

变负载直流电机的离散时间自适应控制的研究与设计

马士学

(中国科学院长春光学精密机械研究所, 长春 130022)

摘要 针对惯量或摩擦力矩变化幅度较大时,通过自适应控制来提高跟踪精度或动态品质,提出用16位单片机MCS-98完成模型参考自适应控制(MRAC),从而构成单闭环伺服控制系统的方案;设计出硬件电路、软件算法,并给出了实验结果。

1 前言

自适应控制的概念,早在50年代就有了,随着计算机技术的发展,特别是16位单电机的出现,使得纯数字实时控制成为可能,也使得自适应控制理论和实际应用越来越多。

自适应控制有连续时间控制和离散时间控制。前者是由模拟回路来实现其自适应律的,具有其控制时间无滞后的优点,但由多数乘法器组成的模拟控制回路却存在精度上的问题,只适用于阶数低的控制系统;后者由电子计算机来实现其自适应控制律,由于需要计算时间这样给控制系统带来了滞后的不良影响,但随着计算机的高速发展,今后很有希望克服其计算时间滞后的缺点。

自适应控制可分为模型参考形和自校正形两种形式。设计模型参考自适应控制系统时,其输出要跟随控制对象的输出,用一个参考模型来体现和概括控制的要求是一种有效的途径,它可以解决用某一个控制指标来准确体现工程要求的困难。

本论文是关于负载大幅度变化时直流电机的离散时间自适应控制的探讨,并有一定的效果。

2 系统的组成

控制系统的构成框图如图1:执行元件用SYL-20直流力矩电机,用CYD-11测速机作速度反馈。

首先数字测速机输出的正弦信号通过处理电路转换成计数脉冲信号,再将CYD-11测速机输出的信号处理成速度方向判别信号。将这两个信号由逻辑处理电路输入到计数器中,中

断信号一到,将这个计数器所计的值取入到 8098 单片机,与给定 $R(i)$ 、方向输入一起作为模型参考自适应控制算法的数据输入。经过计算输出的偏差量 $E_v(I)$ 经过校正放大,再由调宽波部分输出调宽方波,经功率放大器放大,驱动电机。传感器(测速机)反馈到反馈装置,再反馈到 8098 单片机。

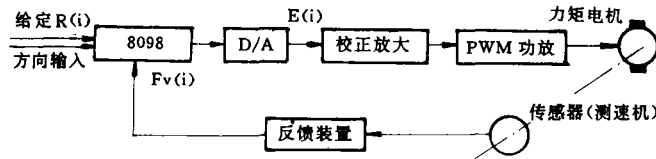


图 1 系统工作原理图

3 MRAC 算法

论文中 MRACS 结构框图如图 2

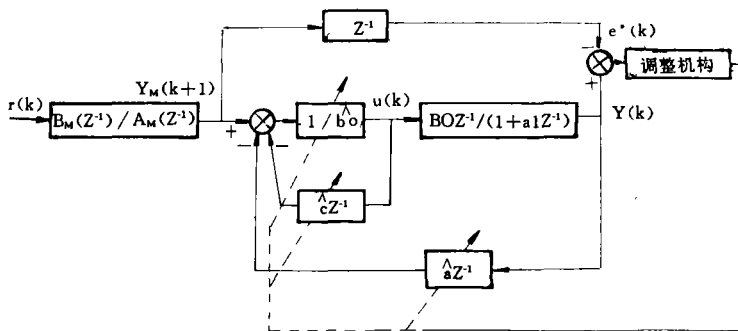


图 2 MRACS 结构框图

这里 $\frac{1}{b_0}$ 、 c 、 a 等效为控制器的控制参数,而 MRAC 算法构成参数调整机构,通过计算调整 $b_0(K)$ 、 $c(K)$ 、 $a(K)$,从而使误差 $e^*(K) \rightarrow 0$ 。

由于考虑到控制延时 d 的存在,故控制对象的传递函数中插入一阶延时,即 $d=1$,则离散传递函数 $G(Z^{-1})$ 变为:

$$G(Z^{-1}) = \frac{b_0 Z^{-2}}{1 + a_1 Z^{-1}}$$

由此推出输入 $u(k)$ 和输出 $y(k)$ 的关系式

$$y(k+2) = b_0 u(k) - a_1 b_0 u(k-1) + a_1^2 y(k)$$

设其右边的系数为下列矩阵

$$\begin{aligned} Lp^T(k) &\triangleq [b_0(k), c(k), a(k)] \\ &\triangleq [b_0(k), p_0^T(k)] \\ \varphi^T(K) &\triangleq [u(k), u(k-1), y(k)] \\ &\triangleq [u(k), \varphi_0^T(k)] \end{aligned}$$

固定跟踪算法采用下列递推公式

$$e^*(k) = \frac{Y(k) - \hat{p}^T(k-1)\varphi(k-2)}{1 + \varphi^T(k-2)r(k-1)\varphi(k-1)}$$

$$\hat{p}(k) = \hat{p}(k-1) + r(k-1)\varphi(k-2)e^*(k)$$

$$u(k) = 1/b_0(k)[y_M(k+2) - \hat{p}_0^T(k)\varphi_0(k)]$$

$$r(k) = \frac{1}{\lambda_1(k)} \left[r(k-1) - \frac{r(k-1)\varphi(k-2)\varphi^T(k-2)r(k-1)}{1 + \varphi^T(k-2)r(k-1)\varphi(k-2)} \right]$$

其中 $y_M(k)$ 为参考模型输出, $r(k)$ 为 3×3 阶矩阵

$$\lambda_1(k) = \frac{1}{\text{tr}r(0)} \left[\text{tr}(k-1) \frac{\varphi^T(k-2)r(k-1)r(k-1)\varphi(k-2)}{1 + \varphi^T(k-2)r(k-1)\varphi(k-2)} \right]$$

这种算法已证明: 当 $k \rightarrow \infty$ 时

$$e(k) = y(k) - y_M(k) \rightarrow 0$$

这里 $r(0) = 50I, \hat{p}^T(0) = [5, 0, 0]$

参考模型的选择:

“电子最佳调节原理”把阻尼比 $\xi = 0.707$, 即, 选 $K = 1/2T$ 的情况称作“二阶最佳系统”。

此时

$$W_0 = \sqrt{K/T} = \sqrt{2}/2 = 0.707$$

则所选择的二阶系统传递函数为

$$G_M(S) = k \frac{W_0^2}{s^2 + 2\xi W_0 s + W_0^2} = \frac{1}{S^2 + S + 0.5} \quad (k = 2)$$

参考模型的输出是所希望的误差为零、反应最快的响应, 模型为最佳响应系统。

另外, 还对速度回路进行了校正, 通过校正绘出速度回路频率特性线, 依据其进行了 PID 数字控制, 采用增量式, 输出 $e(k)$ 为:

$$\begin{aligned} \Delta e(k) &= k_p[e(k) - e(k-1)] + k_i e(k) \\ &+ k_d[e(k) - 2e(k-1) \\ &+ e(k-2)]e(k+1) \\ &= \Delta e(k) + e(k) \end{aligned}$$

其中 $k_p = 10, k_i = 1, k_d = 0.5$

4 实验和结果

本论文以 ATD-98 单电机为中心构成数字控制系统。全部控制功能是由 compaq386 完成的, 程序由 8098 汇编语言编写, 其流程图如图 3。

通过对速度的回路的调试, 系统在低速平稳性上、噪声上达到要求。在突加负载时, PID 控制不稳定产生振荡, 而 MRAC 能克服这个缺点。

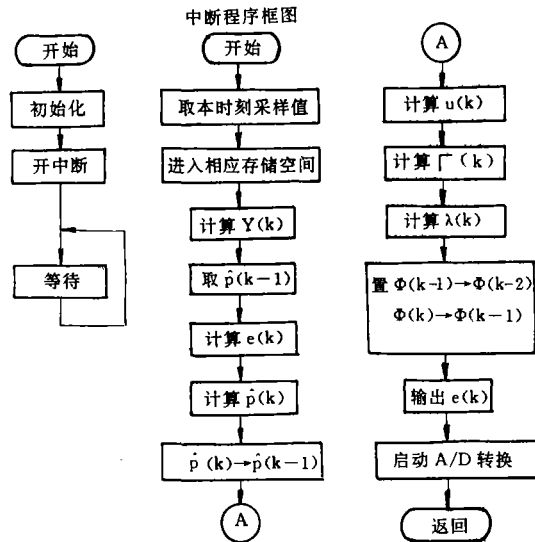


图 3 程序流程图

实验结果表明, PWM 驱动方式的直流电机的速度控制, 采用 MRAC 算法在参数变化以及有不可预测的环境变化时, 较之 PID 控制有其优点。

Adaptive Control of DC Motor With Great Changed Load in Discrete Time Domain

Ma Shixue

*(Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics,
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022)*

Abstract

To improve the tracking precision or dynamic quality by using an adaptive control aimed at larger variable range of the inertia or friction moment, a 16-bit single chip computer, Mcs-98, is used for modeling the adaptive control (MRAC) and composed a single closed loop servo system. The design of hardware and software and the results of experiments are given in this paper.