

DDC交流调压调速系统实时仿真

范 贛 军

(武汉水运工程学院)

摘 要

本文以 DDC 全数字交流调压调速系统实体为例,利用微机实时仿真装置,对该系统中串级数字调节器方案进行实时动态仿真。经仿真验证分析,提出了多种可行的数字调节方案,为系统直接配备了不同控制规律的数字调节器子程序模块,使系统软件支援更为丰富。

一、微处理器控制交流调压调速系统

(一) 系统原理简介

微机控制的全数字交流调压调速系统属 DDC(DIRECT DIGITAL CONTROL) 范畴。系统简图如图 1 所示, 主回路采用三相反并联可控硅调压电路为交流电机供电, 数字触发器提供移相触发脉冲。数字触发器采用 50Hz 电源同步启动, 在一定控制周期里, 以分时方式分别将电流、速度反馈信号经 A/D 转换取入 CPU 中, 并进行电流环、速度环运算, 形成相应的移相触发脉冲由 PIO B 口输出, 改变可控硅调压电路的输出电压, 达到控制系统转速的目的。

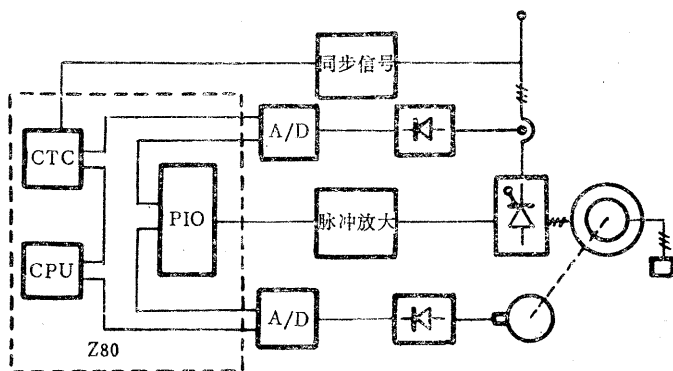


图 1 微机控制的全数字交流调压调速系统

(二) 系统控制方块图

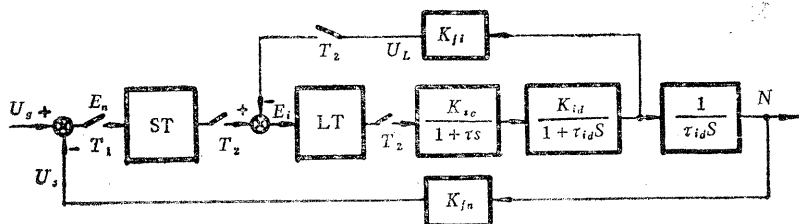


图 2 双环串级调节
实体系统

图 2 是双环串级调节实体系统, 便于仿真的动态简化结构图。

1. 系统原始环节传递函数

交流异步电动机的数学模型是非线性的, 较复杂。在正常运行范围内, 一般工程上将交流异步电动机简化成一阶惯性环节处理, 误差较大。本系统采用实验测定动态特性方法, 将电动机处理为二阶传递函数: $N(s)/U_g(s) = K/(a_2 s^2 + a_1 s + a_0)$ 。这是在转子接入一定电阻, 定子接入一定电压情况下, 在工作点附近线性化所得的数学模型。将此传递函数分解为图 2 中的 $[K_{id}/(1 + T_{id}s)] \cdot [1/\tau_{id}]$, 可选择小、中、大不同定子电压求出若干组参数值, 供分析。

系统中的可控硅装置, 一般作为一阶惯性环节处理。速度反馈和电流反馈环节, 因其滤波时常数较小, 仅保留其比例系数。系统中各参数实验确定为: $K_{sc} = 44$, $\tau = 0.01$ 秒, $K_{id} = 0.259$, $T_{id} = 0.093$ 秒, $1/\tau_{id} = 121.2$ 1/秒, $K_{fi} = 0.36$ 伏/安, $K_{fn} = 0.0036$ 伏/转/分, $T_{fi} = 0.0025$ 秒, $T_{fn} = 0.01$ 秒。

2. 系统原始动态计算简介

将图 2 中的 ST, LT 双环串级调节取消, 使系统仅作无串级调节控制, 并经必要的忽略和简化, 可得系统闭环传递函数: $N(s)/U_g(s) = 53.47/(s^2 + 54.87s + 53.47)$, 是一个二阶系统。将其与二阶系统标准传递函数 $W(s) = \omega_n^2/(s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2)$ 比较可得: $\omega_n = 7.31$, $\zeta = 3.67 > 2$, 两个闭环极点 $s_1 = -0.706$ 和 $s_2 = -53.83$ (因 $|s_2| \gg |s_1|$, 故可忽略 s_2 对系统的影响)。因此, 系统可近似成 $N(s)/U_g(s) = -s_1/(s - s_1)$ 。在单位阶跃输入 $U_g(s) = 1/s$ 时, 输出响应为 $N(t) = 1 - e^{-0.706t} (t \geq 0)$ 。

由于系统是过阻尼状态, 故系统无超调量, 过渡过程时间 4.24 秒。

3. 双环串级调节实体系统的动态综合计算简介

图 2 中的 LT 电流内环按典型 I 型系统的参数与动态性能指标设计, 可使阻尼比 $\zeta = 0.707$, 超调量 $\sigma\% = 4.3\%$, 并采用 PI 调节器进行校正。速度环按典型 II 型 M_{pmin} 准则设计, 并加 PI 调节器进行校正。经过电流内环和速度外环一系列等效简化传递函数计算, 可以得如下参数和系统动态性能指标:

LT 环 PI 调节器参数有, $T_I = T_{id} = 0.093$ 秒, $K_I = T_I/2K_{sc} \cdot K_{fi} \cdot K_{id} = 1.13$ 。传递函数: $K_I(1 + T_I s)/T_I s$ 。

ST 环 PI 调节器参数有, $T_N = 12\tau = 0.12$ 秒, $K_N = K_{fi} \cdot \tau_{id} \cdot T_N/K_{fn} = 24.06$ 。传递函数: $K_N(1 + T_N s)/T_N s$ 。

系统动态性能指标有, 超调量 $\sigma\% = 50\sqrt{M_p - 1} = 50\sqrt{1.4 - 1} = 31.6\%$, 过渡过程时间 $T_p = 12[2(T_{fi} + \tau) + T_{fn}] = 0.42$ 秒, 阻尼比 $\zeta = 0.344$ (推算从略)。

4. PI 模拟调节器数字化处理简介

图 2 中的 ST、LT 双环调节器是由 Z80 微机算法程序来实现的。因此, 模拟调节器, 需要进行数字化处理为离散差分算法 (增量式 PI) 即: $P_k = P_{k-1} + K_p[(E_k - E_{k-1}) + T/T_i \cdot E_k]$,

图 2 中, 电流环采样周期 $T_2 = 3.3\text{ms}$ 小于可控硅时常数 $\tau = 10\text{ms}$, 所以采样系统中的零阶保持器, 可由可控硅一阶惯性环节取代。由于 $T_2 = 3.3\text{ms} \ll T_{id} = 93\text{ms}$, 可认为采样系统的特性接近连续系统。因此, 本 DDC 系统可以达到按连续系统动态综合设计的要求。

二、系统实时仿真

利用相似原理将 DDC 交流调压调速系统构成如图 3 所示的数字模拟混合物理模型, 来进行动态仿真。该模型特征是, 将图 2 中的受控对象各连续环节, 用相应的有源模拟电路单元模拟, 而微机部分的各离散控制环节仍用 Z80 单板机附加 A/D、D/A 转换接口模拟。在相应的图 4 所示双环系统实时程序支持下^[1], 可检验数字调节器程序的实时运行效果。图 2 中的 $T_2 = 3.3\text{ms}$, $T_1 = 3T_2 = 10\text{ms}$, 与实体相同。 T_2 由 CTC 定时实现电流环中断。 T_1 则由电流环中断计数程序, 实现每 3 次电流环中断, 进行一次速度环采样。同实体对照, 仅在受控对象上利用了物理特性相似性, 因此称之为实时仿真。图 4 中, ST、LT 子程序可由用户设计, 其余程序均固定。因而可进行以下多种仿真实验研究。

(一) 系统实时仿真实验

实测仿真动态曲线如图 5 所示。曲线①是无 ST、LT 子程序的控制响应, 过渡过程时间 5 秒, 无超调量。仿真结果与实体相符, 实体对象系统是过阻尼系统。

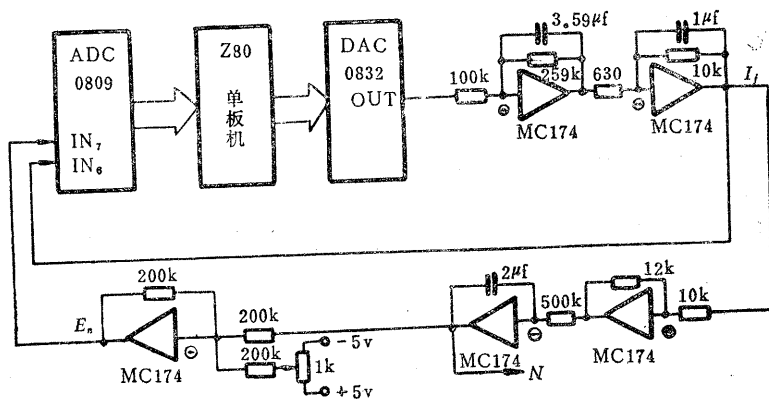


图 3 数字模拟混合物理模型

曲线②是 ST、LT 双 PI 调节子程序控制响应。过渡过程时间 0.4 秒左右, 超调量 $\sigma\% = 30\%$ 左右。仿真结果表明双 PI 调节可使系统快速响应, 但有超调。由于将用在港口起重机重复短时工作场合, 不希望有超调现象。超调量是因电流内环引入, 导致系统传递函数阶次增高所产生的。实体中已将电流环改为电流截止负反馈保护环, 保留 ST 环的 PI 调节。虽然无超调量, 稳态精度高, 但在大幅值偏差量时, 过渡过程时间长达 3 秒左右。

曲线③是仅作 ST 单 PD 调节响应。其中 PD 传递函数： $K_p(1+T_N S) = 4.8(1+0.093s)$ ，差分方程： $P_k = K_p[E_k + T_d(E_k - E_{k-1})/T_1]$ 。过渡过程时间 0.2 秒左右，无超调量。仿真结果表明单 PD 调节可改善系统动态响应快速性。因此，实体中 ST 环可设置 PI-PD 双功能逻辑判断偏差量自适应控制，确保起重机工作时的动态、静态指标。

(二) 实时仿真实验研究评价

本文被仿真的实体，是我院近期通过省级技术鉴定的一项科研成果^[2]。研制过程中，相继使用过数字仿真和 CAD 技术，均有所收效。在接近实体的实时仿真上，采用图 3 这种简易数字模拟混合仿真技术。实验研究结果表明，对从事 DDC 系统设计和研究的工程技术人员，大专院校师生，在没有复杂的数字模拟混合计算机仿真条件的情况下，此项实时仿真技术，无疑是安全、灵活、省工、经济的高效率实时控制软件开发工具，有其实际推广应用价值。

参 考 文 献

- [1] 范赣军，DDC 中多功能全数字触发器的硬软件设计，TP 通讯，18，4，(1986)，11—15。
- [2] 胡行定、黎明森、范赣军、廖炳子，微理机控制交流异步电动机调压调速系统，武汉水运工程学院学报，10，2，(1986)，7—15。

THE REAL-TIME SIMULATION OF AC VOLTAGE AND VELOCITY CONTROL IN DDC SYSTEM

Fan Ganjun

(Wuhan University of Water Transportation Engineering)

Abstract

An all digital AC voltage and velocity controlled system has been taken as an example in this article, and real-time dynamic simulations for cascade digital controller scheme have been carried out. Various digital control algorithms have been proposed.

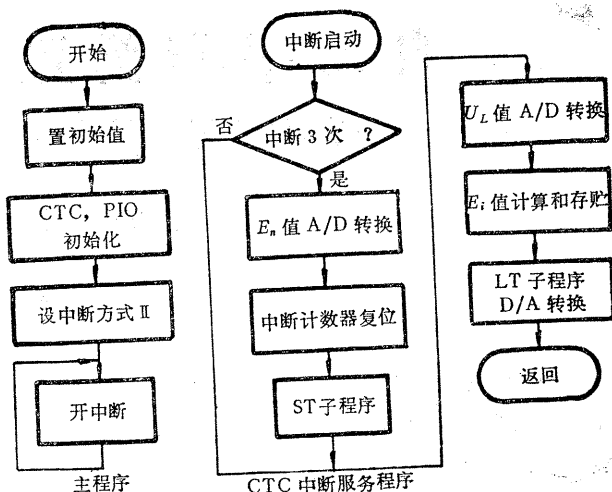


图 4 双环系统实时程序图

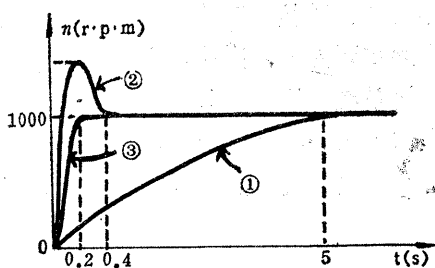


图 5 实测仿真动态曲线图