

# 双闭环直流调速系统的变结构控制与仿真

周凯汀 郑力新

(华侨大学信息科学与工程学院, 泉州 362011)

**摘要** 根据变结构控制的基本思想, 针对双闭环直流调速系统, 设计一种变结构控制器. 它取代常规系统的电流和速度调节器, 成功地解决转速超调问题. 仿真分析和实验结果表明, 变结构控制器能使系统获得优良的动态和静态特性, 而且控制器的设计简单, 参数整定容易.

**关键词** 变结构控制, 双闭环直流调速系统, 计算机仿真

中图分类号 TM 571.02

文献标识码 A

双闭环直流调速系统(DLDCMCS)是最常用的直流调速系统之一。但常规系统在阶跃响应过程中,必然存在转速超调<sup>[1]</sup>。为解决这一问题,一些学者提出在调节器上引入转速微分负反馈<sup>[1]</sup>,以及采用I-P控制器取代PI调节器的方法<sup>[2,3]</sup>。前者会使系统的响应变缓,后者会限制系统的最大工作速度。变结构控制是叶米里亚诺夫于50年代末提出的<sup>[4]</sup>。本文将变结构控制的基本思想<sup>[5]</sup>应用于双闭环直流调速系统中,设计了一种变结构的PI调节器,取代常规系统的电流和速度调节器(PI)。它成功地消除转速退饱和超调,使系统获得了优良的随性能。控制器的设计简单,参数整定容易,可推广至其它的控制系统中,具有一定的工程应用价值。

## 1 DLDCMCS 的转速超调量控制

图1为典型的双闭环系统理论控制框图<sup>[1]</sup>. 实际系统在启动过程中, ASR 和 ACR 存在着

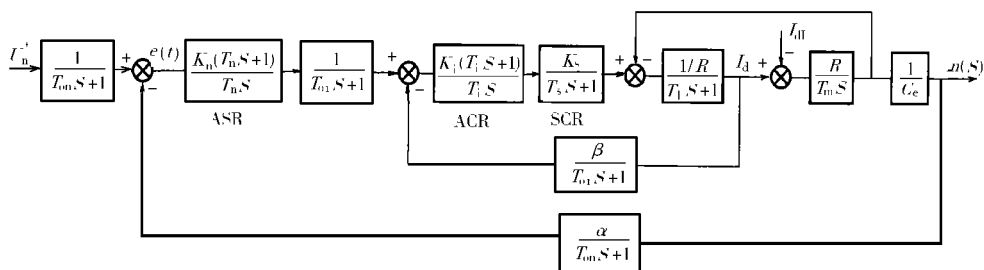


图 1 典型双闭环系统控制论框图

饱和非线性现象(即输出幅度达到限幅值). 这使得电机能在大电流下迅速地启动, 获得准最优时间特性, 但却引起转速超调. 为了消除超调, 必须满足如下充分必要条件, 即在  $e(t)$  变负

收稿日期 2000-10-07

作者简介 周凯汀(1968-),女,讲师

基金项目 华侨大学科研基金资助项目

基金项目 华侨大学科研基金资助项目

之前, ASR 退出饱和, 同时电机又要有足够的惯量上升到预期值

PI 调节器一般由集成运算放大器和电阻电容构成, 饱和和非线性现象是运放整体由线性器件蜕变为非线性器件产生的. ASR 退出饱和的瞬间, 即是  $e(t)$  由正变负的时刻. 输出电压大小是从饱和电压值开始回落的. 这样就无法克服超调, 而且超调量较大. 新的变结构 P-PI 调节器设计思路, 是在系统启动的前期,  $e(t)$  较大, 通过  $K_n$  的放大作用, ASR 的输出立即达到饱和值  $U_m$ . 但积分环节不起作用, 该调节器相当于一个常规的限幅 P 调节器. 随着系统转速的增加,  $e(t)$  迅速减少, 当  $K_n \times e(t)$  小于  $U_m$  时, 积分作用加入, 该调节器为真正的 PI 调节器. 此时, 积分量增加, 而比例量减少. 合理选择积分系数和比例系数, 可使增加的部分小于减少的部分, 则 PI 输出从  $U_m$  上继续回落, 在  $e(t)$  变为负值之前退出饱和. 从而满足上述消除超调的充分必要条件, 超调量就可避免.

2 DLDCMCS 变结构控制的仿真设计

美国 Mathwork 公司推出了 Matlab 和 Simulink 软件包, 是目前流行的控制系统设计和仿真软件<sup>[6]</sup>. 它含有可供直接调用的各种仿真功能模块. 图 2 给出变结构 PI 调节器的 Simulink 仿真框图. 其中, 饱和模块的饱和值与开关模块的比较值都设定为实际系统的限幅值( $U_{sm}$ ). 其工作原理是, 在系统启动的前期,  $e(t)$  最大. 在  $K_n$  的作用下, Sum 1 的输出立即超出

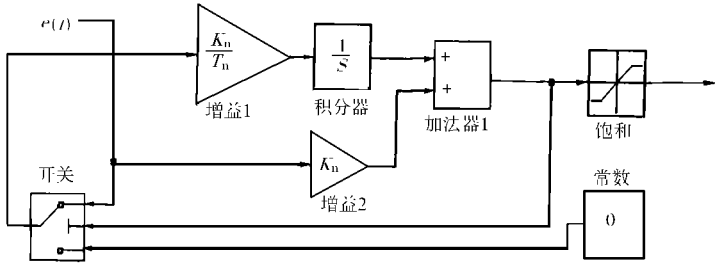


图 2 变结构 PI 调节器的 Simulink 仿零点框图

$U_{sm}$ . 这时, 开关向下, 积分环节不起作用, 该调节器相当于一个常规的限幅 P 调节器. 随着系统输出的增加,  $e(t)$  迅速减少, 当  $K_n \cdot e(t)$  小于  $U_{sm}$  时, 开关向上, 积分作用加入. 此时, 该调节器为真正的 PI 调节器, 积分量增加, 而比例量减少. 若增加的部分小于减少的部分, 则该调节器的总输出将减少. 于是, 系统输出上升的势头必将减落, 只要合理选择积分系数和比例系数, 就可避免超调量.

3 采用变结构 PI 的双闭环系统仿真实验

3.1 Simulink 仿真模型的建立

已知某实际系统参数, 如表 1 所示. 其中,  $I_{dm}$  为系统主回路的短期最大允许过载电流. 按图 1 建立仿真框图, 其中 ASR 采用了图 2 所示的变结构 PI 调节器, ACR 仍然采用常规 PI 调节器. 在电机模型处, 回路电流  $I_d$  要与负载电流  $I_{dL}$  相减, 以形成电机加速的动力. 系统启动时,  $I_d$  从 0 开始增长, 只有当  $I_d > I_{dL}$ , 电机才开始启动; 而在  $I_d = I_{dL}$  时, 电机既不加速也不减速. 可是, 当电机速度建立起来后, 再出现  $I_d = I_{dL}$ , 电机应减速. 显然, 这一现象直接按图 1 的

表 1 数值实验例结构中已知参数

$T_{on}/s$	$T_{oi}/s$	$T_s/s$	$T_l/s$	$T_m/s$	$K_s$
0.01	0.001 5	0.001 7	0.015	0.31	40.0
$R/\Omega$	$C_e/V \cdot \min \cdot r^{-1}$	$\alpha/\min \cdot r^{-1}$	$\beta/V \cdot A^{-1}$	$U_{sm}/V$	$I_{dn}/A$
10.55	0.168	0.01	0.752	10.0	13.3

框图仿真,是不可能实现.因此,Simulink 框图的电机仿真另采用图 3 所示的框图.其中,饱和模块的下限为 0,比较模块的比较值为 0.1.

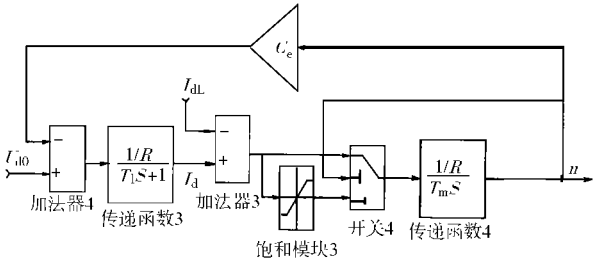


图 3 电机仿真 Simulink 框图

3.2 调节器参数整定

ASR 采用变结构 PI,而 ACR 采用常规 PI,其参数整定可以借用工程设计法(EDM)<sup>[1]</sup>对原常规系统的设计结果,即 $[K_n, T_n, K_i, T_i] = [7.1, 0.164, 0.817\ 0\ 0.014\ 9]$ (求解过程略).阶跃给定  $U_n^* = 10\text{ V}$ ,负载电流  $I_{dL} = 1\text{ A}$  和  $I_{dL} = 8\text{ A}$ .对应的部分变量阶跃响应分别如图 4 所示.其中,曲线 a 为主回路电流, b 为转速, c 为 ASR 输出, d 为比例器输出, e 为积分器输出.可见,按工程设计法整定的结果,轻载时,系统略有超调;重载时,过渡时间稍长.因此参数需进一步整定.克服超调最简单的整定方法是调整  $T_n$ ,使之略大.其机理是减少积分的作用量,使 ASR 的输出下降得快一些,从而减落电机的上升势头.但  $T_n$  增加,会延长过渡时间,故还可

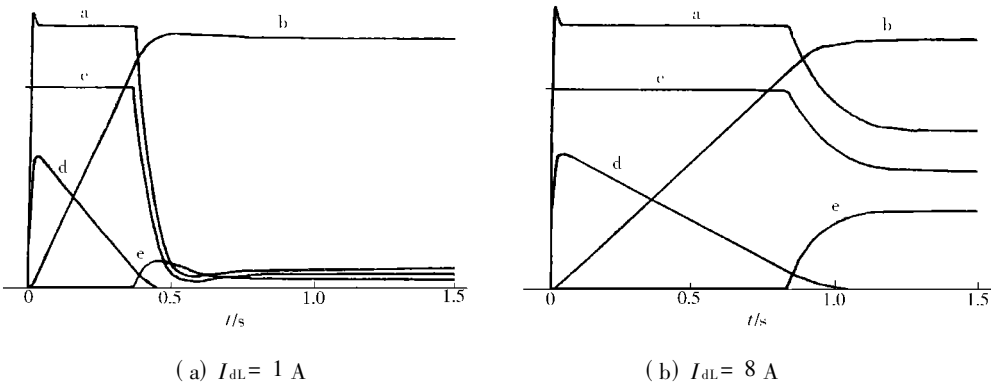
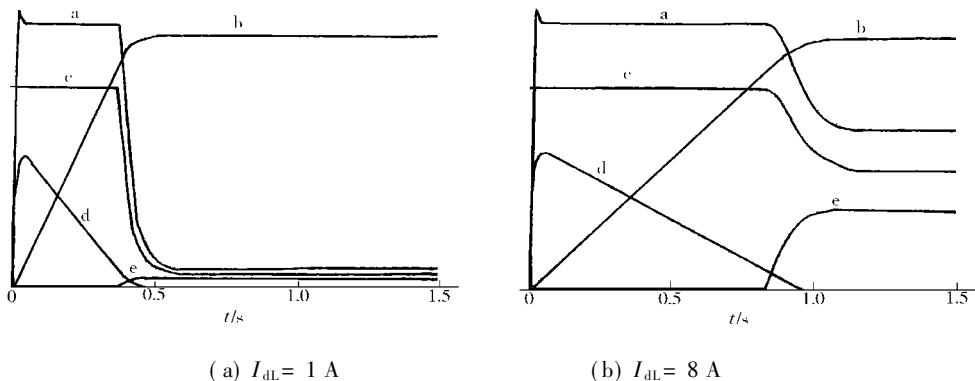


图 4 EDM 参数下系统输出

以采用  $T_n$  与  $K_n$  同时调整的方法,即增加  $T_n$  的同时再略加大  $K_n$ .其机理是推迟 ASR 退出饱和的时间,从而使电机获得更长时间的加速,而能更快接近预期值.根据  $T_n$  的调整原则,在  $I_{dL} = 1\text{ A}$  条件下,取  $T_n = 0.480\text{ s}$ ,其余不变.在  $I_{dL} = 8\text{ A}$  条件下,取  $T_n = 0.136\text{ s}$ ,其余不变.图 5 为对应系统的部分变量阶跃响应.显然,系统转速动特性得到有效改善.

图5  $T_n$  调整后系统输出

## 4 结束语

本文根据变结构控制的基本思想,设计了一种变结构控制器.在系统误差较大时,仅比例起作用,输出最大控制量.调节器属比例调节器,起到使系统迅速启动的作用.当系统误差减少到一定程度时,积分投入工作,调节器属PI调节器.它起到调节系统剩余动态过程,并最终消除静差的作用.从仿真实验中可知,所设计的变结构PI调节器控制效果优异,参数调整方便,调整原则具有明显的物理意义.控制器结构简单,硬件容易实现.它不仅为改进和提高双闭环直流调速系统的性能提供了一种新方法,而且在其它控制领域具有广泛的应用前景.

## 参 考 文 献

- 1 陈伯时. 电力拖动自动控制系统[M]. 第2版. 北京: 机械工业出版社, 1992. 23 ~ 76
- 2 Nandam P K. A comparative study of P-I and I-P controller for DC motor drives[J]. Int. J. Control., 1986, 44(1): 283 ~ 297
- 3 熊 焰. 直流拖动系统中转速超调与 I-P 控制器性能分析[J]. 电气传动, 1989, 2, 1 ~ 5
- 4 姚琼荃, 黄继起, 吴汉松. 变结构控制系统[M]. 重庆: 重庆大学出版社, 1997. 10 ~ 13
- 5 冯纯伯, 费树岷. 非线性控制系统分析与设计[M]. 北京: 电子工业出版社, 1998. 119 ~ 123
- 6 薛一宇. 控制系统计算机辅助设计——MATLAB 语言及应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 1997. 11 ~ 32

## Variable Structure Control and Simulation of Double Loop DC Motor Speed Adjusting System

Zhou Kaiting Zheng Lixin

(College of Info. Sci. & Eng., Huaqiao Univ., 362011, Quanzhou)

**Abstract** Aiming at double loop DC motor speed adjusting system, a variable structure controller is designed to substitute for current and speed regulator of conventional system. The design is based on the basic idea of variable structure control. It succeeds in solving the problem of speed overshoot. As shown by simulation analysis and experimental results, the variable structure controller will make the system obtain excellent dynamic and static performance; and the controller is simple in design and easy in setting of parameters.

**Keywords** variable structure control, double loop DC motor speed adjusting system, computer simulation