



21 世纪高职高专系列教材

ERSHIYI SHIJI GAOZHI GAOZHUAN XILIE JIAOCAI



机电一体化综合实践指导

JIDIAN YTIHUA
ZONGHE SHIJIAN ZHIDAO

刘亚梅 / 主 编



NORTHEAST NORMAL UNIVERSITY PRESS
WWW.NENUP.COM

东北师范大学出版社



21 世纪高职高专系列教材

机电一体化综合实践指导

JIDIAN YITIHUA ZONGHE SHIJIAN ZHIDAO

刘亚梅 / 主 编 ●

副 主 编：王 志 强、王 志 强、王 志 强
参 考 书：王 志 强、王 志 强、王 志 强

吉林出版集团有限责任公司
长春市人民大街4646号
邮编：130021
电话：0431-8292222
网址：http://www.jlpp.com.cn
电子邮箱：jlcbs@jlcbs.com.cn
吉林出版集团有限责任公司
长春市人民大街4646号
邮编：130021
电话：0431-8292222
网址：http://www.jlpp.com.cn
电子邮箱：jlcbs@jlcbs.com.cn



NORTHEAST NORMAL UNIVERSITY PRESS
WWW.NENUP.COM

东北师范大学出版社 长 春

内 容 提 要

本书是作者结合多年实践教学经验,参阅最新资料编写而成的,主要以机电一体化专业实践教学为主线,从综合实验、课程设计、毕业设计到生产实践,内容涉及机械与电子专业的各个方面,由浅入深,系统而全面地讲解了机械结构、机械零件的设计及应用,电子技术、计算机技术及数控技术在机械运动控制方面的应用与设计。

第1章主要讲述步进电机的工作原理及使用方法,数字PID控制算法实验,小型数控设备的拆装及控制实验。第2章以电子钟、材料分拣、双坐标十字滑台作为课程设计的具体实例,讲述了机械结构、零件的设计、计算以及电气控制原理图的设计思路。第3章详细讲述了毕业设计的目的、要求及毕业论文的撰写。第4章着重讲述了生产实践这一实践性教学环节的意义、目的及要求。全书充分体现了科学性、实践性及实用性,每章开篇均有学习的基本要求、重点及难点提示,结尾配有思考题,第3章还有毕业设计参考选题,以便于自学。

图书在版编目(CIP)数据

机电一体化综合实践指导/刘亚梅主编. —长春:
东北师范大学出版社, 2006.7
ISBN 7-5602-4562-5

I. 机... II. 刘... III. 机电一体化—高等学校—
教学参考资料 IV. TH-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 071811 号

☐责任编辑:王宏志 ☐封面设计:宋 超
☐责任校对:曲 颖 ☐责任印制:张允豪

东北师范大学出版社出版发行
长春市人民大街 5268 号 (130024)
电话:0431—5687213 5691263
传真:0431—5691969

网址: <http://www.nenup.com>
电子函件: sdcbs@mail.jl.cn

广告许可证:吉工商广字 2200004001001 号

东北师范大学出版社激光照排中心制版
制版热线:0431-5680137 0431-5693036 转 2098

长春市新世纪印业有限公司印装
长春市经济开发区浦东路1788号(130033)

2006年9月第1版 2006年9月第1次印刷

幅面尺寸:185 mm×260 mm 印张:10.125 字数:225 千
印数:0 001—3 000 册

定价:12.50 元

如发现印装质量问题,影响阅读,可直接与承印厂联系调换

本书编者

主 审 程 凯

主 编 刘亚梅

副主编 于保军 岳晓峰 王玉梅

编 者 刘亚梅 于保军 岳晓峰

王玉梅 毛志阳 王晓东

前 言

机电一体化综合实践是机电一体化专业的重要实践环节,是在学习了“机械设计基础”、“机械制造技术基础”、“微机原理及接口技术”、“计算机控制技术”、“数控技术”等课程的基础上开设的一个综合运用所学理论知识,完成工程师基本训练的重要实践性教学环节。它对学生理解、巩固、深化和应用所学理论,培养学生分析和解决生产、工程实际问题的能力,对培养和锻炼学生的工程概念、劳动观点和群众观点,都起着重要作用。通过机电一体化综合实践,可以缩短从学生到工程技术人员的距离。

本课程的特点主要表现在综合性和实用性上,通过该环节的训练,培养学生综合运用知识的能力和综合实践能力。

机电一体化技术的本质是将电子技术引入机械控制中,即利用传感器检测机械运动,将检测信息输入计算机,得到能够实现预期运动的控制信号,使运动机械实现柔性化和智能化。一个机电一体化系统主要由机械装置、执行装置、动力源、传感器和计算机五个要素构成,如机器人就是一个十分典型的机电一体化系统。

目前,多数高职高专学校的实验教学、实训条件落后,实践训练水平有待提高。尽管具备一些专业基础课及专业课的实验设施,但基本上都以验证性、演示性为主,缺少融合机与电为一体的综合性实验或综合性课程,影响了专业技能和工程实践能力的提高。教学实训设施也大大落后于当今企业,实践训练水平不高,急需采用与企业合作等方式来全面提高实践教学水平。高职高专教育要保持其自身的特色,必须强化专业方向,加强动手能力的培养,充分考虑与地方经济的紧密结合,可完成有针对性的就业前培训。

本书侧重于实际应用,从综合实验、课程设计、毕业设计、生产实践四大主要实践教学环节进行讲解。这四个教学环节在内容与工作量上由少到多,从简到繁,环环相扣,涵盖了机电一体化专业的机械、电气控制、程序设计等专业内容,做到了机械技术与电气、计算机技术的有机融合。在实例选取上,力求做到选用当前工厂工程实际中常用的

机械及电气控制技术,如机械传动部件、气压、液压系统的设计,电气控制部分的设计(PLC和C8051),程序设计,以及机电结合的分析与设计等。

本书第1章由刘亚梅、王玉梅编写,第2章的2.1,2.2.2,第3章的3.1~3.4,3.5.1及第4章由刘亚梅编写,第3章的3.5.2,3.5.3及3.6由于保军、岳晓峰编写,毛志阳、王晓东参与编写了第4章4.2的部分内容。

由于时间仓促,本书在编写过程中难免有疏漏之处,敬请读者批评指正。

本书由长春工业大学程凯教授主审。

编者

2006年5月

目 录

第 1 章 综合实验	1
1.1 步进电机控制实验	1
1.2 数字 PID 及其算法计算机控制实验	7
1.3 小型数控设备拆装及控制实验	11
第 2 章 课程设计	14
2.1 课程设计的目的和要求	14
2.2 课程设计实例	14
第 3 章 毕业设计	40
3.1 毕业设计的目的和要求	40
3.2 机电类毕业设计的特点	41
3.3 毕业设计说明书的撰写	43
3.4 毕业设计说明书的格式	46
3.5 毕业设计实例	47
3.6 毕业设计参考选题	108
第 4 章 生产实践	112
4.1 数控加工	113
4.2 数控车削加工	119
4.3 数控铣削加工	131
参考文献	142

第1章

综合实验

【基本要求】本章要求学生掌握步进电机工作原理、步进电机驱动电路原理及其控制方法，数字PID算法以及采用模拟电路实现PID调节的软、硬件控制方法，小型数控设备的组成及控制方法。

【重点】步进电机工作原理、数字PID算法。

【难点】PID调节的实现方法。

1.1 步进电机控制实验

1.1.1 混合式步进电机工作原理

步进电机按工作原理可分为电磁式、反应式、永磁式及混合式四类。其中，混合式步进电机从定子或转子的导磁体来看，如同反应式步进电机，所不同的是它的转子上置有磁钢。从它的磁路内含有永久磁钢这一点来说，又可以说它是永磁式，但因其结构不同，使其作用原理及性能方面都与永磁式步进电机有明显区别。它好像是反应式和永磁式的结合，所以常称为混合式。混合式步进电机具有驱动电流小、效率高、过载能力强、控制精度高等特点，是目前市面上应用最广泛的一种步进电机。

图1-1所示的是两相混合式步进电机的剖面示意图。定子上有两个等分的磁极，相邻两个磁极间的夹角为 90° 。磁极上面装有控制绕组且联成A、B两相，转子上均匀分布两个齿，齿间夹角为 180° 。以A和B表示两相绕组正向电流工作， $\bar{A}$ 和 $\bar{B}$ 表示反向电流工作，可实现：

(1) 两相激励四拍整步运行方式，即 $AB \rightarrow$

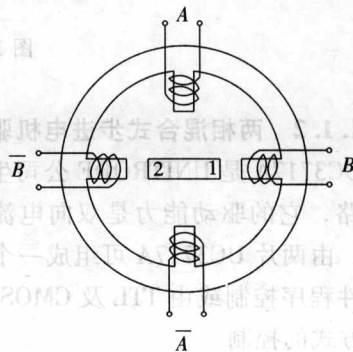


图1-1 两相混合式步进电机剖面示意图

$\overline{A}\overline{B} \rightarrow \overline{A}B \rightarrow A\overline{B}$ 或单相激励的四拍运行方式, 即 $A \rightarrow A \rightarrow \overline{A} \rightarrow \overline{B}$ 。

(2) 八拍半拍运行方式, 即 $AB \rightarrow B \rightarrow \overline{A}B \rightarrow \overline{A} \rightarrow \overline{A}\overline{B} \rightarrow \overline{B} \rightarrow A\overline{B} \rightarrow A$ 。

此外还有 $1/4$ 步距的运行方式和微步距控制运行方式, 这里不一一叙述。本节以八拍半拍运行方式为例, 讲述其工作原理。从图 1-2 可看出, (a) 图为当 A, B 两相同时正向通电时, 转子受到两相转矩的矢量和而转至该位置, (b) 图为 B 相通电瞬间时转子的受力情况, (c) 图为 A 相接反向电流, 而 B 相接正向电流时转子受到两相转矩的矢量和而转到该位置, 依此类推, 可得出八拍半拍运行方式 (图中只给出了前三拍运行方式)。由此可将该步进电机转矩的大小及工作方式用图 1-3 表示出来。当两相同时通电时, 转矩由两相转矩矢量合成, 比单相转矩要大 (约 1.414 倍)。为使步进电机匀速转动, 应保持各拍转矩相等, 故应使相电流降低到 60%, 由于磁路原先有饱和效应, 此时每相转矩可能增大到 70% 左右, 两相合成转矩则接近于 1。

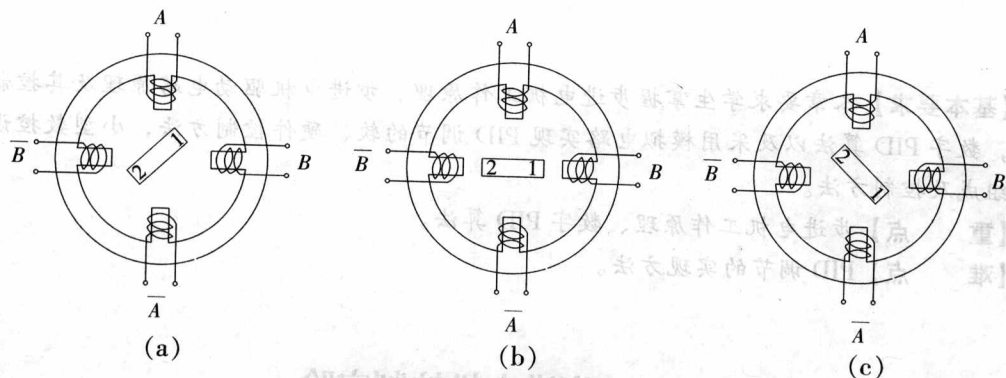


图 1-2 步进电机运行方式

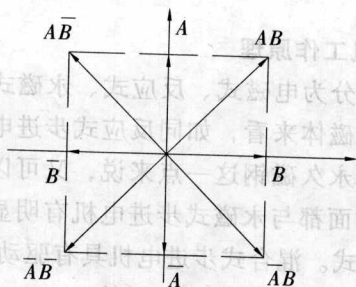


图 1-3 步进电机转矩的工作方式

1.1.2 两相混合式步进电机驱动器

UC3717A 是 UNITRODE 公司生产的适用于小功率步进电机一相绕组双极性驱动的集成电路, 它的驱动能力是双向电流 1 A, 步进电机供电电压范围为 10~46 V。如图 1-4 所示, 由两片 UC3717A 可组成一个两相永磁式或混合式步进电机的微机控制系统。由微机软件程序控制或由 TTL 及 CMOS 数字电路硬件控制均可产生两相控制信号, 实现几种运行方式的控制。

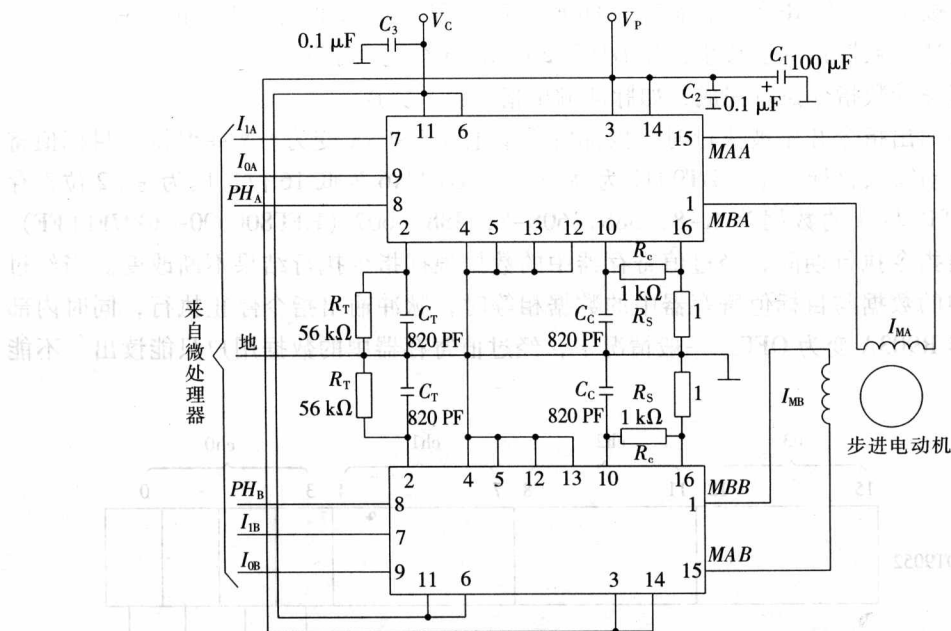


图 1-4 两相混合式步进电机驱动器

1.1.3 软件设置

1. 设置步进电机控制指令控制字

本实验软件采用松下 FPO 型 PLC，它的步进电机指令控制字为 DT9052，它有两路脉冲输出功能，可以同时控制两路步进电机。脉冲的输出和停止可以是当程序执行到一定的结果时完成，也可以是利用外部信号随时终止脉冲输出或启动脉冲输出。

设定特殊数据寄存器 DT9052 需要使用 F0 (MOV) 指令，将对应的控制字送入 DT9052 中。以下是 CH0 的几种控制示例：

允许软件复位……………H1 (0001)

高速计数禁止……………H2 (0010)

停止脉冲输出……………H8 (1000)

停止脉冲输出并且复位高速计数经过值……………H9 (1001)

2. 步进指令使用的特殊内部继电器、特殊寄存器

通道	特殊内部继电器	经过值寄存器	目标值寄存器
0CH	R903A	DT9044-DT9045	DT9046-DT9047
1CH	R903B	DT9048-DT9049	DT9050-DT9051

特殊内部继电器的状态是根据程序的执行状态来改变的，用户只可以读出其中的状态是 ON 还是 OFF，而不可以改写。以 0CH 为例，R903A 当 0CH 正在执行高速计数器指令 (F166-F170) 时为 ON。当 R903A 为 ON 期间，与 0CH 有关的高速计数指令 (F166-

F170) 不会被执行。使 R903A 状态变为 OFF 的情况可以是以下两种情况中的一种:

- (1) 高速计数器指令被禁止, 如 DT9052 的 BIT3 被送入了 1。
- (2) 高速计数指令执行完成, 如脉冲输出指令执行完成。

当脉冲输出指令开始被执行时, 内部特殊继电器 R903A 变为 ON 并保持, 目标值寄存器中被自动写入目标数据。DT9047 为高 16 位, DT9046 为低 16 位, 因为是 32 位寄存器, 所以可以写入的数据为 K-8, 388, 608-8, 388, 607 (HFF800000-H007FFFFF)。在脉冲输出指令执行期间, 经过值寄存器中的数据根据指令执行结果不断改变。当经过值寄存器中的数据与目标值寄存器中的数据相等时, 脉冲输出指令停止执行, 同时内部特殊继电器 R903A 变为 OFF。一般情况下, 经过值寄存器中的数据用户只能读出, 不能改写。

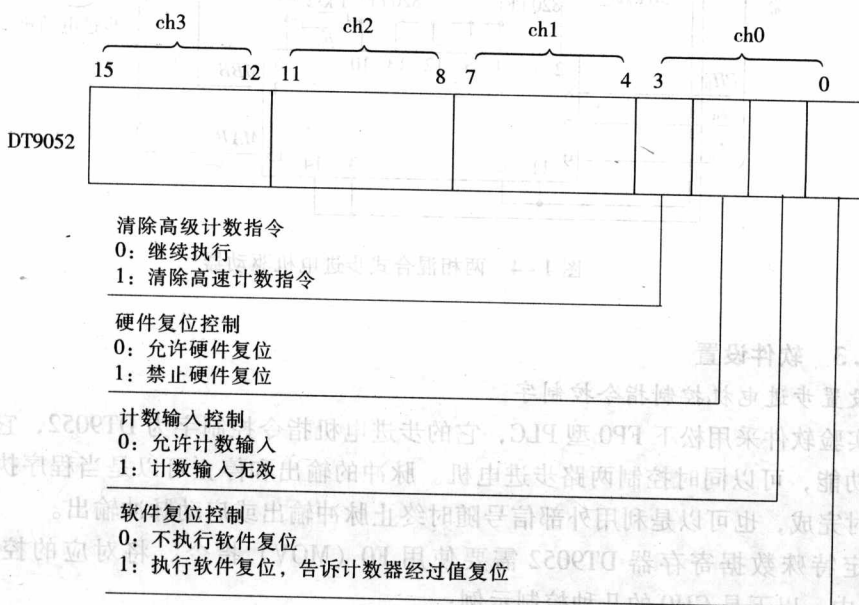
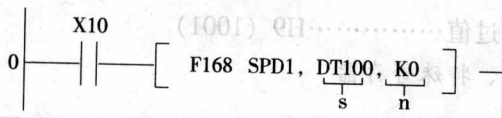


图 1-5 特殊数据寄存器 DT9052 的设置

3. 脉冲输出指令 F168

(1) 指令格式



其中: s——脉冲输出指令应读取的数据表首地址, 数据表占据相邻的 7 个寄存器;

n——只能被写入 K0 或 K1;

K0——脉冲输出使用 CH0, Y0 输出脉冲信号, Y2 输出方向控制信号;

K1——脉冲输出使用 CH1, Y1 输出脉冲信号, Y3 输出方向控制信号。

(2) 数据表设置 [S] ~ [S+6]

其中: S——控制代码;

S+1——初始启动频率 (Hz), 范围 K40~K5 000;

S+2——脉冲运行频率 (Hz), 范围 K40~K9 500;

S+3——加速/减速时间 (ms)，范围 K30~K32 767；

S+4, S+5——脉冲目标值个数设定，范围 K~8 388 608~8 388 607；

S+6——脉冲输出指令表结束，必须写入“K0”。

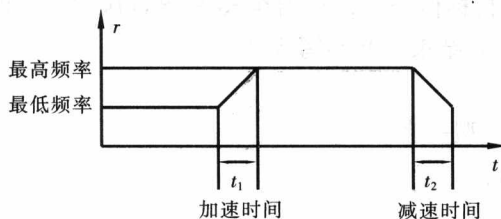


图 1-6 脉冲输出示意图

(3) 控制代码设定

脉冲宽度设定

0: 50%占空比

1: 固定脉冲宽度 (80 μs)

操作模式与方向控制

00: 不使用相对控制方式

02: 相对控制 (前进 OFF/后退 ON)

03: 相对控制 (前进 ON/后退 OFF)

10: 不使用绝对控制方式

12: 绝对控制 (前进 OFF/后退 ON)

13: 绝对控制 (前进 ON/后退 OFF)

20: 不使用原点返回控制

22: 原点返回控制，方向输出 OFF

23: 原点返回控制，方向输出 ON

H

图 1-7 控制代码设定

1.1.4 实验

一、实验目的

1. 掌握步进电机的工作原理。
2. 熟悉如何对步进电机带动传动部件进行转向、速度、行程控制的方法。

二、实验原理

1. 系统的机械结构

立体仓库的 X, Y 向工作台分别由两个相同的两相八拍混合式步进电机与执行部件滚珠丝杠相连，将旋转运动转换为工作台的直线运动，转换关系如下：

$$L = \frac{Nt\theta}{360n}$$

其中：L——工作台所走的直线位移；

N——PLC 发出的控制脉冲个数；

t——丝杠螺距；

θ——步进电机步距角；

n——步进电机驱动器的脉冲细分数。

2. 软件对应的脉冲控制指令数据表

DT100: 控制代码为 H102, 固定脉宽、相对控制方式，增量输出；

- DT101: 初始启动频率 (Hz), 范围在 K40~K5 000;
 DT102: 脉冲运行频率 (Hz), 范围在 K40~K9 500;
 DT103: 加速/减速时间 (ms), 范围在 K30~K32 767;
 DT104, DT105: 脉冲目标值个数, 范围在 K-8 388 608~K8 388 607;
 DT106: 脉冲输出指令表结束, 必须写入 "K0".

三、实验所用仪器

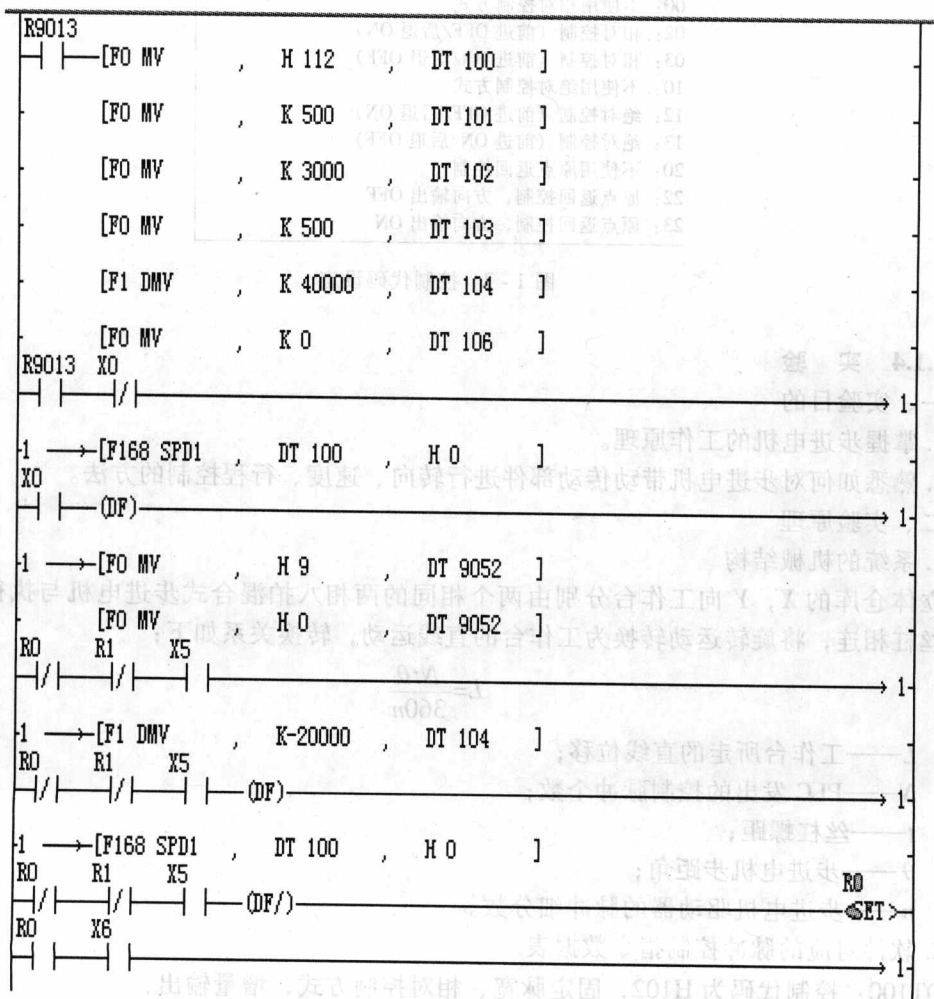
1. TVT-99C 立体仓库模型一套。
2. 奔 II 以上计算机一台。

四、实验步骤和方法

1. 熟悉编程环境, 输入所编制的程序。
2. 接通立体仓库电源、串口通讯线。
3. 将程序下载至 PLC 并运行。

五、实验内容

令 Y 向步进电机运动, X 向不动 (附参考程序清单, 即梯形图)。



1.2 数字 PID 及其算法计算机控制实验

1.2.1 PID 算法的数字化

计算机控制的主要任务就是设计一个数字调节器,常用的控制方法有程序和顺序控制、比例—积分—微分控制(简称 PID 控制)、直接数字控制、最优控制、模糊控制等。本节以 PID 算法为例,讲述计算机控制方法。

在数字控制系统中,用数字调节器来模拟调节器。其调节过程是首先把过程参数进行采样,并通过模拟量输入通道将模拟量变成数字量,这些数字量由计算机按一定控制算法进行运算处理,运算结果由模拟量输出通道输出,并通过执行机构去控制生产,以达到给定值。

PID 调节是 Proportional (比例)、Integral (积分)、Differential (微分) 三者的缩写,其实质就是根据输入的偏差值,按比例、积分、微分的函数关系进行运算,其运算结果用以输出控制。

在模拟系统中, PID 算法的表达式为

$$Y(t) = K_p \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right] \quad (1-1)$$

式中: $Y(t)$ ——调节器的输出信号;

$e(t)$ ——调节器的偏差信号,它等于测量值与给定值之差;

K_p ——调节器的比例系数;

T_i ——调节器的积分时间;

T_d ——调节器的微分时间。

由于计算机控制是一种采样控制,它只能根据采样时刻的偏差值来计算控制量。因此,在计算机控制系统中,必须首先对式(1-1)进行离散化处理,用数字形式的差分方程代替连续系统的微分方程:

$$\int_0^t e(t) dt = \sum_{j=0}^n E(j) \Delta t = T \sum_{j=0}^n E(j) \quad (1-2)$$

$$\frac{de(t)}{dt} \approx \frac{E(k) - E(k-1)}{\Delta t} = \frac{E(k) - E(k-1)}{T} \quad (1-3)$$

将式(1-2)和式(1-3)代入式(1-1),则可得到离散的 PID 表达式:

$$Y(k) = K_p \left\{ E(k) + \frac{T}{T_i} \sum_{j=0}^n E(j) + \frac{T_d}{T} [E(k) - E(k-1)] \right\} \quad (1-4)$$

式中: $\Delta t = T$ ——采样周期,必须使 T 足够小,才能保证系统有一定的精度;

$E(k)$ ——第 k 次采样时的偏差值;

$E(k-1)$ ——第 $k-1$ 次采样时的偏差值;

k ——采样序号, $k=0, 1, 2, \dots$;

$Y(k)$ ——第 k 次采样时调节器的输出。

1.2.2 计算机控制组合实验装置

该实验装置由计算机、A/D&D/A 卡及计算机控制原理实验箱组成, 其中计算机根据不同的实验分别起信号产生、测量、显示、系统控制及数据处理的作用, 模拟电路起模拟被控对象的作用。实验箱中备有 7 个运算放大器。集成运算放大器与电阻、电容相配合, 可以构成多种特性的被控对象, 如典型环节的阶跃响应、控制系统稳定性分析、数字 PID 控制等都可以该套实验装置上模拟完成。A/D&D/A 卡起模拟信号与数字信号的相互转换作用, 可根据实验的要求产生不同的信号 (阶跃、三角、正弦)。使用时用 RS232 串行通讯口电缆将 A/D&D/A 卡与计算机相连即可。实验可以在计算机屏幕上显示出模拟曲线与计算结果。如果实验系统配备打印机则可以在实验的同时将实验结果打印输出。

1.2.3 实验

一、实验目的

1. 研究 PID 控制器的参数对系统稳定性及过渡过程的影响。
2. 研究采样周期 T 对系统特性的影响。
3. 研究 I 型系统和 II 型系统的稳态误差。

二、实验原理

1. 系统结构框图如图 1-8 所示:

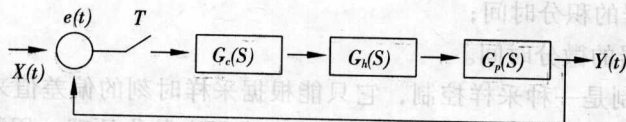


图 1-8 系统结构框图

图中: $G_c(S) = K_p(1 + \frac{K_i}{S} + K_d S)$

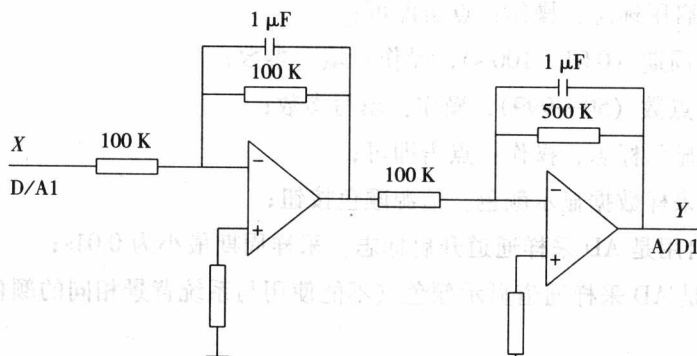
$$G_h(S) = (1 - e^{-sT})S$$

$$G_p(S) = \frac{5}{(0.5S+1)(0.1S+1)}$$

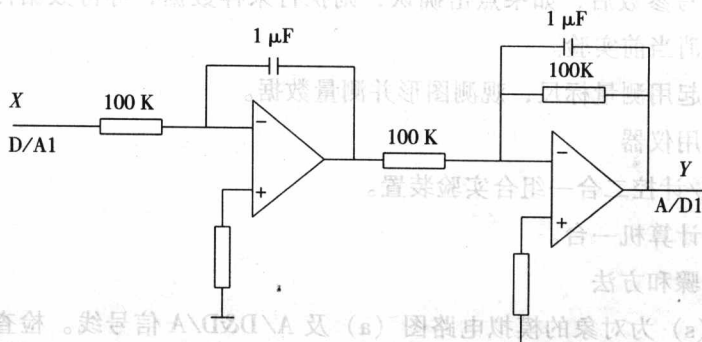
$$G_p(S) = \frac{1}{S(0.1S+1)}$$

2. 开环系统 (被控制对象) 的模拟电路见图 1-9, 其中, 图 (a) 对应于 $G_p(S)$, 图

(b) 对应于 $G_{p_2}(S)$ 。



(a)



(b)

图 1-9 开环系统模拟电路

3. 被控对象 $G_{p_1}(S)$ 为“0型”系统，采用 PI 控制或 PID 控制，可使系统变为“Ⅰ型”系统，被控对象 $G_{p_2}(S)$ 为“Ⅰ型”系统，采用 PI 控制或 PID 控制可使系统变成“Ⅱ型”系统。

4. 当 $r(t)=1(t)$ 时（实际是方波），研究其过渡过程。

5. PI 调节器及 PID 调节器的增益。

$$G_c(S) = \frac{K_p}{1 + \frac{K_i}{S}} = \frac{K_p K_i \left(\frac{1}{K_i} S + 1 \right)}{S} = \frac{K(T_i + 1)}{S}$$

式中： $K=K_p K_i$ ， $T_i = \frac{1}{K_i}$ 。

不难看出 PI 调节器的增益 $K=K_p K_i$ ，因此在改变 K_i 时，同时改变了闭环增益 K ，如果不想改变 K ，则应相应改变 K_p 。

6. 使用软件

(1) 打开软件，在实验课题菜单中选中数字 PID 控制实验，或者在左栏快捷区选中数字 PID 控制实验项目条，双击即可。

(2) 在弹出的对话框中填写参数。

① 打开 AD 启用标志, 操作: 点击即可;

② 填写采样周期 (0.01—100 s), 操作: 填写参数;

③ 填写采样点数 (50—999), 操作: 填写参数;

④ 打开 AD 显示标志, 操作: 点击即可;

⑤ 选择 AD 采样数据显示颜色, 信源颜色按钮;

注意: AD 启用是 AD 采样通道开启标志, 采样周期最小为 0.01s;

⑥ AD 显示是 AD 采样通道显示颜色 (不能使用与系统背景相同的颜色填写相关参数 V , K_p , K_i , K_d)。

注意: 电压给定不要超过范围限制。

(3) 完成填写参数后, 如果点击确认, 则执行采样数据, 等待数据传输完成; 如果点击取消, 则取消当前实验。

(4) 完成后起用测量标尺, 观测图形并测量数据。

三、实验所用仪器

1. CAT 自控/计控二合一组合实验装置。

2. 奔 II 以上计算机一台。

四、实验步骤和方法

1. 连接 $G_{p1}(s)$ 为对象的模拟电路图 (a) 及 A/D&D/A 信号线。检查无误后, 接通 12 V 电源。

2. 输入采样周期 T (参考值 $T=0.05$)。

3. 输入参数 K_p , K_i , K_d (参考值 $K_p=1$, $K_i=2$, $K_d=0$)。

4. 观察响应曲线, 若不满意, 改变 K_p , K_i , K_d 的数值。

5. 取满意的 K_p , K_i , K_d 值, 观察有无稳态误差。

6. 断开电源, 连接模拟电路图 (b), 并接上 A/D&D/A 信号线。

7. 接通电源, 重复步骤 2~7。

五、实验报告要求

1. 画出所做实验的模拟电路图。

2. 当被控对象为 $G_{p1}(s)$ 时, 取过渡过程为最满意时的 K_p , K_i , K_d , 画出校正后的 Bode 图, 查出相对稳定裕量 γ 和穿越频率 ω_{∞} 。

3. 比较对象为 $G_{p1}(s)$ 和对象为 $G_{p2}(s)$ 时三角波输入情况下的稳态误差。