

基于 Simulink 的双闭环调速系统仿真研究

王祖亮,侯北平

(浙江科技学院 自动化与电气工程学院,杭州 310023)

摘要: 转速、电流双闭环调速系统是当前应用最广的直流调速系统,利用电流调节器和转速调节器实现了串级控制,从而可以无限逼近理想起动过程。采用工程设计方法,建立了系统的动态数学模型,并基于自动控制系统快、准、稳的准则完成了系统设计。同时,利用 Simulink 进行了系统仿真,给出了仿真框图和仿真结果。通过对结果的分析进一步验证了双闭环调速系统的优越性。

关键词: 双闭环;直流调速;Simulink;运动控制

中图分类号: TP376

文献标识码: A

文章编号: 1671-8798(2009)01-0006-04

Computer simulation research of double-loop speed control system based on Simulink

WANG Zu-liang, HOU Bei-ping

(School of Automation and Electrical Engineering, Zhejiang University of Science and Technology, Hangzhou 310023, China)

Abstract: Double-loop speed control system is widely used at present. The cascade control using current regulator and speed regulator is realized, which can nearly approach the ideal start-up process. The system is designed on the principle of quickness, accuracy and stableness, and the project design procedures are adopted to build a dynamic mathematical model. Simulink is used to simulate the system, and the result offers a further proofs for the advantages of the system's start process.

Key words: double-loop; DC converter; Simulink; motion control

转速、电流双闭环调速系统是应用最广的直流调速系统,由于其静态性能良好,动态响应快,抗干扰能力强,因而在工程设计中被广泛地采用^[1]。现在直流调速理论发展得比较成熟,但要真正设计好一个双闭环调速系统并应用于工程设计却有一定的难度^[2]。Matlab 是一高性能的技术计算语言,具有

强大的科学数据可视化能力,其中 Simulink 具有模块组态简单^[3]、性能分析直观的优点,方便了系统的动态模型分析。应用 Simulink 来研究双闭环调速系统,可以清楚地观察每个时刻的响应曲线,所以可以通过调整系统的参数来得出较为满意的波形,即良好的性能指标,这给分析双闭环调速系统的动态

收稿日期: 2008-10-10

基金项目: 浙江科技学院教学改革项目(2007-B32)

作者简介: 王祖亮(1986—),男,浙江临海人,2005级本科生,自动化专业;侯北平(1976—),男,山东莒县人,副教授,博士,主要从事运动控制、智能监控研究。

模型带来很大的方便。

本研究采用工程设计方法,并利用 Matlab 协助分析双闭环调速系统,依据自动控制系统快、准、稳^[4]的设计要求,重点分析系统的起动过程。

1 双闭环调速系统

1.1 双闭环调速系统的组成

为了实现转速和电流 2 种负反馈分别起作用,在系统中设置了 2 个调节器,分别是电流调节器 ACR (Current Regulator) 和转速调节器 ASR (Speed Regulator),两者之间实行串级连接,其中转速调节器 ASR 的输出作为电流调节器 ACR 的输入,再用电流调节器 ACR 的输出去控制晶闸管装置。从闭环结构上看,电流调节器在里面,叫做内

环;转速调节器在外边,叫做外环^[5]。双闭环调速系统的原理图如图 1 所示。

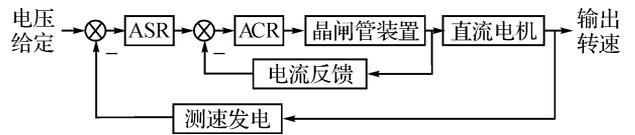


图 1 双闭环调速系统原理图

Fig.1 Schematic diagram of double-loop speed control system

1.2 动态数学模型

直流电动机可视为一个二阶线性环节^[6],晶闸管装置可按照一阶惯性环节处理,转速、电流调节器均设为 PI 调节器,以获得良好的动、静态特性,得到双闭环直流调速系统的动态结构如图 2 所示。

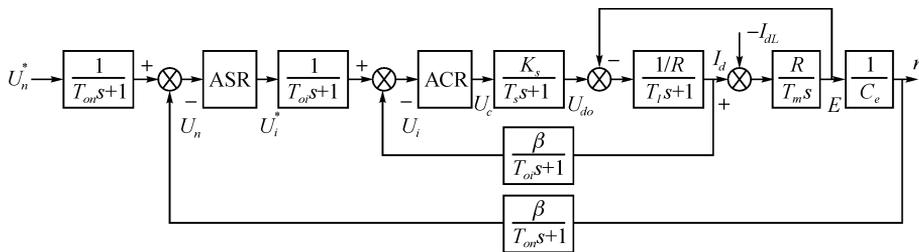


图 2 双闭环调速系统的动态结构图

Fig.2 Dynamic structure of double-loop speed control system

1.3 双闭环调速算法分析

对于电流内环的设计,希望电流无静差在突加控制时,电枢电流不能有太大的超调,可以选择典型 I 型系统^[7],采用 PI 调节,令

$$W_{ACR}(s) = K_i \frac{\tau_i s + 1}{\tau_i s}$$

其中电流调节比例系数 K_i 为:

$$K_i = \frac{R}{2K_s\beta} \left(\frac{T_i}{T_s + T_{oi}} \right)$$

积分系数即电流调节器的超前时间常数 $\tau = T_i$ 。

对于转速外环的设计,可以选择典型 II 型系统,在实现转速无静差的同时又能满足动态抗扰性能的要求,采用 PI 调节,令

$$W_{ASR}(s) = K_n \frac{\tau_n s + 1}{\tau_n s}$$

其中转速调节器的比例系数 K_n 为:

$$K_n = \frac{(h+1)\beta C_e T_m}{2h\alpha R T_\Sigma}$$

其中 h 为中频宽度,按跟随和抗扰性能都比较好的原则,取 $h = 5$,

$$T_\Sigma = \frac{T_i R}{K_i K_s \beta} + T_{on}$$

积分系数即转速调节器的超前时间常数 τ_n 为:

$$\tau_n = \frac{K_n}{h T_\Sigma n}$$

2 基于 Simulink 的双闭环调速系统

Simulink 环境下的仿真框图如图 3 所示。

2.1 系统总体构成

选用晶闸管供电的双闭环直流调速系统,整流装置采用三相桥式电路,直流电动机规格为 220 V, 136 A, 1 460 r/min, $C_e = 0.132$ r/min, 允许过载倍数 $\lambda = 1$; 晶闸管装置放大系数 $K_s = 40$, 电枢回路总电阻 $R = 0.5 \Omega$, 时间常数 $T_i = 0.03$ s, $T_m = 0.18$ s; 另外,选择电流反馈系数 $\beta = 0.083$, 转速反馈系数 $\alpha = 0.0034$ 。

2.2 电流环模块

整流滞后时间常数即三相桥式电路的平均失控时间 $T_s = 0.0017$ s, 电流滤波时间常数即三相桥式电路每个波头时间 $T_{oi} = 0.002$ s。电流环调节器采用 PI 调节,根据电流环调速算法得到电流调节比例系数 $K_i = 0.61$; 电流调节器的超前时间常数 $\tau_i = T_i = 0.03$ s。电流环模块如图 4 所示。

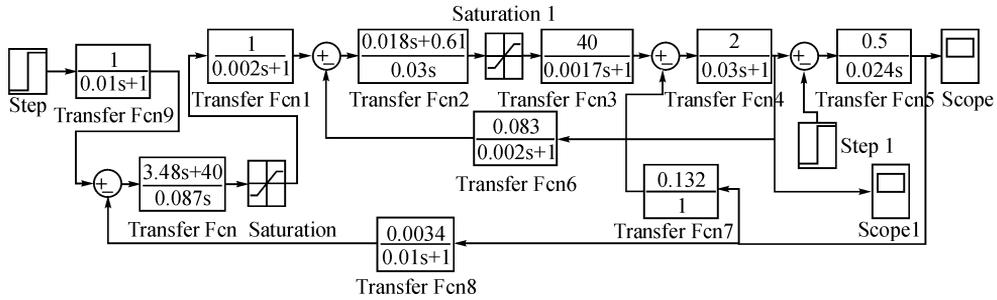


图 3 双闭环调速系统仿真框图

Fig. 3 Simulation diagram of double-loop speed control system

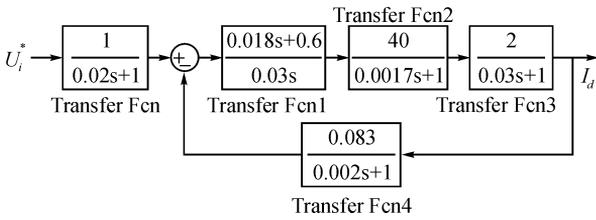


图 4 电流环模块

Fig. 4 Module of electric current loop

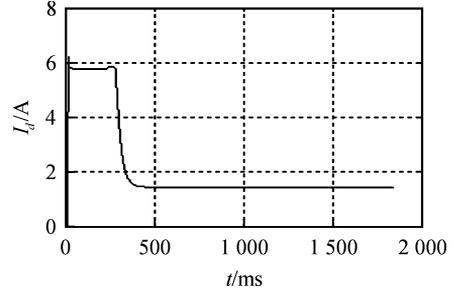


图 6 输出电流波形

Fig. 6 Waveform of output current

2.3 转速环模块

按小时间常数近似处理 $T_{\Sigma i} = T_s + T_n = 0.0037 \text{ s}$ 电流环的等效时间常数为 $2T_{\Sigma i} = 0.0074 \text{ s}$, 转速滤波时间常数 $T_m = 0.01 \text{ s}$ 。转速环调节器采用 PI 调节, 根据转速环调速算法得到转速调节器的比例系数 $K_n = 40$, 转速调节器的超前时间常数 $\tau_n = 0.087$ 。转速环模块如图 5 所示。

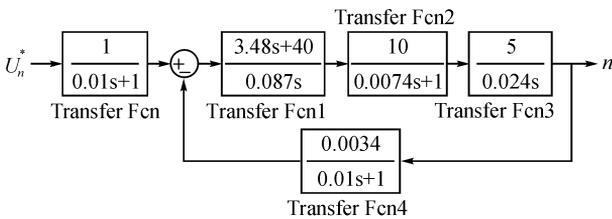


图 5 转速环模块

Fig. 5 Module of speed loop

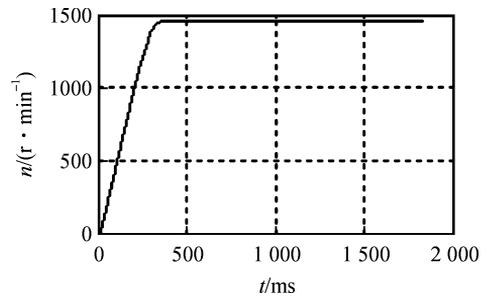


图 7 输出转速波形

Fig. 7 Waveform of output speed

3 仿真结果与分析

系统仿真结果如图 6 和图 7 所示。

给定电压设置为零, 系统工作在电流干扰作用下, 其阶跃扰动响应曲线如图 8 所示。

设置双闭环控制的一个重要目的就是要获得接近理想起动过程, 因此在分析双闭环调速系统的动态性能时, 首先要探讨它的起动过程, 双闭环直流调速系统突加给定电压 U_n^* 由静止状态起动时, 转速和电流在起动过程中经历了三个阶段, 根据仿真波形, 也可看出起动过程分别经历了电流上升、恒流升速、转速调节这三个阶段。

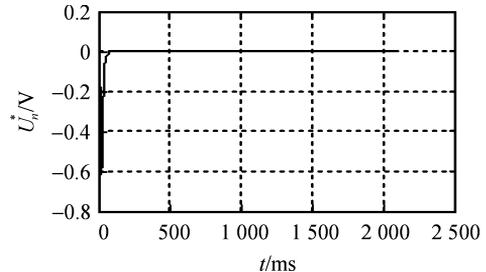


图 8 系统阶跃扰动响应曲线

Fig. 8 System response curve under step disturbance

如图 7 和图 8 所示, 在电流上升阶段, 突加给定电压 U_n^* 后, I_d 上升, 电机也开始起动, 但由于机电惯性作用, 转速不会很快增长, 因而转速调节器 ASR 的输入偏差电压的数值较大, 强迫电流 I_d 迅速上升; 而在恒流升速阶段, ASR 始终是饱和的, 转速环相当于开环, 电流 I_d 保持恒定, 因而系统的加速

度恒定,转速呈线性增长;在转速调节阶段,当转速快上升到给定值时,转速调节器 ASR 的输入偏差很小,但其输出由于积分作用,电机仍在缓慢加速,与此同时,电流 I_d 迅速减小,直到 $I_d = I_{dL}$ 时,转速以一恒定速度输出,电流 I_d 保持 I_{dL} 输出。

从仿真波形中可以看出,电流 I_d 上升得非常快,几乎接近于突变状态,恒流升速阶段转速呈线性增长,其上升时间小,突出了系统的快速性设计要求;而在转速在上升到给定值时,电流 I_d 迅速降低,转速也没有明显的超调现象,最终稳定在额定转速附近,体现了控制系统的稳定性与准确性原则;而在系统干扰作用下,如图 8,系统能快速调整,其抗干扰性能强,整个起动过程非常接近于理想状态,设计比较合理。

4 结 语

对转速、电流双闭环调速系统,基于快、准、稳的系统设计原则,从数学建模到电流环的设计、转速环的设计,以及实现系统的串级控制,最后利用 Simulink 进行系统仿真,得出波形并分析了起动过程。通过对双闭环调速系统的研究,可概括出系统起动过程的 2 个鲜明特点:饱和非线性控制和准时间最优控制^[8]。只要选择合理的系统参数,即可得到良好的起动过程,从而有效地提高生产效率。

将计算机仿真技术应用到双闭环调速系统中,可以极大地节省系统开发时间,提高系统设计的标准化,仿真的结果能对实际的系统设计起到前期规划与指导的作用,从而起到减少硬件设计成本、提高硬件安装的准确性。

参考文献:

- [1] 韩璐.直流电动机双闭环调速系统及其 Simulink 的仿真[J].船海工程,2003(3):30-33.
- [2] 王果,朱大鹏.直流电机双闭环调速系统的工程设计方法仿真[J].兰州交通大学学报,2005(2):23-25.
- [3] 黄道平.MATLAB 与控制系统数字仿真及 CAD[M].北京:化学工业出版社,2004.
- [4] 孙德宝.自动控制原理[M].北京:化学工业出版社,2002.
- [5] 张崇巍,李汉强.运动控制系统[M].武汉:武汉理工大学出版社,2004.
- [6] 杨怀林.基于 Matlab/Simulink 双闭环调速系统设计与仿真[J].佳木斯大学学报:自然科学版,2007,25(3):239-241.
- [7] 徐月华,汪仁辉.Matlab 在直流调速设计中的应用[J].广东工业大学,2004(10):1-5.
- [8] AMAMURA S. DC Motor for High-performance Applications (Analysis and Control) [J]. Newyork Marcel Dekker, 1986(2):42-46.