保护中的应用 .....     | 22 |
| 四、在频率分析装置中的应用 .....             | 25 |
| 第二章 微型计算机控制系统中的检测电路 .....       | 27 |
| 第一节 A/D转换电路 .....               | 27 |
| 一、A/D转换电路的主要性能指标 .....          | 28 |
| 二、A/D转换集成芯片的使用 .....            | 30 |
| 三、A/D转换集成芯片应用实例 .....           | 34 |
| 四、采用电压频率变换器(VFC)构成A/D转换电路 ..... | 43 |
| 五、利用计算机软件配合D/A转换芯片实现A/D转换 ..... | 53 |
| 第二节 电流和电压信号的检测与隔离 .....         | 64 |
| 一、常用的电流和电压信号的检测与隔离方法 .....      | 64 |
| 二、采用光耦合器隔离和传输直流信号 .....         | 65 |
| 三、交流信号的检测及其采样方式 .....           | 76 |
| 第三节 转速的检测 .....                 | 78 |
| 一、M法 .....                      | 79 |

|                                        |            |
|----------------------------------------|------------|
| 二、T法 .....                             | 84         |
| 三、M/T法 .....                           | 90         |
| <b>第三章 相控整流器触发电路的微型计算机化设计 .....</b>    | <b>95</b>  |
| 第一节 $\mu$ P触发器的基本概念 .....              | 95         |
| 一、 $\mu$ P触发器的基本结构 .....               | 95         |
| 二、 $\mu$ P触发器的性能指标 .....               | 97         |
| 三、从同步方式对 $\mu$ P触发器进行分类 .....          | 99         |
| 四、从触发脉冲的定位方式对 $\mu$ P触发器进行分类 .....     | 103        |
| 第二节 $\mu$ P触发器同步电路的设计 .....            | 107        |
| 一、6 同步脉冲的绝对式触发原理 .....                 | 107        |
| 二、多相同步方式的设计方法 .....                    | 109        |
| 三、采用锁相环单相同步方式的设计方法 .....               | 117        |
| 第三节 数字锯齿波移相电路的设计 .....                 | 123        |
| 一、概述 .....                             | 123        |
| 二、采用Z80-CTC的设计方法 .....                 | 123        |
| 三、多个数字锯齿波移相的方案与Z80-CTC的串联使用 .....      | 129        |
| 第四节 触发脉冲的形成与功率放大电路(功放电路)的设计 .....      | 139        |
| 一、用查表方式形成触发字 .....                     | 139        |
| 二、触发脉冲展宽电路 .....                       | 143        |
| 三、触发脉冲功放电路 .....                       | 150        |
| 第五节 数字锁相环频率自适应触发器设计举例 .....            | 154        |
| 一、数字锁相环(DPLL)原理 .....                  | 154        |
| 二、用Z80系列集成电路构成的DPLL .....              | 166        |
| <b>第四章 微型计算机用于电力电子装置的故障检测及处理 .....</b> | <b>177</b> |
| 第一节 微型机控制的电力电子装置的过流、过压保护 .....         | 177        |

|                                   |     |
|-----------------------------------|-----|
| 一、采用电流、电压检测信号的逻辑电平来实现快速保护 .....   | 177 |
| 二、采用A/D转换芯片读取被保护值来实现各种不同的保护 ..... | 179 |
| 第二节 晶闸管等功率元件故障诊断技术 .....          | 183 |
| 一、晶闸管的失效分析 .....                  | 183 |
| 二、故障诊断器的技术模型 .....                | 184 |
| 三、采用微型机进行晶闸管故障诊断方法之一——波形分析法 ..... | 186 |
| 四、采用微型机进行晶闸管故障诊断方法之二——状态分析法 ..... | 193 |
| 五、微型计算机组成的巡回检测系统 .....            | 201 |
| 第三节 微型计算机控制系统的自检和抗干扰设计 .....      | 215 |
| 一、微型机的自检 .....                    | 216 |
| 二、如何在用户程序中安排自检程序 .....            | 221 |
| 三、采用软件陷阱进行抗干扰设计 .....             | 226 |
| 第五章 应用程序设计 .....                  | 231 |
| 第一节 算术运算子程序 .....                 | 231 |
| 一、多字节加法运算子程序ADDW .....            | 231 |
| 二、多字节减法运算子程序SUBW .....            | 232 |
| 三、二进制乘法运算子程序 .....                | 233 |
| 四、二进制除法运算子程序DIV .....             | 237 |
| 第二节 二进制码与BCD码间转换程序 .....          | 239 |
| 一、BCD码转换为二进制码程序TRANS .....        | 239 |
| 二、二进制码转换为BCD码程序BIBCD .....        | 241 |
| 第三节 BCD码乘除法程序 .....               | 244 |
| 一、多字节BCD码乘法程序BMULT .....          | 244 |
| 二、多字节BCD码除法程序DIBCD1 .....         | 247 |
| 第四节 延时程序 .....                    | 254 |

|                                     |     |
|-------------------------------------|-----|
| 一、1~256ms软件延时程序MTIME1 .....         | 254 |
| 二、1~256msCTC中断延时程序MTIME2 .....      | 254 |
| 三、1~256sCTC中断延时程序MTIME3 .....       | 256 |
| 四、程序执行时间测定程序 .....                  | 260 |
| 第五节 判断程序 .....                      | 262 |
| 一、算术判断程序COMPXY .....                | 262 |
| 二、越限判断及报警处理程序TESTST .....           | 264 |
| 三、多路转换开关状态判断程序CHKSW .....           | 267 |
| 第六节 比例积分微分(PID)调节数字化程序 .....        | 270 |
| 一、PID调节数字化的实现 .....                 | 270 |
| 二、PID调节数字化程序实例 .....                | 273 |
| 第七节 数字滤波程序 .....                    | 279 |
| 一、常用数字滤波法 .....                     | 279 |
| 二、算术平均值法程序DAPR0 .....               | 282 |
| 三、中值滤波法程序MEAN .....                 | 283 |
| 四、一阶延迟滤波法程序FILTER .....             | 285 |
| 第八节 显示程序 .....                      | 288 |
| <b>第六章 微型计算机在电力电子装置中的应用实例</b> ..... | 292 |
| 第一节 微型计算机控制系统设计步骤 .....             | 292 |
| 第二节 微型计算机控制无功功率静止补偿装置模型 .....       | 296 |
| 一、相控型静补装置的工作原理 .....                | 296 |
| 二、微型机控制相控型静补装置模型 .....              | 299 |
| 参考文献 .....                          | 325 |

# 第一章 概 述

## 第一节 电力电子装置中应用微型计算机的概况

近年来,电力电子技术进展迅速,日益成为电力变换、过程控制所必需的技术。随着其重要性的不断提高,对电力电子装置的控制、保护和监视的要求也越来越高。

由于微型计算机(下面简称微型机)具有较强的运算和逻辑判断能力,且价格日趋低廉,因而它为电力电子装置提供了更为灵活、经济和高性能的控制手段。70年代后期,美国、苏联、日本及联邦德国等国家已开始将微型机用于电力电子装置中,当时是把它作为控制器首先应用于晶闸管供电的传动控制系统中。目前在这些国家中,几乎所有最新研制的电力电子产品,都采用了微型机对其进行部分或全部的控制。

### 一、电力电子装置采用微型计算机进行控制的优越性

电力电子装置的控制系統通常可以分为模拟量控制和数字量控制两种,图1-1示出模拟量控制的电力电子装置框图。图中主电路为电力变换电路,电功率由晶闸管变换后供给控制对象,控制系统主要由调节器、触发器、检测电路和各种保护环节组成。这种控制方式目前我国应用较普遍,也是为大家所熟知的。但这类系统在运行中还存 在 一些 问题,例如,由于控制系统各环节由大量的晶体管、线性集成电路等元件组成,故装置的经济性和运行可靠性往往受到一定的影

响；模拟量元件在使用中易受外界环境的影响，从而使系统的运行特性也随之发生变化。另外，采用模拟量控制也不易实现高精度控制。

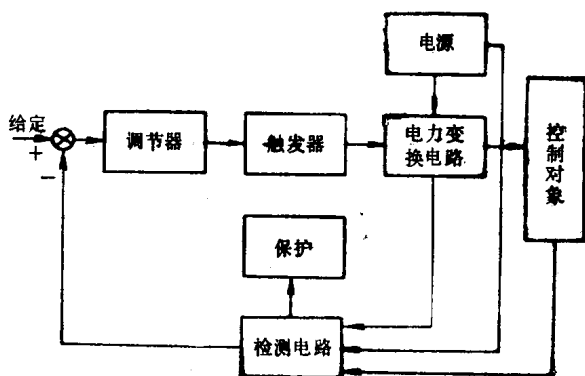


图1-1 模拟量控制的电力电子装置框图

随着微型机功能的不断提高和控制技术的发展，在电力电子装置中出现了另一种控制形式：以微型机为核心的全数字化控制系统。从基本结构来看，它的组成和模拟量控制系统相似，但是系统中采用微型机来完成原来由模拟电路所担负的各种控制功能。图1-2示出电力电子装置微型机控制系统的基本结构图。

在图1-2所示的系统中，采用微型机取代了原模拟系统中各控制环节，微型机可实现如下功能：

- (1) 产生电功率变换电路的触发脉冲；
- (2) 电流、电压和转速等参量的反馈控制运算；
- (3) 对电源、风机、给定信号及其它辅助设备按照一定的顺序进行程序控制；
- (4) 对系统过载、过压、触发脉冲丢失和设备事故等

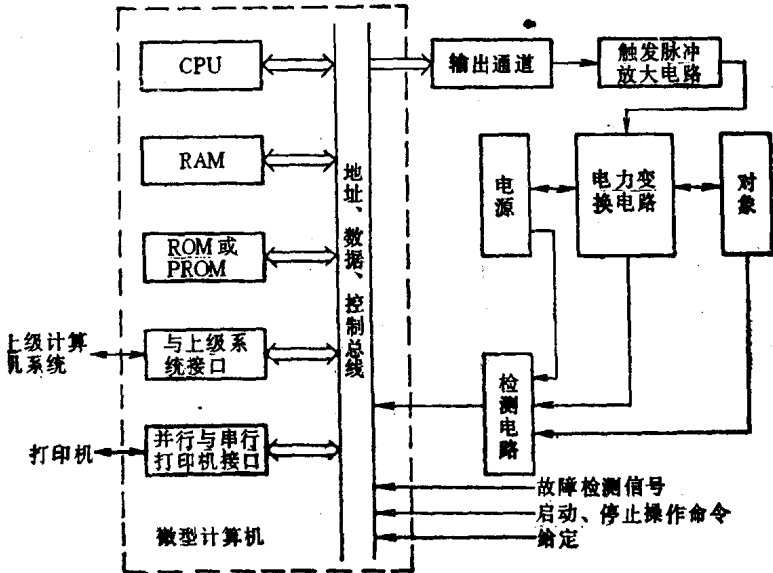


图1-2 电力电子装置微型机控制系统基本结构图

故障进行保护，并可对故障和其它停机原因实现在线和离线诊断。

电力电子装置采用微型机控制后，与传统的模拟量控制方式比较，具有许多优点：

(1) 微型机的采用，使控制系统实现数字化。由于该数字系统的精度与微型机的字长位数成正比，故只要适当地增加字长位数，就有可能方便地提高系统的控制精度。另外，数字控制不易受温度、电源电压及时间变化等因素的影响，使系统具有较稳定的静特性。

(2) 系统的通用性强、灵活性大以及功能易于扩展和修改。在微型机系统中，控制功能是由软件来实现的，只要

改变软件内容,就能方便地适应不同的要求,实现灵活的多功能控制。

(3) 微型机控制系统可以与上级计算机系统实时通信,实现多台电力电子装置的集中控制。

(4) 采用由微处理器构成并以锁相环为基础的 数字触发器,可确保触发脉冲相位间的高度对称,从而减少整流器直流侧的谐波分量。

(5) 系统中由软件取代硬件来实现晶闸管的触发控制、反馈信号的检测和调节、故障诊断等功能,减少了元器件的数目,简化了硬件结构,提高了系统的工作可靠性。

(6) 微型机控制系统具有对故障进行自诊断的能力,并在事故发生时,能自动地实现运行数据储存,有助于故障的分析和处理。

上述这些优点是模拟量控制电路和一般数字量控制电路难以比拟的。

## 二、电力电子装置控制系统中的微型计算机

微型计算机是电力电子装置微型机控制系统的核心,机型的选择,往往直接影响系统控制精度和控制功能的实现。设计系统时,通常应根据装置对动态响应和调节精度的要求来确定机型。对于动态响应及调节精度要求不很高,或者控制功能较简单的系统,一般可选用 8 位微型机,如 Intel8080、Intel8085、Z80、MC6800 等。对于动态和精度方面要求较高的,或控制功能较复杂的装置,若采用 8 位机,则往往很难达到所要求的处理速度和运算精度,为此,可考虑采用下述两种方法:

1. 选用高性能的 16 位微型机,如 Intel8086、Z8000 和 MC68000 等。这些 16 位微型机与 8 位微型机相比,性能都有

了很大的提高。如MC68000具有16个32位的通用寄存器、14种寻址方式、共有1000种操作码形式的指令、8级优先权中断、直接寻址能力可达到16兆字节等。另外，它们还具有较高的运算速度：Intel8086的指令最短执行时间是400ns；Z8000的是750ns；MC68000的是500ns（Z80则是2 $\mu$ s）。

2. 采用多台8位微型机分别承担各自的分任务，构成多微型机控制结构，以获得很高的控制功能，这就是所谓多机控制方式。例如美国GE公司的Silttron系列直流传动系统中，使用了3台微型机进行控制（型号分别为8039和8748），其中1台用来产生以锁相环为基础的触发脉冲，另1台承担系统逻辑顺序控制功能，还有1台用于多重保护和诊断。这样的结构就保证了系统在满足控制速度的前提下，实现多功能控制。这种控制方式目前在国外较多地用于交流传动的控制系统中。在多机控制系统中，各微型机之间的相互协调是一个很重要的问题，应根据实际系统的具体任务和运行特点，合理地安排硬件和软件结构，使各机既能分别完成各自的分任务，又能相互配合、协调一致，共同完成系统控制的总任务。

单片微型计算机（以下简称单片机）是目前发展较快的一种机型，它是在一块晶片上集成了计算机全部基本单元要素：CPU、ROM和RAM存储器、I/O接口、定时器/计数器和时钟发生器。这种结构，不仅使印刷电路板的面积减少，而且带来很多多片系统所不具备的优点。例如Intel公司80年代研制生产的MCS-51系列产品，在一块40脚双列直插式集成电路中就包含有：4k $\times$ 8ROM、128字节RAM、2个16位定时器/计数器、4个8位I/O接口、1个串行I/O接口。它的指令系统与Z80相比，具有如下特点：指令简单（70%为

单字节)；能进行加、减、乘、除运算；全部指令周期都由1~4个机器周期组成，而每个机器周期由12个时钟周期组成(时钟脉冲频率 $\leq 12\text{MHz}$ )；通过位寻址可实现多种功能等。因此，只要在单片机MCS-51的基础上，扩充一定数量的存储器及I/O接口等芯片，就可用于较复杂的实时控制中。近年来，由于CMOS技术大量用于单片机产品中，使单片机的标准功耗已降到25mW。

按照基本操作处理的数据位数，单片机可分为1位、4位、8位和16位四种。就8位单片机而言，自Intel公司于1976年推出MCS-48系列产品后，已涌现出不少型号的8位单片机。其中，产量较大的有以下品种：

Intel公司的MCS-48和MCS-51系列；  
 Motorola公司的6801和6805系列；  
 Zilog公司的Z8系列；  
 General Instrument公司的PIC1650系列；  
 Mostek公司的3870系列；  
 Rockwell公司的6500/1系列；  
 NEC公司的 $\mu\text{COM}$ -87系列；  
 Texas Instrument公司的7000系列；  
 National公司的8073。

进行单片机的应用设计，必须要有开发工具。目前我国已研制出多种8位单片机开发装置及16位单片机开发装置，均可供用户使用。

### 三、今后研究动向

1. 进一步提高微型机控制装置性能，并降低其成本。

在实际应用上，电力电子产品应用微型机控制技术要比微型机在其它领域的应用稍晚些，大量调查材料表明，国外

在电力电子技术应用领域中，绝大多数都是先把电动机作为控制对象进行研究，然后再将研究成果推广应用到其它类型的电力电子装置中。因此，对电动机的控制是电力电子学应用技术的中心。在电动机控制中，对其控制量（电流、电压和转速等）通常都要求有较快的响应速度，这对于以分时处理为主的微型机来说，是有一定难度的。近年来，由于16位微型机的出现，同时，以控制运算为中心的软件技术也不断发展，因而在技术上较好地解决了传动系统的快速性问题，从而提高了微型机在电力电子系统中应用的实用性。今后还应逐步做到使微型机控制具有提高电力电子装置效率、功率因数以及抑制高次谐波等功能，使系统的整体组成最佳系统。另外，在经济性方面，虽然微型机价格越来越便宜，但从包括外围电路在内的硬件电路总体来看，由于大规模集成化程度不高，在现时还未必能构成价格低廉的控制系统。所以，如何进一步提高微型机对装置的控制性能和降低成本，是当前迫切需要解决的问题。

2. 引入适合于微型机控制的新的控制理论，使系统能进行最佳调节。

3. 确立以采样周期和字长位数问题为核心的设计方法。

微型机的运算是分时进行的，它只能接受和处理时间离散的数码，而系统控制的物理量，却多为模拟信号（如电压、电流等），因此，计算机要获取原始信息，必须将模拟信号按一定的时间间隔进行采样，使其变成离散的数字序列。显然，采样周期的合理选择是很重要的。为了使系统可按连续系统的理论来进行设计，通常可参照采样定理来确定采样周期。但该定理只能给出一个指导原则，实际的采样周期还需要根据具体情况来决定。为了确保采样信号不失真，希望采

样周期越小越好，而在实际运行中，系统要进行复杂的控制运算，又使采样周期的缩短受到了限制。

另外，在数字系统中适当地增加字长位数，虽然可提高其控制精度，但这也将同时增加系统的投资。目前在市场上，16位微型机与8位微型机在价格上相差甚大，高分辨率的A/D转换芯片在价格上也很昂贵。例如，1987年初，16位单片机(8096)开发系统的国内价格约为8位单片机(8031)开发系统的3倍。一般用途的8位AD570，国外参考价格为22~55美元，廉价的10位AD571则为37~95美元，高速、高精度的12位AD572，其价格高达95~320美元。设计者如不考虑实际需要，盲目地追求系统的高精度，将会影响装置的经济性。

所以，在保证满足系统技术性能指标的前提下，如何合理地选择采样周期和字长位数，是设计中要解决的重要问题。

4. 电力电子装置可全部采用微型机进行控制，即构成DDC（直接数字控制）系统。也可由微型机完成部分控制功能，其余部分则采用大规模集成电路来实现控制。何种结构模式为最佳，这也是今后尚需进一步探讨的问题。

5. 进一步提高诊断故障的功能，使维修工作简单化。

6. 如何更方便地实现与上级计算机系统的联系。

## 第二节 微型计算机控制在电力电子装置中的具体应用

### 一、在工业传动系统中的应用

随着微型机的性能及其控制技术的不断提高，近年来出现了以微型机为基础的全数字化电气传动系统，使传统的传动系统面貌发生了很大的变化。

## (一) 在直流传动系统中的应用

表1-1为美国IEEE工业应用协会 (IAS) 有关微型机在直流传动中应用的调查结果。

表1-1 微型机在直流传动中应用的调查结果

| 公司             | 使用场合       | 额定功率<br>(hp·h)<br>① | 控制电子器件的功能             |                       |     |     |     |     | 微型机          |
|----------------|------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|-----|-----|-----|-----|--------------|
|                |            |                     | 逻辑                    | 触发                    | 调节  | 保护  | 诊断  | 顺控  | 型 号          |
| GE             | Silttron   | 5~1500              | 微型机                   | 微型机                   | 模 拟 | 微型机 | 微型机 | 微型机 | 8039<br>8748 |
| GE             | 挖掘机传动      | 1500以下              | 微型机                   | 微型机                   | 微型机 | 微型机 | 微型机 | 微型机 | 8080         |
| GE             | Silcomatic | 1000~<br>12000      | 微型机                   | 微型机                   | 模 拟 | 微型机 | 微型机 | 微型机 | 8085         |
| West           | 造纸机传动      | —                   | 微型机                   | 大规<br>模集成<br>数字电<br>路 | 微型机 | 微型机 | 微型机 | 微型机 | 8086         |
| Louis<br>Allis | Sabre      | 1~4000              | 大规<br>模集成<br>数字电<br>路 | 大规<br>模集成<br>数字电<br>路 | 微型机 | 微型机 | 微型机 | 微型机 | 8085         |

①  $1\text{hp}\cdot\text{h}=2.6856\times 10^3\text{J}$

由表1-1可见, 采用微型机对晶闸管供电的直流电动机进行直接数字控制, 可完全实现传统的模拟调节系统的各种功能。它包括触发脉冲的控制、电枢电流和励磁电流的控制、转速控制、各种逻辑控制和保护功能。由于直接数字控制系统不易受温度和时间变化的影响, 且系统可以实现测速数字化, 因此, 可大幅度地提高系统的调速精度和扩大调速范围, 特别是在额定转速的1%以下的低速中, 能使电动机以高精度稳定运行。直流传动系统采用微型机控制后, 还可结合生产机械的要求实现多种最佳自动控制(如张力、位置控制等), 并可实现模拟电路难以完成的控制规律和控制方法, 如各种自适应控制、非线性控制等。