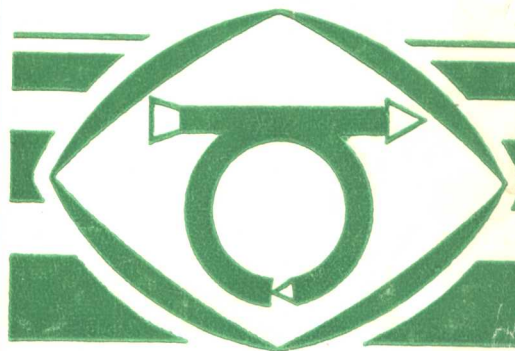


全国计算机 控制与管理学术会议 论文集

(上册)



中国自动化学会应用专业委员会

前 言

本文集是为配合由中国自动化学会应用专业委员会、中国金属学会冶金自动化学会、中国自动化学会计算机应用专业委员会、深圳市自动化学会、广东省自动化学会等五学会於1989年3月11日~15日在深圳市联合召开的“全国计算机控制与管理学术会议”而编印的。文集由中国自动化学会应用专业委员会和中国金属学会冶金自动化学会组织人力编辑印刷的。责任编辑是张振华同志。

本文集得到了广大作者和作者所在单位的大力支持，没有他们的支持，文集的出版是不可能的，我们表示衷心感谢。

在文集编印过程中，得到了冶金部自动化研究院有关同志的大力支持和无私援助，我们表示感谢。

由于时间紧、任务重，也由于我们的水平有限，文集会存在有很多缺点和错误，敬请作者和读者给予批评指正。

编 者

於北京冶金部自动化研究院

1989年3月10日

目 录

(上册)

单片微机控制的GTR-PWN直流调速系统·····	夏新顺等 (1)
离子渗金属炉的微机控制系统·····	张忠怀等 (9)
青霉素生化过程的参数辨识和状态估计·····	戴忠达等 (15)
新闻纸复卷测长微机系统·····	于长官等 (23)
加热炉计算机优化控制策略·····	吴成东等 (27)
V·C精馏的多变量控制及其微机实施·····	肖卫国等 (33)
氯乙烯聚合过程的微机控制·····	张珍珠等 (42)
DCS-100计算机集散控制系统·····	王锦标等 (50)
分布参数模型冷连轧穿带—脱尾过程控制·····	赵圣炎 (59)
用模型估计方法实现超薄型纸定量水份计算机控制·····	夏启军等 (63)
用单片微机实现的直流传动装置故障自诊断系统·····	黄 鸢等 (69)
最佳功率因数控制器的微机实现·····	陆荣南等 (75)
玻璃窑炉燃烧过程自寻最优控制·····	钟汉框等 (80)
纺织厂空调系统的控制模型和控制方案·····	万太福等 (84)
纺织厂温湿度微机控制的硬软件设计·····	姚明德等 (89)
微处理器在并条机自调匀整中的应用研究·····	应智远等 (93)
小方坯连铸计算机系统设计与应用·····	马正午等 (100)
冷轧机轧辊偏心计算机控制·····	刘淑贞等 (104)
储单晶生长的微机控制系统·····	邬宽明等 (108)
大型连续式加热炉计算机控制系统的总体设计及其实现·····	蔡大维等 (112)
立窑水泥生料质量微机控制系统·····	林昆生 (116)
利用自校正预报的生产过程管理—控制决策支持系统及其应用·····	马润津 (124)
智能预测控制系统在电弧炉冶炼中的应用·····	李静如等 (128)
间歇反应釜的智能控制·····	沈锦飞等 (131)
基于人工智能的原理建立过程控制系统的模型·····	彭秀姣等 (139)
高炉异常炉况下铁水含硅量预报的专家系统·····	韩曾晋等 (141)
步进架式加热炉计算机控制的最优加热策略求解及应用·····	林建南等 (145)
预测控制在液位微机控制系统中的应用·····	陈应麟等 (149)
CSTR的非线性自适应控制·····	陈 申等 (155)

微型计算机在挂面生产过程中的应用	刘立志等 (165)
YLK-1 型燃油锅炉微机控制系统	徐松源等 (169)
苯酐生产过程的建模与两级微机自适应控制	王 捷等 (174)
微型计算机控制的潮汐模型试验系统	冯培梯等 (181)
铁路驼峰调速系统的自适应控制	牟广森等 (187)
一类具有I-PD结构的简单数字自适应控制器及其在微机炉温控制 系统中的应用	张希周等 (194)
一类非线性系统参数辨识的新方法及其在生化发酵过程建模中的应用	胡仰曾 (201)
模糊控制理论在原油电脱水器油水界面自动控制中的应用	汪济民等 (209)
递推远程预报自校正控制及其应用	钟慕良等 (216)
计算机在水泥工业中的应用	李友善等 (229)
FANUC微机系统开发及在立车改造中的应用	荆东晖 (235)
软硬件组合估计在测角系统中的应用	李 争 (241)
西德热宽带连轧机计算机控制系统简介	王贞祥等 (250)
微型计算机化全能心电图机新原理	王孟兰等 (256)
微生物发酵过程的微机监测与控制系统	张治辉等 (262)
乙醛反应器计算机控制模型与优化	盛名洪等 (266)
绞吸式挖泥船绞刀横移速度的自校正控制	王 锋等 (274)
车辆轴温监控自动化系统	李华春等 (280)
制冷压缩机全能自动测试系统的研制	吴海元等 (285)
精密导轨磨床运动误差计算机测试控制系统	王建平等 (288)
微机系统在10吨循环流化床锅炉上的应用	翟俊生等 (294)
变电站微机自动集控台	罗 安等 (300)
微机控制提花织物自动化系统中意匠图的实现	潘 杰等 (305)
微生物快速自动阻抗测定	杨五硕等 (310)
柔性制造系统(FMS)的控制系统研究	弗炳铨等 (314)
带有校正回路的参数自校正的Fuzzy控制器	王志军等 (320)
集结降价法在系统时间标尺分离与控制中的应用	吴旭光 (328)
渠系配水系统及计算机测量控制网络	董小社等 (334)
电力系统(分散)最优控制设计中权阵对(Q,R)的确定	陈禹六等 (338)
CADCS专家系统的结构和对控制问题的描述方法	吴 兵等 (346)
火电厂计算机应用25年	李希武 (352)
京深STD微电脑系统及其应用	彭永迟 (358)
中国煤矿自动化技术的发展	唐 允等 (362)
SiC烧结炉集散型微机控制系统的管理与监控	王文家等 (367)
冶金工业计算机应用的进展和未来	马竹梧 (373)
一种用Ackermann方法求取状态反馈增益的计算机方法	史福元 (389)

单片机控制的GTR—PWM直流调速系统

夏新顺 曹鸿富 沈涛金

上海工业大学自动化系

本文介绍了一个由单片机控制的GTR—PWM直流调速系统,系统采用单闭环结构,省去了电流环,而电流环的作用则由反电势跟踪控制来取代,使系统在动态过程中输出最大电流,以加快过渡过程。当系统接近稳态时,计算机经过逻辑判别后,使系统由反电势跟踪控制转入PI调节器控制,以保证系统的稳态精度。由于用单片机实现了全数字控制,它不仅简化了系统的结构,而且使系统具有良好的动静态特性。在设计调节器时,本文采用了单纯形寻优的方法来设计调节器的参数,并使其达到最优化。该系统充分利用计算机逻辑判断功能强的特点,对系统中过流、过压、PWM脉冲丢失、延迟故障、给定超值、电机过热等十多个故障实现自诊断,并自动实现系统保护,从而提高了系统的工作可靠性和故障判别的方便性。

一、引言

单片机由于体积小、重量轻、功能全、价格便宜在电气传动实时控制系统中越来越受到重视和普遍应用,利用单片机逻辑功能强和软件灵活的优点,不仅可使很多控制硬件软件化,且便于参数的设定和调整,同时可以对系统工作中的各种信息数据作诊断、检测并及时处理,加强实时维护和提高控制系统的可靠性。

由单片机控制的GTR—PWM调速系统是一种新型的控制系统,由于GTR是一种高频全控型器件,可方便地控制其通断,因此由它组成的调速系统除结构简单外,更具有开关频率高、主回路脉动成份小、低速运行性能好和调速范围大等特点,在中小容量的直流调速系统中将有较大的发展。

实时控制系统由于信息量多、反应快,对实际生产系统影响大,因此如何能尽快地预报和判断系统的故障,缩小故障率和维修时间,这是现场生产维护部门普遍关心的问题,国外在故障自诊断领域中已开展了大量的工作,取得了很多满意的效果,并已使用到工业产品中。国内在这方面的工作虽刚起步,但也已受到各方面关注和进行开发研究,一个实时控制系统是否具有故障自诊断的能力,将成为衡量一个产品生命力的重要标志,也是控制设备智能化的关键内容。

本文在电气传动控制微机化、数字化以及故障自诊断方面做了一些工作,期望能不断提高控制系统智能化程度和微机化速度。

二、系统组成和硬件结构

1、系统组成

本系统应用MCS—51系列单片机构成GTR—PWM直流调速系统,其系统结构

框图如图1所示。

图中主回路采用双极性输出的H型晶体管脉宽调制电路,控制系统采用单闭环结构,即只有速度环,省去了电流环,整个系统的控制全部由单片微机实现全数字控制,系统具有二种控制结构功能,即反电势跟踪控制和PI调节控制,而这二种控制方式在运行过程中自动切换。

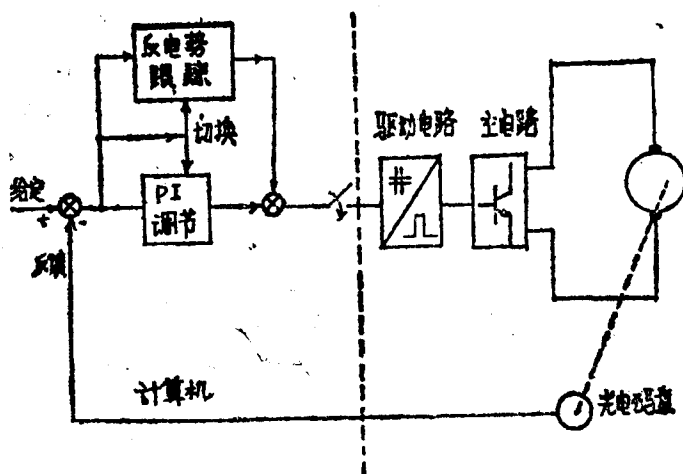


图1 系统结构框图

系统在起、制动等动态过程中,速度给定值与速度反馈值之间偏差较大,当偏差 e 大于设定值 Δ 时,计算机将把控制器切换成反电势跟踪控制方式,使主回路输出一个恒定的最大电流值,使电机以最大转矩起动(或制动),这样控制的结果与双环系统中转速环开环时电流环所产生的效果等效。

所谓反电势跟踪控制就是根据电机的电枢反电势来决定控制脉冲的宽度和电枢回路的电压,以保证电流恒定。

直流电动机电枢回路的电压平衡方程式为:

$$U_d = I_d R + E \quad (1)$$

$$\text{式中反电势 } E = C_e \Phi n \quad (2)$$

在动态过程中,希望电动机能以恒定的最大电流 I_{dm} 启动,所以 I_{dm} 的数据是已知的,这样动态过程中电枢方程可用下式表示。

$$U_d = I_{dm} R + E \quad (3)$$

本系统是采用PWM方式进行调速的,因此脉冲宽度与电枢电压之间存在着如下关系:

$$U_d = \frac{T}{T_s} U \quad (4)$$

如图2所示:

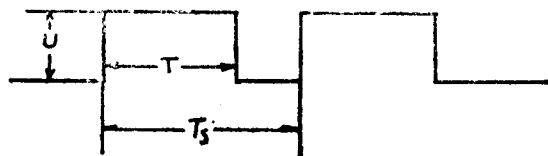


图2

图中 T 为脉冲宽度, T_s 为脉冲周期, U 为直流电源电压值,

$$\therefore U_d = \frac{T}{T_s} U = I_{dm} R + E \quad (5)$$

$$\text{即 } T = \frac{T_s}{U} (I_{dm} R + E) \quad (6)$$

由式(3)、(6)可知,只要知道了反电势 E ,便可以直接得到电枢电压 U_d 和脉

冲宽度 T 。

电机在调整转速过程中，当偏差 $e < \Delta$ 时，计算机经逻辑判别后，将由反电势跟踪控制自行切换到PI调节器控制，以使系统具有较大的闭环增益，最终使偏差 $e \approx 0$ ，保证调速控制系统在稳态时具有较高的静态精度，同时还可以对负载及其它扰动作及时调节，控制系统的程序框图如图3所示。

在设计PI调节器过程中，采用了参数最优化的方法，即采用单纯形寻优法来设计PI调节器的参数，使系统品质因数达到最佳。在一个调速系统中，总希望给定值与实际值之间的误差越小越好，因此可以采用 $Q = \int_0^{\infty} e^2 dt$ ，即误差平方的总和作为目标函数来进行参数寻优，并使得目标函数 Q 达到最小，但是考虑到误差 e 在动态和静态过程中的作用和影响是不同的，即在动态过程中允许有较大的误差存在，但在稳态时，其误差必须为极小，为之有必要加大稳态过程中误差的权，也就是在目标函数中加上了时间权函数 t ，

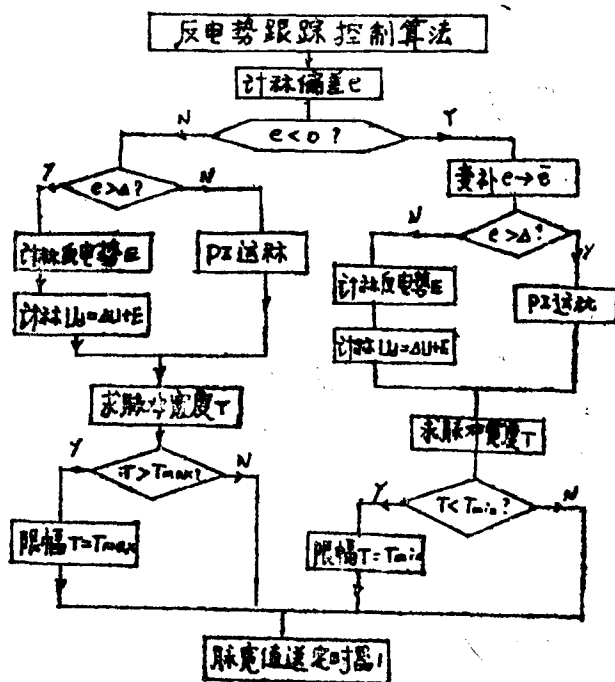


图3 控制系统程序框图

$Q = \int_0^{\infty} t e^2 dt$ ，PI调节器的输入、输出关系为 $U(t) = K_p (e + \frac{1}{\tau} \int_0^t e dt)$ ，将其写成离散形式，取采样周期 T ，初始值为零，则：

$$U(n) = K_p [e(n) + \frac{1}{\tau} \sum_{k=0}^n e(k) T] \quad (7)$$

$$U(n-1) = K_p [e(n-1) + \frac{1}{\tau} \sum_{k=0}^{n-1} e(k) T] \quad (8)$$

写成递推形式，则：

$$U(n) - U(n-1) = K_p [e(n) - e(n-1) + \frac{T}{\tau} e(n)] \quad (9)$$

$$\text{即：} U(n) = U(n-1) + K_p [e(n) - e(n-1) + \frac{T}{\tau} e(n)] \quad (10)$$

$$\text{目标函数 } Q = \int_0^{\infty} |e| t dt = \int_0^{\infty} t |e(t)| dt = \sum_{n=0}^{\infty} |e(n)| T \cdot L_1 \quad (11)$$

式中 e ，为误差信号， T 为采样周期（取 $T=0.01$ 秒）， L_1 为计算步距（ $L_1=0.05$ ）。

计算机在寻优过程中，不断地调整PI调节器的参数，使目标函数 Q 达到最小，其原理图见图4所示。

单纯形参数寻优程序框图图如5所示

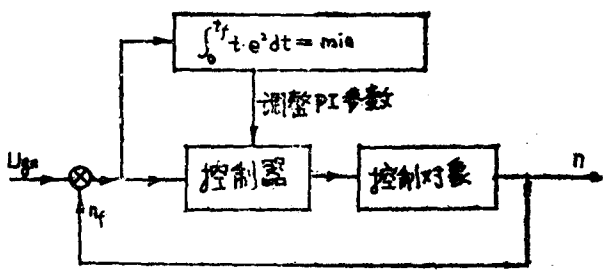


图 4

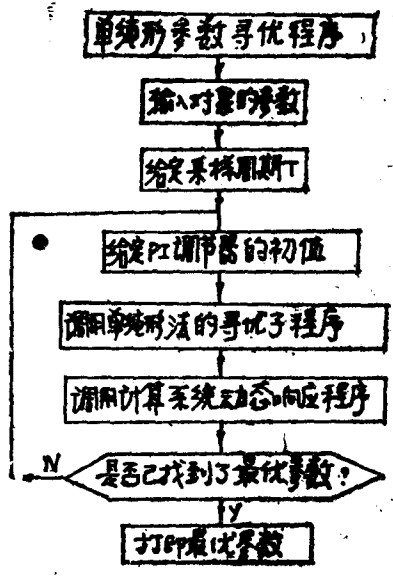


图 5

2、硬件结构

为了达到系统高性能的技术指标和多功能的自诊断目的，在控制系统中采用了双CPU的结构、即主CPU负责系统的运行控制，如拨盘给定、M/T法测速、显示电路、PWM波形生成和反电势跟踪控制等。从CPU负责故障自诊的功能。

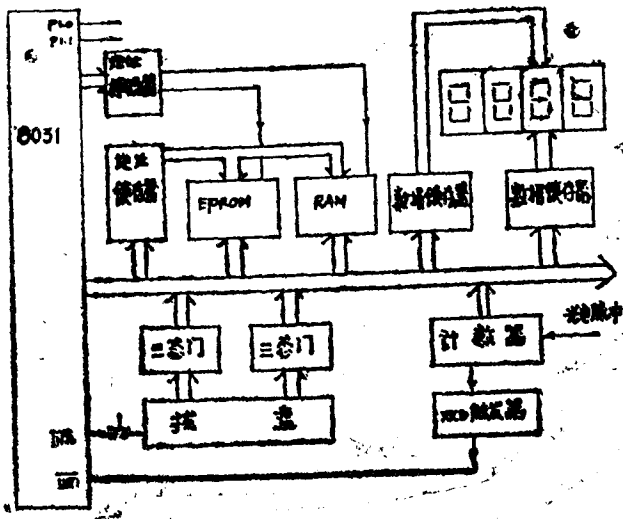


图6 主CPU硬件框图

主CPU的硬件框图如图6所示，其工作过程如下：

1) 起动过程：首先打开电源，8031单片机将进行初始化处理，并且生成 占空比

为50%的PWM波形,从 P_{10} 和 P_{11} 两个口输出,经过光电隔离送到驱动电路进行功率放大,由于占空比为50%,故电机电枢电压平均值为零,电机停转,要系统起动运行,则必须通过拨盘向计算机输入给定值,然后按中断请求按钮,计算机接收到中断请求之后,便打开二个三态门,将拨盘上的数据读入计算机内部,这样便完成了给定过程。计算机对转速光电脉冲信号进行定时速度采样,速度给定值与由采样得到的实际速度值相减便得到了偏差 e ,当 e 大于设定偏差值 Δ 时,则计算机对系统进行反电势跟踪控制,经过运算在 P_{10} 和 P_{11} 口生成新的PWM波形,此时PWM波形的占空比 $>50\%$ (或 $<50\%$)将此新生成的PWM波形送到驱动电路放大,则在电机电枢两端所得到的平均电压不为零,电机就起动运转,随着电机反电势的变化,计算机不断采样并运算,刷新PWM波形,占空比与电压平均值作相应变化,电机的速度很快就上升,当电机转速接近给定值时,速度偏差 $e < \Delta$,计算机经逻辑判断后,将系统切换到PI控制,直至转速达到给定值,完成起动过程。

2) 减速或制动过程

当系统需减速或停转时,只需改变拨盘给定值,然后按中断请求按钮,当计算机响应中断之后,便打开二个三态门,读入新的给定值,同时计算机进行定时速度采样并计算偏差 e ,很显然,减速或制动时,偏差 e 变成负值,经过控制算法运算后,生成的PWM波形其占空比将减小,电机两端的平均电压也减小,从而达到了使电机减速的目的。

为了使系统可靠工作,必须对GTR进行过流保护,由于GTR过流能力相当有限,故本系统中采用快速的霍尔过流保护装置,在正常情况下,电流 I 小于其允许的极限值 I_M ,霍尔开关处于截止状态,输出高电平讯号,当系统发生过流故障时,电流 $I \geq I_M$ 霍尔开关电路即处于导通状态,输出低电平信号去封锁PWM脉冲,迫使GTR强迫关断,从而达到保护系统的目的,霍尔开关的动作时间约 $0.7\mu s \sim 1\mu s$ 。

对于故障自诊断可以由硬件来完成,但不够灵活且处理分析能力差,而用计算机软件来实现在诊断的灵活性和处理分析能力方面具有显著的优点,而且结构简单,本系统中为了充分发挥计算机逻辑判断能力强的优点,把硬件检测电路减小到最低限度,故利用计算机软件来实现故障自诊断,这部分功能由从CPU来完成,从CPU的硬件框图如图7所示,该系统中扩展了一片ADC0809用来进行电流采集,一片74LS273和四片75452P用来进行故障显示,以及扩展了一片

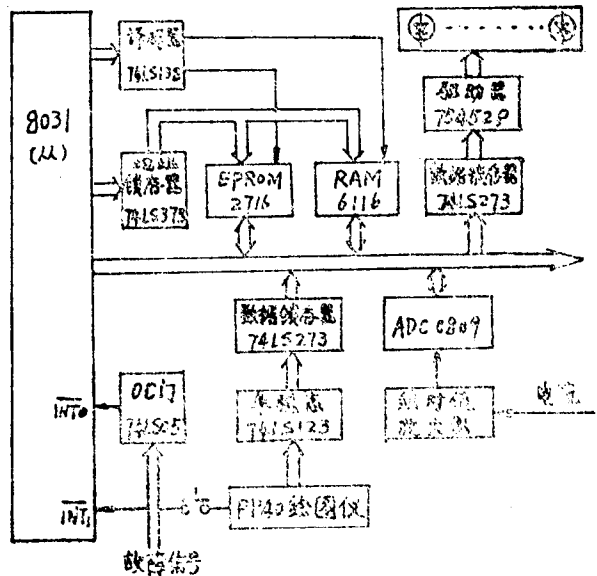


图7 从CPU硬件框图

74LS273和一片74LS123用来控制PP40绘图仪。

从CPU的工作过程如下：

接通电源后，8031首先完成初始化，然后便不断地对电流数据进行采集并处理。PP40处于等待状态，一旦需要只要按下相应的按钮，PP40将自动给出故障的有关曲线。另外，系统若无故障时，8个发光二极管全暗，若出现故障，从CPU将自动显示对应的发光二极管，必要时还要与主CPU通讯以采取保护措施。

本系统中对如下11种故障进行有效的诊断，如表1所示。

表 1

序号	诊 断 对	故障代码	护 保 措 施	备 注
1	电 流	9EH	封锁PWM脉冲	
2	泵升电压	1FH	封锁PWM脉冲	
3	超 速	34H	显示LED	LED为发光二极管
4	给定超值	0FH	显示LED	软件中有自动限幅
5	PWM丢失①	78H	显示LED	①表示第1组脉冲
6	PWM丢失②	79H	显示LED	②表示第2组脉冲
7	PWM延迟	2CH	封锁PWM脉冲	
8	电机过热	BOH	显示LED	
9	静态自诊断	83H	显示LED	对ROM、RAM等外设
10	GTR非安全区	0EH	显示LED	
11	电流变化率	E7H	显示LED	

表中所提到的静态自诊断是指：计算机在进行系统工作之前，首先对ROM和RAM等外设进行自检，一旦发现ROM中的内容出错或RAM读写不正确，则计算机拒绝进行系统工作，原地踏步，只有ROM和RAM均正常时，它才进入系统工作。

对ROM进行自检采用的是代码和方法，设ROM中有 n 个字节信息，事先求得这 n 个字节的代码和，然后在第 $n+1$ 个字节中放入该代码和的补码，自检时也就是将 n 个字节的代码一一相加，看其代码和与补码是否吻合，从而判断正常与否。对RAM自检是采用了棋盘格方法，即对RAM进行有规则的读与写，若读出的内容与写入的内容不一致，则RAM出错。RAM出错有可能是芯片本身有毛病，也有可能是其它方面的原因，例如电源线、启动线和读写控制线故障；数据线固定在1或0，地址线固定在0或1，地址译码器故障等。

系统中故障显示采用发光二极管，其原理图如图8所示。

其中静态自诊断与转速超值共用一个LED，因为两者不可能同时显示故障，图8中75452为功率驱动器，74LS273为数据锁存器，每个发光二极管对应于某一故障。在RAM中设置了一个特别单元，地址为28H，该单元具有位寻址的功能，即它可以直接改变单元中的某一位，而不影响其它位的内容。单元地址28H的位地址如下：

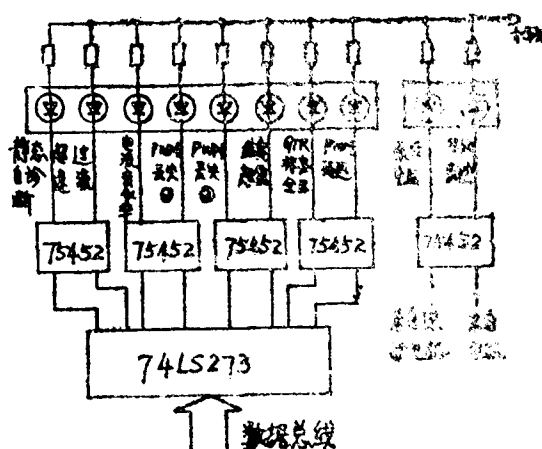
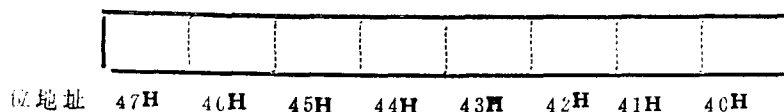


图8 故障显示原理图



当系统无故障时，28H的每一一位均为0，即：

0 0 0 0 0 0 0 0，计算机将28H的内容送到数据锁存器74LS273中，这样74LS273

的输出经过四个75452反相后变成高电平，8个发光二极管全暗，若系统发生了某个故障，例如过流，则计算机就根据故障代码进行位设置，让46H=1，这时28H中的内容为

0 1 0 0 0 0 0 0，计算机再将28H的内容送到74LS273，经过75452后，对应地将输

出7个高电平，一个低电平，则该低电平对应的发光二极管就被点亮，即左边第二个LED亮。若这时又同时发生了第二个故障，例如PWD脉冲丢失，那么计算机依然是根据代码设置44H=1，由于是位寻址，所以46H的内容没有被改变，此时28H的内容就变成

0 1 0 1 0 0 0 0，这时计算机将28H的内容送去显示时将会有二个LED同时被点

亮，这就说明了系统同时存在二个故障，当系统同时存在多个故障时同理可类推。可见8031单片机具有位寻址功能，给自动显示带来了很大的方便。

三、系统软件

本系统中主CPU系统软件主要由一个主程序和五个中断服务程序组成，即：系统主

程序、定时器0中断服务程序、定时器1中断服务程序、外部0中断服务程序、外部1中断服务程序和串行口中断服务程序，其中串行口中断程序和定时器1中断程序的优先级最高，剩下的中断程序优先级最低。其程序框图如图9所示。

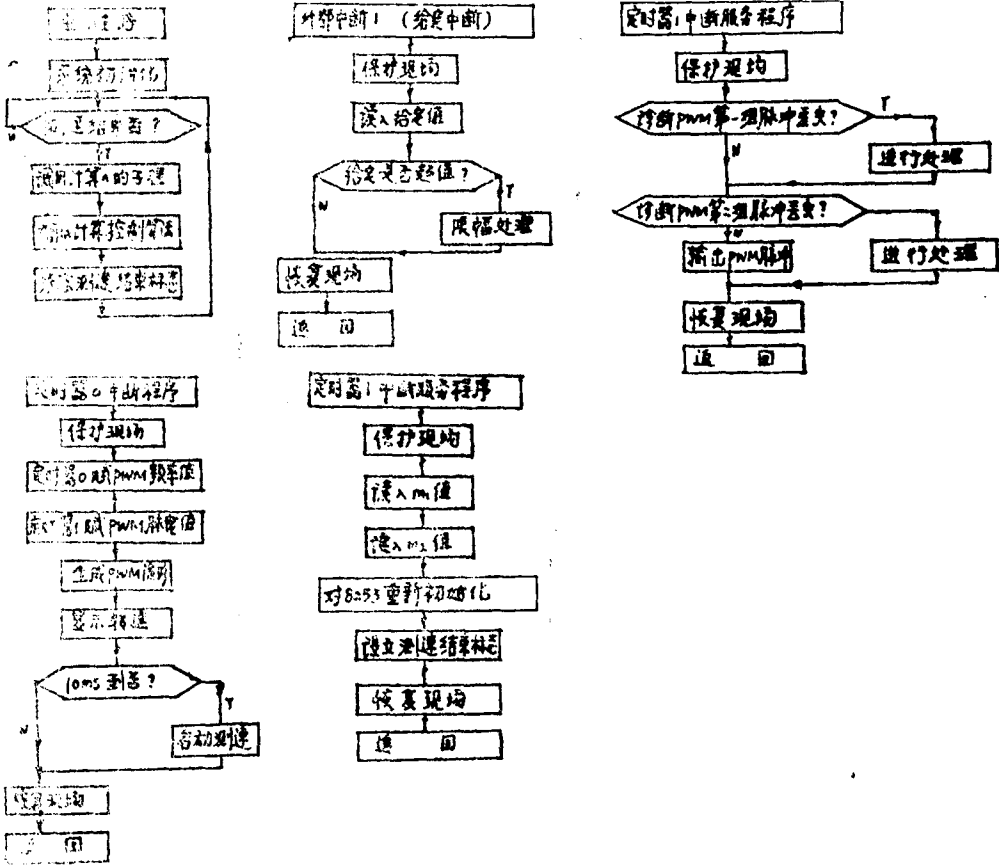


图9 主CPU系统软件程序框图

从CPU系统软件由一个主程序和四个中断服务程序组成，即定时器0中断程序、外部0中断服务程序、外部1中断服务程序和串行口中断服务程序，其中串行口中断服务程序和外部1中断服务程序的优先级最高。其程序框图如10所示。

四、试验结果与展望

本系统在实验室一台0.4kw的直流电动机上进行运行试验，突加给定时其动态响应曲线如图11所示。

由曲线可见，系统过渡过程时间约0.75秒，超调量 $\sigma=3\%$ ，稳态精度 $<0.2\%$ ，正在作进一步研究试验，以提高其动静性能指标。

系统中故障自诊断各项均进行了人为故障模拟试验，故障显示正常。

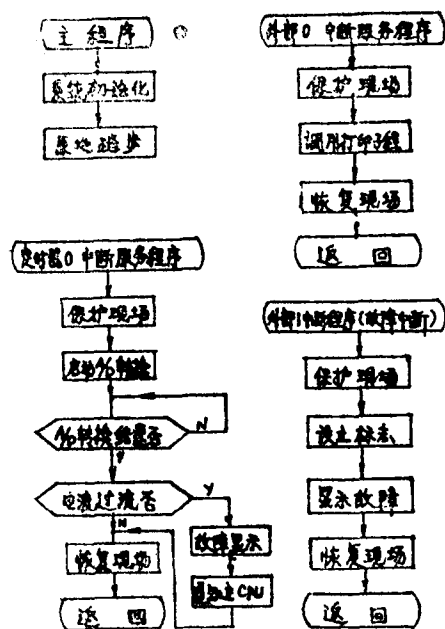


图10 从CPU系统软件程序框图

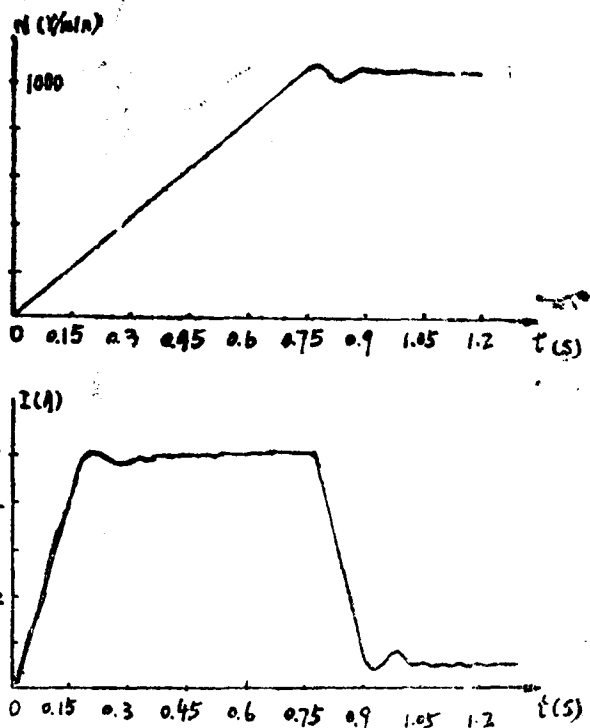


图11 突加给定系统动态响应曲线

带有故障自诊断的微机控制
GTR—PWM直流调速系统在各方面都具有明显的优点，期望进一步开发后可推向工业应用。

参考文献（略）

离子渗金属炉的微机控制系统

张忠怀 贾敏智

太原工业大学电机系

本文介绍离子渗金属工业用炉上使用的微机控制系统。该系统由四个独立而又相互耦合的子系统（辅助加热、电压、压力和电弧控制）组成。文章介绍微机控制系统的基本结构和总线控制方法以及专家系统在控制中的应用。

一、概述

本世纪六十年代，离子氮化在工业生产中的应用开辟了离子轰击化学热处理的新领域。继离子氮化之后，离子渗碳、离子渗铝、离子渗钛等新工艺不断出现。近来，以真空蒸镀技术为基础的离子涂复技术有了迅速发展。它利用加热、溅射及电子束轰击等方法使合金元素蒸发并附着在工件表面，以形成一种具有特殊性能的薄膜。这一薄膜与基

体的结合比较牢固、因而具有比湿式镀层更为优越的表面性能。但这种方法对设备要求较高,而且日趋复杂化。

为了寻找一种能利用简单设备使普通碳钢表面具有一种特殊物理性能及机械性能的合金钢层,离子渗金属工艺的探索与试验研究已为世界各国所注目。我校徐重教授于1984年首先提出在离子氮化基础上利用双层辉光放电来实现离子渗金属工艺。它是把被渗的合金元素制成金属源作为产生辉光放电的阳极和阴极间的第三极,而且加以适当电压。这样在阳极—源极和阴极—阳极之间产生双层辉光放电。由于合金元素每个原子的汽化热约为10电子伏数量级,而在辉光放电中,每个离子所具有的平均能量为50电子伏左右。因此,当金属源加热到一定温度时,辉光放电中的离子将不断从金属源中轰出合金元素,通过溅射,吸附等作用,在阴极(工件)表面上形成所需要的合金渗层。由于这种工艺要求的设备很简单,合金元素供给源比较理想,渗金属效率比较高,因而得到国际上有关部门的重视,并获得美、加等十几个国家的专利。根据这种工艺设计出来的第一台工业用炉已经通过鉴定并投入试生产运行。本文介绍这台离子渗金属工业用炉的微机控制系统。

二、系统的结构

离子渗金属工业用炉如图1所示。炉膛体积为 $1000 \times 500 \times 300 \text{ mm}^3$,加工钢板的最大面积可达 $500 \times 1000 \text{ mm}^2$,最大装炉量为150kg。由于体积大,因此为保持炉内各区温度的均匀,缩短工件的升温时间,降低整流电源的负担,采用了多点辅助加热的方法。一开始,在高度真空情况下,利用辅助加热系统对工件进行加热,随着工件温度上升到 T_1 时,工件表面杂质就开始蒸发,为热电子发射提供极有利条件。这样当阴极电场建立时,就有可能在较低的电压情况下产生电弧,从而把工件表面清洗工作控制在较低电压情况下完成,避免电弧过大造成工件表面损坏。

其次,由于工件表面清洗工作总是要通过电弧来完成。因此,在渗金属炉的控制中对电弧不能采取单纯的抑制方法,而是应当根据电弧的具体情况采用不同措施。就是说对那些不足以损坏工件表面的弱电弧则允许它存在,以加速表面清理过程,而对那些有可能损坏工件表面的强电弧则按具体情况分别处以强制熄弧、间断熄弧等措施。

随着工件表面清洗工作的完成,阴极电压继续上升,这时随着等离子区离子轰击的加剧,炉内温度开始加速上升,当它到达 T_2 时,源极电源投入工作,而且加大

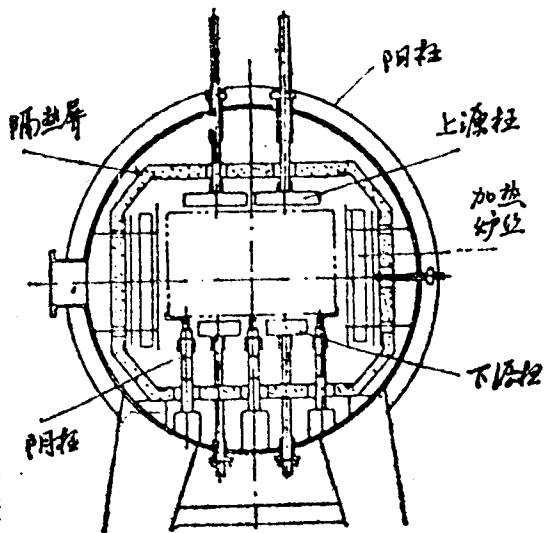


图1 离子渗金属炉炉体结构

气压, 这样随着源极电压的提高, 离子流迅速增强, 工件的温度就很快地上升到给定温度。从而开始了渗金属处理阶段, 当表面处理工作完成以后, 系统根据预定的要求, 顺序地停止各个控制系统的工作, 直至温度下降到 T_1 , 炉内气压恢复到正常大气压力时, 系统全部停止工作, 实现上述工艺要求的炉内温度变化曲线如图2所示。

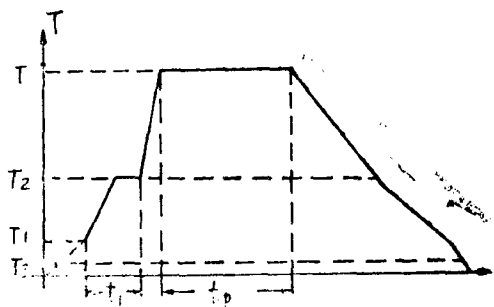


图2 工艺曲线

综上所述, 可见离子渗金属工业用炉的控制系统基本上由辅助加热、电压、压力和电弧控制等四个子系统组成, 而且它们相互之间并不是独立的。例如, 电压控制系统和压力控制系统的输出直接影响辅助加热控制系统的输出, 而辅助加热控制系统的输出又确定了电压控制系统的给定值, 它们之间同样存在紧耦合关系。电弧控制系统的工作, 取决于电压和温度的状态, 反过来又直接影响这两个系统的工作。可见, 离子渗金属炉的温度控制实际上包含了四个独立而又互相耦合的子系统。而且, 由于在渗金属过程中炉内反应很复杂, 各子系统间的机理关系无法确定而且变化较大。因此, 要建立一个可行的数学模型是相当困难的。这样, 各子系统之间的协调与控制只能采用建立在操作人员的经验和对信息的推理判断基础上的专家系统来实现。它根据工艺曲线要求, 同时考虑到各子系统当前工作状态, 依据先验性知识作出控制决策指挥各子系统间的协调工作。

三、子系统的控制规则

离子渗金属炉温度控制系统中辅助加热系统含有三个独立的加热源, 分别处于炉膛的前区、中区和后区的两侧壁。作为加热源采用 $OCr25A15$ 电阻带, 它们分别由三组独立的双向可控硅交流开关电路供电, 经可编程数字触发器同微机系统相联接。三个测温点在工件下部同加热源相对应的位置上, 它构成一个“慢速”的多变量耦合控制系统。而电压控制采用两套独立的三相整流电路为源极和阴极供电, 其功率分别为 $75kW$ 和 $30kW$, 工作电压为 $0 \sim 1000V$ 。电压控制时间常数很小, 反应快, 源极电压和阴极电压之间耦合很紧, 而且它们同炉内真空度即压力控制的状态密切相关, 因此这三者之间构成一个“快速”的多变量耦合控制系统。在这两个速度差异较大的系统之间同样存在着耦合关系但较为松散。因此, 为简单起见, 将它们分别作为两个独立的多变量系统进行控制。

由于无法建立炉内精确的动态模型, 我们采用专家系统进行控制。根据实践经验, 把整个控制区间划分为三段, 分别采用开关控制、变参数的PD控制和变参数的PI控制而且把后两种算法的增量算式统一表示为:

$$\Delta U_K = K^T X_K$$

$$\text{其中} \quad K^T = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} & K_{13} \\ K_{21} & K_{22} & K_{23} \\ K_{31} & K_{32} & K_{33} \end{bmatrix}$$

$$\Delta U_K = [\Delta u_1(k) \Delta u_2(k) \Delta u_3(k)]^T$$

$$X_K = [X_{1K} \ X_{2K} \ X_{3K}]^T$$

而且有 $X_{iK} = [X_{i1}(k) \ X_{i2}(k) \ X_{i3}(k)]^T$, $i=1,2,3$

其中 $X_{i1}(k) = \Delta e_i(k)$, $X_{i2}(k) = \Delta^2 e_i(k)$, $X_{i3} = e_i(k)$

相应地有

$$K_{ij} = [k_{1ij} \ k_{2ij} \ k_{3ij}], \text{ 当 } i=j,$$

$$K_{ij} = [0 \ 0 \ k_{3ij}], \text{ 当 } i \neq j.$$

而且为得到较好的控制效果, 上式中的三个参数 k_{1ij} , k_{2ij} 和 k_{3ij} 将分别按以下关系变化:

$$k_1 = k_{10} \left(1 - \ln \left| \frac{e^*(k)}{0.3} \right| \right)$$

$$k_2 = 1.25 k_{20} \frac{|e^*(k) - 0.1|}{|e(k) - 0.05|}$$

$$k_3 = k_{30} (1 - e^{-100e^*(k)}) \quad \text{当 } i=j \text{ 时}$$

这里 $e^*(k)$ 为偏差的标么值, 而 k_{10} , k_{20} 和 k_{30} 为根据空载阶跃响应曲线建立的近似模型按二次性能指标为最优确定的参数整定值。而当 $i \neq j$ 时有

$$k_{3ij} = \frac{k_{3ii} \cdot \Delta \bar{U}_j(k|k-1)}{d_{ij}^T \cdot e_j(k)}$$

这里 $\Delta \bar{U}_j(k|k-1)$ 为 $(k-1)$ 拍预测第 k 拍 ΔU_j 的估计值, 而 d_{ij}^T 为根据阶跃响应曲线确立的将第 j 相控制增量 $\Delta U_j(k)$ 转换为等效的第 i 相偏差 $e_i(k)$ 的转移矩阵。

专家系统的控制规则为:

- 1、IF $|e| > 0.3W$ THEN $U = U_{max} \text{Sgne}$
- 2、IF $e \cdot \Delta e = 0$ THEN $U_K = U_{K-1}$
- 3、IF $e \cdot \Delta e < 0$ AND $0.1W < e \leq 0.3W$ THEN
 $U_K = U_{K-1} + K^T X_K$ AND $k_{3ij} = 0$
- 4、IF $e \cdot \Delta e < 0$ AND $e \leq 0.1W$ THEN
 $U_K = U_{K-1} + K^T X_K$ AND $k_{2ij} = 0$
- 5、IF $e \cdot \Delta e > 0$ AND $0.1W < e \leq 0.3W$ THEN
 $U_K = U_{K-1} + K^T X_K$ AND $k_{3ij} = k_{30}$

这里 W 为输出的期望值。

为提高控制系统的鲁棒性, 使系统在模型发生较大变化时仍有较好的控制效果, 对上述三个主要参数即 k_{10} , k_{20} 和 k_{30} 通过自学习方法进行修正, 其规则为:

- 1、IF $0.1W < e \leq 0.3W$ AND $\Delta^2 e > 0$ THEN

$$k'_{10} = \alpha k_{10} \text{ AND } k'_{20} = \frac{1}{\alpha} k_{20}$$

- 2、IF $0.1W < e \leq 0.3W$ AND $\Delta^2 e < 0$ THEN

$$k'_{20} = \alpha k_{20} \quad \text{AND} \quad k'_{10} = \frac{1}{\alpha} k_{10}$$

$$3. \text{ IF } e \leq 0.1W \quad \text{AND} \quad \Delta^*e \geq 0 \quad \text{THEN} \quad k'_{30} = \frac{1}{\beta} k_{30}$$

$$4. \text{ IF } e \leq 0.1W \quad \text{AND} \quad \Delta^*e < 0, \Delta e(k) > r\Delta e(k-1) \\ \text{THEN} \quad k'_{30} = \beta \cdot k_{30}$$

其中: $0 < \alpha < 1$, $0 < \beta < 1$, $r = 1 \sim 2$, 我们这里选用 $\alpha = \beta = 0.8$, $r = 2$ 。

电弧控制同样采用一个专家系统来进行决策控制, 它根据产生电弧时炉内各主要参数的状态, 进行推理判断, 决定保持电弧, 降压减弧, 间断熄弧或强制熄弧等各种决策, 使电弧控制在一定的频率, 一定的强度下进行以保证在不损坏工件表面质量情况下达到清洗表面的目的, 从而加快了处理过程。

四、微机控制系统的组成

微机控制系统的结构如图3。这里采用PZ-80A作为控制主机, 由于渗金属炉生产周期较长, 其间经常需要更改一些参数, 为减轻主机负担、提高运行速度, 故采用一台LASER310作为专用的键盘机, 处理输入数据并进行一些辅助运算, 键盘机和主机之间的联系由总线开关控制器通过总线请求方式来实现。

根据生产、调试的需要, 系统设有手动操作机构。为配合手操作, 同时便于检查计算机系统工作正确与否, 系统的显示记录部分采用了模拟和数字的双重方式。控制系统在自动工作方式时, 通过CRT显示生产全过程的工况, 在开始阶段, 采用问答式输入方式, 输入全部数据, 经核

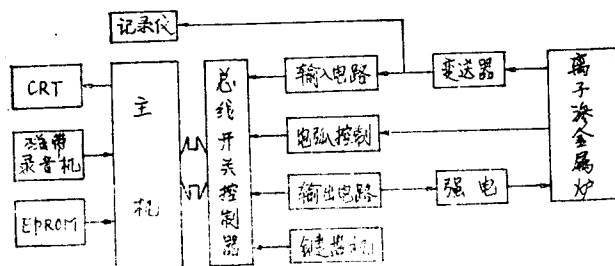


图3 微机控制系统组成

认可后, 系统自动启动。在升温 and 降温阶段, 屏幕显示渗金属炉有关的各部分整体结构图, 并用特殊光标来指示系统当前的进程以及炉内温度变化的情况。转入恒温处理后, 改由屏幕显示炉内温度的工况曲线以及系统一些主要控制参数。因此, 通过屏幕显示就可以看到生产过程当前的进展情况。

微机控制系统的全部应用程序都固化在一块由6块2764组成的外部ROM上, 占有48K存储量, 当在键盘机上按下“START”键后, 就自动地将全部应用程序由外部ROM转移到主机内部RAM中, 而后自动启动系统开始工作。

主机同渗金属炉之间通过三个部分进行联接:

(1) 输入通道板: 它包括16路12位模拟量输入和8路开关量输入。来自渗金属炉及强电部分的温度、电压、电流及气压等14个模拟信号经隔离后送入A/D转换器, 转换的结果经总线开关控制器及接口电路送入主机。为统一各路模拟信号的量程, 在输入电路中还设置有可编程放大器, 通过编程可在1~128倍范围内得到可靠的线性放大。