

MCS-98 单片机全数字PWM伺服系统

李 庆 民

摘要: 本文对全数字 PWM 伺服系统进行了全面的分析和讨论, 并提出一套用16位单片机MCS-98构成的双闭环伺服控制方案, 文章对数字控制方面的主要问题如采样频率的选择、校正环节数字化方法, 用计算机数字化产生的非线性等问题进行了较深入的探讨。

在硬件上, 改进了8098内部的A/D转换器, 并设计了高分辨率数字PWM控制器, 改进了通常PWM输出方法。本文还对数字系统低速平稳性问题进行了分析, 提出一系列改善措施, 文章给出了较完善的数字PWM系统设计方法及实验性能测试结果。

一、前 言

近年来, 随着单片机技术的不断提高, 使得利用微处理器设计控制器逐渐成为控制领域中一个独立的分支——数字控制系统。特别是16位单片机的出现, 以其快速的实时处理能力, 使高精度纯数字实时控制的应用成为可能。单片机的应用, 克服了模拟系统的弊病。并且可以由原来的线性校正变成非线性校正, 由简单控制规律变成复杂的各种类型的函数规律, 数字控制也便于与高精度数字部件(如高分辨率编码器, CCD测角仪)相匹配, 从而从根本上减小了静态误差。

本文根据实际课题对伺服系统的要求, 提出了一套用16位单片机MCS-98构成的双闭环全数字控制方案。这种单片机控制方案较之模拟控制手段有以下几方面优点:

- (1) 控制精度高;
- (2) 无直流漂移;
- (3) 易改变控制方式和控制参数;
- (4) 体积小, 成本低, 便于系统模块化。

二、系统的工作原理及结构框图

所谓全数字, 即传动系统的内环、外环校正全部采用数字方法。系统主要包括如下几部分: 单片机开发系统及 I/O 接口电路, 数字调宽波输出, 脉宽调制功率放大器, 直流测速机, CCD测角仪。系统硬件结构如图 1。

工作原理如图 2, 虚线框内由单片机实现。

系统基本工作过程: 单片机采样, 将 CCD 测角仪的数字量输出即代表电机反射镜偏转实际位置的反馈信息, 直接取入, 与代表目标位置的信息量相比较, 求出误差值, 经位置校正运算和数字放大, 作为速度回路的输入信号, 再经过速度回路的校正运算和数字放

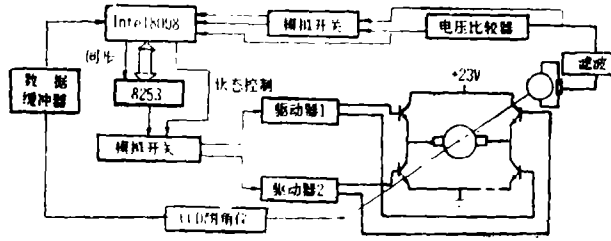


图 1

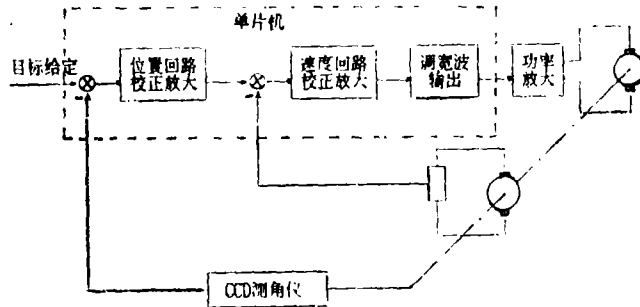


图 2

大，脉宽调制输出，功率放大驱动力矩电机，控制反射镜向消除偏差的方向旋转，直到达到一定精度。

对伺服系统的技术要求：

1. 设计一个带宽 $W = 1501/s$ 的速度回路，为今后的电视自动跟踪伺服系统打基础。
2. 实现以 CCD 测角仪为检测元件的零位锁定系统。即在未输入其它工作方式时，系统反射镜能自动指向主光轴，其偏差应小于 $\pm 2''$ 。

三、数字控制器分析

综合和设计一个计算机控制系统，实际上就是如何按照预定的控制要求进行数字控制器的设计，也就是求取计算机的控制算法或程序。

本文采用模拟化分析方法，其基本思想是如果计算机所选的采样频率同系统的带宽相比足够宽，便可将系统的数字部分等效成一个连续环节来处理，经过连续域设计出的校正环节 $D(s)$ ，要用计算机实现，必须先把校正环节离散化，即由 s 域变成 z 域。具体离散化方法很多，本文重点对双线性变换法进行了分析，得出如下结论：

双线性变换法可保证 s 域、 z 域的单值对应，具有串联特性，并且经过预修正后又可避免在主频率处的畸变，易于用计算机实现。预修正双线性变换的实用计算公式：

$$D(z) = D(s) s = \frac{W_t}{\operatorname{tg} \frac{W_1 T}{2}} \frac{z-l}{z+l} \quad (1)$$

用计算机实现数字校正时，由于机器字长所限，可能引入两种类型的非线性，即信号的量化误差和饱和非线性、量化误差影响最小有效位，而饱和非线性范围。为避免上述问题，

本文结合实验提出了一种新的算法。其主导思想是在原算法上增加一个乘 α 和除 α 的环节，将随误差信号的大小而取值，并实现多段控制（从而减小了信号的量化误差及饱和非线性）。这种方法既扩大了数字校正线性工作范围，又可保证精度是一种适用于高增益数字系统校正的有效方法。

采样频率的选择，对数字系统的性能至关重要。文章对制约采样频率的诸多因素进行了分析，并指出作为随动系统，采样频率的选择在很大程度上取决于系统的动态品质要求。因此，采样频率的选择主要考虑系统的频带和时间滞后。采样过程的主要问题是给系统带来滞后，降低采样频率，将降低系统的稳定储备，甚而导致系统不稳定，系统带宽也受采样频率的限制。根据经验，在高精度跟踪系统中，采样频率一般要求为系统带宽的十倍以上。本系统采样频率确定为400周。产生的附加相位滞后为 0.375° 。因此，可以乎略不计。

文章还对脉宽调制PWM原理、特性及设计方法进行了分析和论述。

四、数字控制器设计

1. 双环路校正设计

被控对象传递函数

$$\frac{K_1}{(T_m s + 1)(T_e s + 1)} = \frac{66.3}{(1.59s + 1)(0.001s + 1)} \quad (2)$$

其中： K_1 ：功放及电机放大系数和测速机反馈系数

T_m ：机械时间常数

T_e ：电机电气时间常数

速度回路，根据 $K\alpha$ 的要求及为今后电视跟踪系统采用100周场频考虑，确定截止频率 $\omega_c \geq 150$ 1/s，根据低速平稳性的要求，确定开环增益 $K_e = 2000$ 为此采用了串联校正，校正环节传函：

$$D_c(s) = \frac{K_e (0.0294s + 1)}{(0.222s + 1)(0.002 + 1)} \quad (3)$$

其中： $K_e = K_1 / K_2$

系统闭环期望特性及校正装置频特如图3。

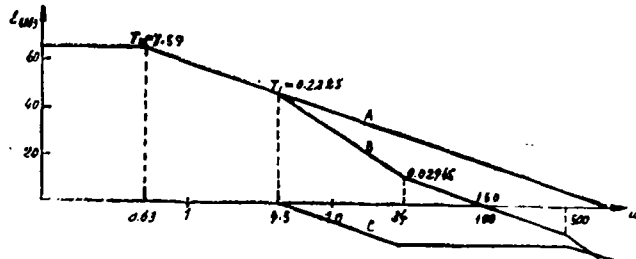


图3 A—未校正的特性
B—校正后的特性
C—校正环节特性

闭环速度回路的等效传函为振荡环节：

$$\Phi A(s) = \frac{K_1 \Omega}{0.0067^2 s^2 + 0.0067s + 1} \quad (4)$$

位置回路传感器为CCD测角仪,测角范围为 $\pm 17'$,其分辨率为 $\pm 0.7''$,采样频率 $200c/s$,为实现 $\pm 2''$ 的指向精度,希望系统有较高的 K 值,通常位置校正是引入积分-微分环节,即 $\frac{Ts+1}{\tau s+1}$,这样要取得较大的 K 值有两种方法:一是截止频率 W_c 不变, T 加大,另一种是 T 不变,加大 W_c ,但 W_c 的增加将受采样频率、谐振特性的限制,并且易引入噪声, T 值过大对系统动态过程不利。为此,本文采用了双滞后双微分法进行校正,这样可在较小的 T 、 W_c 时,取得较大的 K 值,可提高系统锁定精度。位置回路中引入如下校正环节:

$$D_2(s) = \frac{40(0.24s+1)^2}{(5s+1)(1.22s+1)} \quad (5)$$

这样,系统的速度品质因数 $K_v = 1850$,校正频率特性如图4。

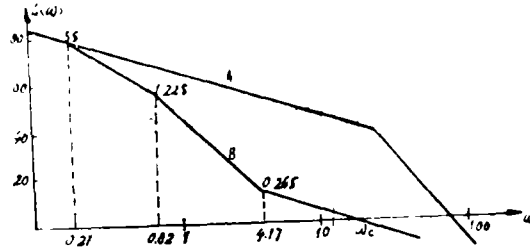


图4 A—未校正特性 B—期望特性

2. 数字控制器的实现

对双环路校正环节按公式(1)进行双线性变换。

速度回路: (3)式转换后为:

$$D_1(z) = 5.6 \left(1 + \frac{0.184z^{-1}}{1 - 0.982z^{-1}} + \frac{-0.708z^{-1}}{1 + 0.22z^{-1}} \right) \quad (6)$$

经过差分变换得到其中并联结构的控制算法(省略)。

基于非线性考虑,引入 α 算子。 α 取值为:

(1) 输入信号 $e \leq 60q$ 时 ($q = 2^{-15}$)

$$\alpha = 1$$

(2) 当 $60q \leq e < 1200q$ 时

$$\alpha = 0.01$$

(3) 当 $e > 1200q$ 时

$$\alpha = 0.0045$$

位置回路: 由(5)式变换为:

$$D_2(z) = 38 \left(1 + \frac{0.028z^{-1}}{1 - 0.998z^{-1}} + \frac{0.020z^{-1}}{1 - 0.992z^{-1}} \right) \quad (7)$$

经差分变换得到控制算法。为克服饱和和非线性,位置回路采用开关控制,即:设 $E(i)$ 为角误差, E_L 为线性区值, E_M 为中间域值。

当 $|E(i)| \leq E_L$, 接线性校正运算。

当 $E_L < |E(i)| \leq E_M$, 采用比例校正,平稳过渡到线性区,取值根据实验测定。

当 $|E(i)| > E_M$ 时,以最大控制值 U_M 输出。实验测得 $U_M = 0708H$ 。

3. 硬件设计

整个系统硬件设计包括A/D的改进,数字PWM转换器及脉宽调制功率放大器的构成, CCD测角仪数字量取入接口的设计等几部分。

测速机的输出包括正反转两种状态,即双线性。而8098内部所带A/D仅为单极性。为此设计采用了LM339和CD4066构成电压过零比较器。对馈入量进行状态与数值分离,并配以软件识别,实现了双极性输入,且保证了原A/D的分辨率。

数字PWM的分辨率直接影响系统的调速范围。本文在实践的基础上,用可编程定时/计数部件8253构成了一种高分辨率数字PWM转换器。其特点:通过改变触发信号的频率,并送入一定计数值,可产生任意频率的调宽波。因此,可按设计指标要求,通过软件设置其分辨率和脉冲频率。PWM最高分辨率为16位。由于篇幅有限,其它部分省略。

文章对系统噪声干扰进行了分析、处理,并采用了模拟、数字混合滤波方法。

4. 软件设计

本系统软件是在AST286系统机管理下,用8098汇编语言编写的,并采用了模块化结构,以便于编辑和调试。按功能分为:

- (1) 初始化
- (2) 数据采集
- (3) 数字处理(数字滤波)
- (4) 位置回路校正算法
- (5) 速度回路校正算法
- (6) 数字PWM输出

整个程序由两大部分组成:主程序和中断服务程序。程序框图略。

五、实验结果及结论

为验证系统性能,进行了闭环调速、跟踪精度等方面实验。调速回路实验

1. 低速实验:

在 $0.1^\circ/\text{s}$ 时,最大波动为 $\delta = 40\%$

2. 阶跃响应特性:

$t_s = 0.1\text{s}$ 下,可实现无超调调速

位置回路实验

1. 系统调整时间

大偏差归零时, $T_s < 0.2\text{s}$

2. 指向精度 $\leq \pm 1''$

通过对系统数字化分析和实验测试,证明了纯数字化校正的可行性,并充分显示了数字系统的优点。本文的意义在于推进跟踪系统向数字化、低成本和模块化发展的进程。

参 考 文 献

- [1] 陈伯时,《自动控制系统》,机械工业出版社,1981
- [2] 《十六位单片机的原理和设计方法》,科学技术文献出版,1988
- [3] R. Schonfeld等,摘自《电传自动化译丛》1985.2

[4] E. V. Slate et al., IEEE, Trans on I&CI, No. 11976

The Design of the Fully Digital Servo-system in MCS-98 Single-chip Processor

Li Qingmin

Abstract

The digital correction and related problems about the fully digital PWM Servo-control system are analysed in the paper. A new method with a 16-bit single-chip processor is proposed. The low speed stability of the digital system is analysed and a series of measures are proposed. The perfect design method of digital PWM system and the test results of performance are given in detail.