

有约束最少拍无振荡调节器在 直流调速系统中的应用

王 化 谦

(郑州工学院计算机与自动化工程系)

摘 要

本文将有关最少拍无振荡调节器应用于LWK-250型微控电子拉力试验机的微机直流调速系统中,取得了令人满意的结果.对这种调节器在应用中的若干问题进行了讨论.

一、引 言

采用微机对电动机进行直接数字控制是当前电力拖动自动化领域中的一个研究方向,目前国内外都尚处于探索阶段.从已发表的文章看,绝大部分的微机调速系统都是在传统的可控硅双闭环调速系统的基础上将PI调节器数字化,即先按模拟系统设计出双闭环系统,然后将其中的PI调节器数字化.这种方法虽然简单,但微机调速可以采用更先进的控制规律的优点事实上没有得到充分发挥.实际上,电机的转速是一个变化很快的量,它的控制属于时间紧迫控制,而最少拍无振荡调节器对于特定的输入实质上是一个时间最优调节器,用它来控制电机的转速应该是一种可取的方案.基于这种设想,作者在设计LWK-250型微控电子拉力试验机的计算机直流调速系统时,对应用有约束最少拍无振荡调节器进行了探索,设计了一种新的计算机调速系统并取得了令人满意的结果.该机由华南工学院无线电与自动控制研究所和广州试验仪器厂共同研制,已于一九八六年九月通过部级鉴定.

二、调速系统的设计

LWK-250型微控电子拉力试验机主要是针对非金属材料进行力学试验而设计的.它对调速系统的要求是:调速范围1:100,静态精度优于0.5%(空载).这一精度只有采用数字调速才能达到.在设计中,我们采用了一台TP-801单板机作为调速系统的数字调节器(此单板机还同时进行试验数据的处理、试验结果的显示打印以及对整台试验机的操作控制).其调速系统结构如图1所示.

电机的驱动采用受限单极性脉宽调制方式(PWM),脉宽调制由计算机控制CTC

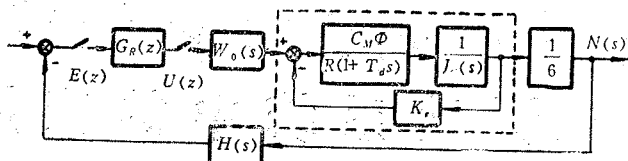


图 1 调速系统结构图

通用接口完成。其输出经光电隔离后作用于 H 型驱动电路。速度信号的测取由光电脉冲发生器配合接口电路完成。

图 1 中虚线框内为电机的模型, 其主要参数: 功率 200W, 额定电压 42V, 电流 7.8A, 机电时间常数 105ms (连同负载), 电气时间常数 8ms (连同滤波电感), 电势常数 $K_e = 50$ 转/分/伏。经计算可得电机的传递函数为

$$W_p(S) = \frac{50}{1 + 0.105S + 0.00084S^2} \quad (1)$$

电机连同零阶保持器的 Z 传递函数为

$$W_1(z) = Z[W_0(S)W_p(S)] = \frac{3.84(z + 0.541)}{(z - 0.856)(z - 0.179)} \quad (2)$$

其离散状态方程为

$$\begin{cases} \begin{bmatrix} x_1(k+1) \\ x_2(k+2) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.856 & 0 \\ 1.397 & 0.179 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(k) \\ x_2(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 3.843 \\ 3.843 \end{bmatrix} u(k) \\ y(k) = [0 \quad 1] \begin{bmatrix} x_1(k) \\ x_2(k) \end{bmatrix} \end{cases} \quad (3)$$

该系统是一二阶能控系统, 它可以在两拍内达到无振荡调节。但经计算按两拍达到无振荡调节所设计的调节器由于其输出控制量未考虑实际控制器所能输出的最大控制量这一约束条件, 在给定转速为 300 转/分以上时将受到控制器输出饱和的限制而使调节性能变差。为了约束过大的控制动作, 在设计调节器 $G_R(z)$ 时, 我们将达到无振荡调节的时间延长一拍, 这样所设计的调节器为 (设计方法可参看文献[1])

$$\begin{aligned} G_R(z) &= \frac{Q_0 + Q_1 z^{-1} + Q_2 z^{-2} + Q_3 z^{-3}}{1 - P_1 z^{-1} - P_2 z^{-2} - P_3 z^{-3}} \\ &= \frac{0.08 + 0.006 z^{-1} - 0.08 z^{-2} + 0.014 z^{-3}}{1 - 0.307 z^{-1} - 0.508 z^{-2} - 0.185 z^{-3}}, \end{aligned} \quad (4)$$

其中 Q_0 就是第一个输出控制量 $u(0)$, 它是根据控制器所能够输出的最大值这一条件设定的。

三、试验结果

该调速系统在 LWK-250 型微控电子拉力试验机上应用后, 使得该机的调速范围达到了 1:250, 静态精度如表 1 所示。

所达到的精度远远超出了该机对调速系统的要求。

表 1 (此表所列精度经广州市计量所检定)

速度 (mm/min)	2	3	5	10	20	30	50	100	200	300	500
相应的电机转速 (rpm)	8	12	20	40	80	120	200	400	800	1200	2000
空载相对误差 %	0.087	0.08	0.045	0.04	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
负载相对误差 %	0.26	0.15	0.115	0.05	0.05	0.05	0.045	0.04	0.04	0.04	0.04

四、几点讨论

1. 按有约束无振荡调节算法设计的调节器, 只有在特定的给定输入和对象的数学模型完全准确的情况下才能在规定拍数内达到无振荡调节。因此, 为了获得好的动态响应, 应尽可能通过试验求得电机连同负载的较为准确的模型参数。这对于一般的调速系统并不困难。在模型误差不大的情况下, 这种调节器可以有很好的动态响应。图 2 是作者在实验室中对本调速系统做对比试验时所得到的阶跃响应曲线。图中一条曲线是采用无振荡算法得到的, 另一条曲线是对同一系统采用数字 PID 调节器得到的 (PID 参数的整定是先采用二阶电子最佳化方法整定出 PI 参数, 然后在此基础上加入微分作用, 通过计算机仿真和试验求得最佳的 PID 参数)。图中最少拍无振荡调节器的响应比 PID 快了三分之一左右。实际上, 当模型完全准确时, 这一系统只需三拍 (延长一拍) 即可达到稳态, 而 PID 调节器是无法做到的。当系统模型和实际过程相差较大时, 动态响应就会变差。

2. 在设计有一个约束 (延长一拍) 的无振荡调节器时, 调节器 $G_R(z)$ 中的 Q_0 (即调节器的第一个输出控制量) 是人为设定的。通常在设定时除了限定不要使控制器输出饱和外, 对于以阀门开度为控制器输出的系统, 还常常使前两个控制量输出尽可能不要相差太大, 以免控制动作变化过大。但调速系统的控制输出是电压, 不存在机械动作过大的问题。作者对于本调速系统的仿真和试验结果表明, 在满足不使控制器输出饱和和系统稳定的条件下, 适当加大 Q_0 可以改善系统的抗干扰能力。图 3 是选用不同的 Q_0 所设计的调节器当系统由空载突然加到满载时动态速降的变化情况 (根据仿真结果绘制)。对于驱动电路电压发生突变所进行的仿真试验也有类似的结果。实际上, 由图 1 和 (4) 式可得

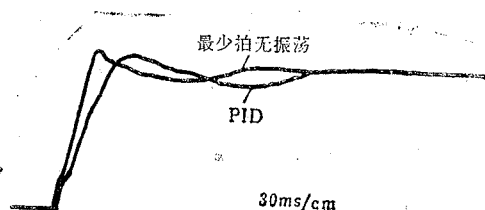
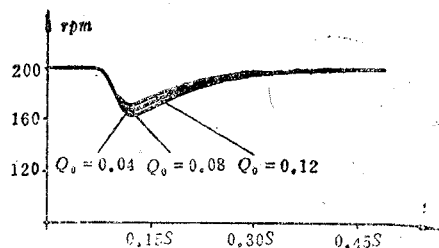


图2 两种算法的过渡过程

图3 选取不同 Q_0 时的动态速降

$$u(k) = Q_0 e(k) + Q_1 e(k-1) + Q_2 e(k-2) + Q_3 e(k-3) + P_1 u(k-1) + P_2 u(k-2) + P_3 u(k-3). \quad (5)$$

由此式可以看出, Q_0 和数字PID算法中的 P 参数起着类似的比例调节作用, 因此适当加大它可以使偏差得到较快的纠正。

3. 从理论上讲, 在设计有约束最少拍无振荡调节器时, 把达到无振荡调节的时间每延长一拍, 就可对控制量多一个约束, 使控制量的最大值减小。但每延长一拍, 所得的调节器就会增加一阶, 从而加大了计算机的运算量。对于调速系统这样的时间紧迫控制(通常采样周期为十几个毫秒), 延长两拍以上是困难的。

参 考 文 献

- [1] Iserman, 数字调节系统, 王振淮等译, 机械工业出版社, 北京, (1983), 104-109.
- [2] Demerle, M. 等, 直流电动机采用多微处理机系统的速度测量和速度控制, 电气传动自动化译丛, 1, (1981), 38-40.
- [3] Lin, A. K. and Koepsel, A Microprocessor Speed Control System, IEEE Trans., IECI-24, 3, (1977), 241-247.
- [4] Blant, J. B., Microprocessor Control of Position or Speed of an SCR DC Motor Drive, IEEE Trans., IECI-27, 3, (1980), 228-234.

The Application of The Deadbeat Controller with Constraint to DC Speed Control System

Wang Huaqian

(Department of Computer and Automatic Engineering, Zhengzhou Institute of Technology)

Abstract

In this paper the deadbeat controller with constraint is applied to the DC speed control system of LWK-250 Microcomputer-based Electronic Tension Testing Machine and the results are satisfactory. Several problems about its application are discussed.