

带负载力矩补偿观测器的直流调速系统

杨 钧

(广东工业大学 自动化学院, 广东 广州 510090)

摘要: 提出一种带负载力矩干扰补偿的直流调速系统. 利用系统中可测量到的电枢电流和转速信号, 通过线性网络获得系统中不可直接测量的负载力矩的等效信号, 并使此信号参与系统的控制作用, 从而克服负载力矩对电机转速的影响. 仿真实验结果表明系统不仅具有良好的静、动态性能, 而且具有较强的抗负载力矩干扰能力.

关键词: 直流调速; 负载力矩; 补偿控制; 高性能

中图分类号: TP273

文献标识码: A

文章编号: 1007-7162(2006)02-0058-05

采用转速、电流双闭环控制的直流调速系统, 转速、电流调节器采用“工程最佳”的方法, 设计规范, 参数整定容易, 调试方便, 系统具有良好的动、静特性. 但是, 这种结构的系统抗负载能力差, 尤其是在低速时特别严重. 例如, 当转速环的中频段宽选 5 时, 虽然对应的系统具有良好的动态性能, 但在低速时, 阶跃负载干扰造成转速波动可达 81.2%^[1]. 这种情况, 在要求高精度加工的场合, 会直接影响产品的质量和数量.

在系统中, 不能直接测量负载力矩干扰量, 因此无法用它来构成负反馈去抑制它对系统的影响. 本文通过可检测到的电枢电流和电机转速两个信号, 利用线性网络构成一个负载力矩观测器, 获得负载力矩可测量信号, 并在系统中引入补偿控制装置, 达到抑制甚至消除负载力矩对系统的影响, 大大地增强了直流调速系统抗负载干扰能力.

1 系统设计和综合

带负载力矩补偿控制的双闭环直流调速系统的动态结构图如图 1 所示. 它是在典型的双闭环控制结构基础上, 引入一负载力矩观测器和负载力矩补偿网络而构成. 在系统中, 负载力矩观测器获得负载力矩的等效信号并参与系统的控制作用.

按“工程最佳”设计方法^[1,2]确定电流调节器(ACR)和速度调节器(ASR).

若按“模最佳”(典型 I 型)综合电流环, 则

电流调节器(ACR)选择 PI 调节器, 即

$$W_{\text{ACR}}(S) = k_i \frac{\tau_i S + 1}{\tau_i S},$$

参数选择为

$$\tau_i = T_1, k_i = 0.5 \frac{R}{k_s \beta} \cdot \frac{T_1}{T_{\Sigma i}}, \quad (T_{\Sigma i} = T_s + T_{\alpha}),$$

收稿日期: 2005-04-28

作者简介: 杨钧(1970), 女, 实验师, 主要研究方向为控制理论与工程.

电流环的等效闭环传递函数见下一节.

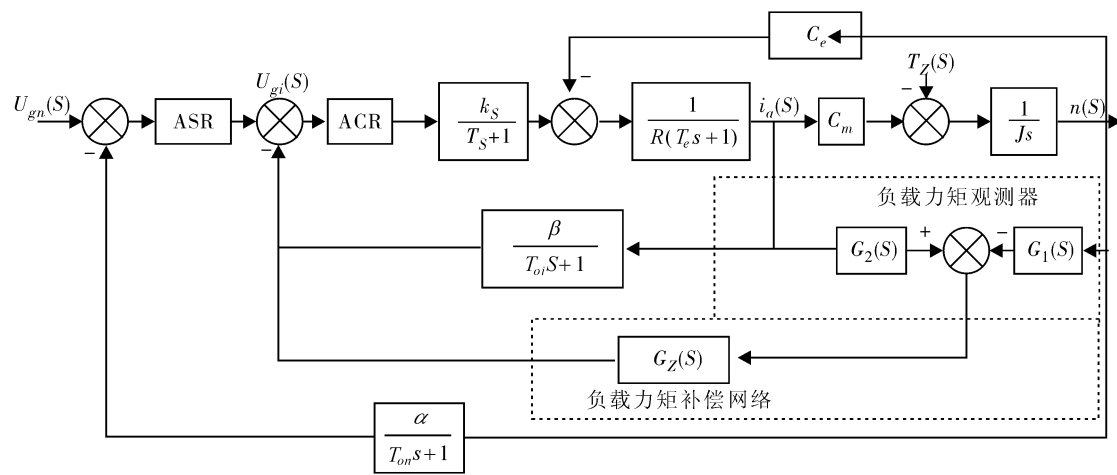


图 1 带补偿的调速系统动态结构图

1.1 电流环、速度环的综合与设计

$$W_1(S) \approx \frac{1/\beta}{2T_{\Sigma i}S+1}.$$

转速环一般按典型 II 型系统综合,则速度调节器(ASR)选为 PI 调节器,即

$$W_{ACR}(S)=K_n\frac{\tau_nS+1}{\tau_nS}.$$

按谐振峰值最小准则的参数选择为

$$\tau_n=hT_{\Sigma n},k_n=\frac{(h+1)\beta J}{2haC_mT_{\Sigma n}},\quad (T_{\Sigma n}=T_{on}+2T_{\Sigma i}).$$

式中 h 为中频段宽,一般取 4~ 6,现取 $h=5$.

1.2 负载力矩观测器及其补偿控制

1.2.1 负载力矩观测器原理

在系统中,负载力矩是属于不能直接测量到的干扰信号,为了能抑制负载力矩对电动机转速的影响,最好是获得另一些与之相关的信号来参与对系统的控制.

由于电枢电流和电机转速是可以直接测量到的信号,若把这二个信号分别引入传递函数分别为 $G_1(S)$ 和 $G_2(S)$ 的两个线形环节中,再将两环节的输出信号进行综合后,可得负载力矩信号 $T(S)$,如图 2 所示.

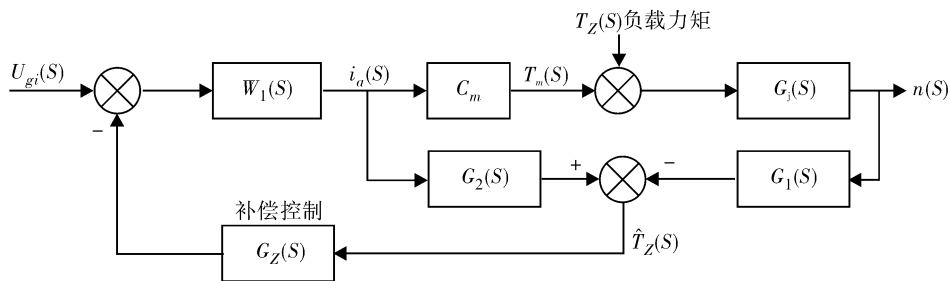


图 2 负载力矩观测器与补偿控制结构图

图中, $U_{gi}(S)$ —速度调节器输出; $i_a(S)$ —电枢电流; $W_1(S)$ —电流环等效传递函数; C_m —电机力矩常数; $T_Z(S)$ —负载力矩; $G_Z(S)$ —负载力矩补偿控制器传递函数.

由结构图规则可写出如下方程:

$$[i_a(S) \cdot C_m - T_Z(S)] \cdot G_j(S) = n(S), \quad (1)$$

$$i_a(S) \cdot G_2(S) - n(S) \cdot G_1(S) = T_Z(S), \quad (2)$$

式中 $G_j(S) = \frac{1}{JS}$, $G_1(S)$ 、 $G_2(S)$ 待设计.

由式(1)、(2)消去 $n(S)$, 可得方程

$$i_a(S)[C_m \cdot G_j(S) \cdot G_1(S) - G_2(S)] - T_Z(S) \cdot G_j(S) \cdot G_1(S) = -T_Z(S). \quad (3)$$

若令

$$\begin{cases} G_j(S) \cdot G_1(S) = 1, \\ C_m G_j(S) G_1(S) - G_2(S) = 0, \end{cases} \quad (4)$$

由式(3)可得

$$T_Z(S) = T_Z(S). \quad (5)$$

由式(4)可求出 $G_1(S)$ 、 $G_2(S)$ 分别为

$$G_1(S) = \frac{1}{G_j(S)} = JS, \quad (6)$$

$$G_2(S) = C_m. \quad (7)$$

将式(6)和(7)代入式(2), 得

$$T_Z(S) = C_m \cdot i_a(S) - JS \cdot n(S). \quad (8)$$

式(8)表明, 只要把电流信号加入一放大系数为 C_m (力矩常数) 的放大器, 把转速信号加入一微分时间常数为 J (转动惯量) 的微分器中, 它们的输出信号经综合后便可以得到负载力矩 T_Z 的等效信号 T_Z , T_Z 是可测量到的信号, 于是 T_Z 便可以间接测量了.

1.2.2 负载力矩补偿控制

在讨论负载力矩 T_Z 对电机转速 n 的影响时, 可令图 2 中 $U_{gi}(S) = 0$, $T_Z(S) \neq 0$, 则此时负载力矩扰动为输入量, 转速变化为输出量, 结构图如图 3 所示.

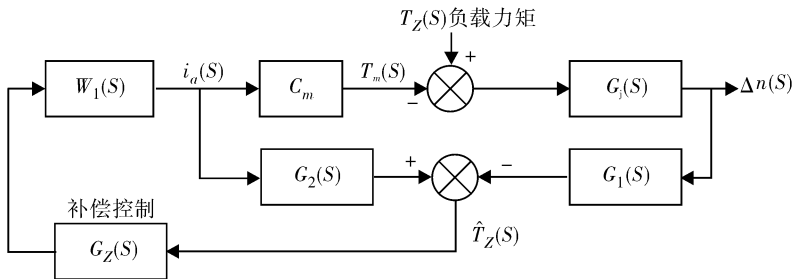


图 3 以转速变化为输出量时的动态结构图

于是有:

$$T(S) \cdot G_Z(S) W_1(S) = i_a(S), \quad (9)$$

$$[T_Z(S) - C_m \cdot i_a(S)] \cdot G_j(S) = \Delta n(S). \quad (10)$$

因为 $G_1(S)$ 、 $G_2(S)$ 按式(6)、(7)设计时, 有 $T_Z(S) = T_Z(S)$, 由式(9)、(10)有

$$(1- G_z(S) \cdot W_1(S) \cdot C_m) \cdot G_j(S) \cdot T_z(S) = \Delta n(S).$$

(11)

令

$$1- G_z(S) \cdot W_1(S) \cdot C_m = 0,$$

(12)

有

$$\Delta n(S) = 0.$$

(13)

再由式(12), 可求得负载力矩补偿控制器传递函数为

$$G_z(S) = \frac{1}{C_m \cdot W_1(S)} = \frac{\beta(2T_{\Sigma i}S + 1)}{C_m} = k_z(\tau_z S + 1),$$

(14)

式中

$$k_z = \frac{\beta}{C_m}, \tau_z = 2T_{\Sigma i}.$$

这就表明, 当负载力矩补偿控制网络采用“比例- 微分”控制时, 负载力矩的突变对电动机转速的影响为零, 得到非常完美的控制效果. 当然, 由于上述公式是在线性化、参数不变等理想情况下推导得到的, 实际上在负载力矩突变时, 转速仍会有一定的变化, 但比双闭环系统要好得多.

2 仿真实验及结果

直流电动机主要参数为: $U_n = 220\text{ V}$, $I_n = 226\text{ A}$, $n_n = 1\,750\text{ r/min}$, $T_1 = 0.15\text{ s}$, $C_m = 0.212\text{ N} \cdot \text{m/A}$, $J = 0.015\text{ N} \cdot \text{m}^2$.

晶闸管整流装置: 放大系数 $k_s = 70$, 滞后时间 $T_s = 0.0067\text{ s}$, 电流反馈系数 $\beta = 0.1\text{ V/A}$, 电流滤波时间常数 $T_{oi} = 0.01\text{ s}$, 速度反馈系数 $\alpha = 0.0044\text{ V/(r} \cdot \text{min}^{-1})$, 速度反馈滤波时间 $T_{oi} = 0.01\text{ s}$.

按文中设计方法设计电流调节器、速度调节器、负载力矩控制器以及补偿控制网络的参数后, 用 MATLAB/Simulink 仿真工具^[3]得到图 4 的仿真模型.

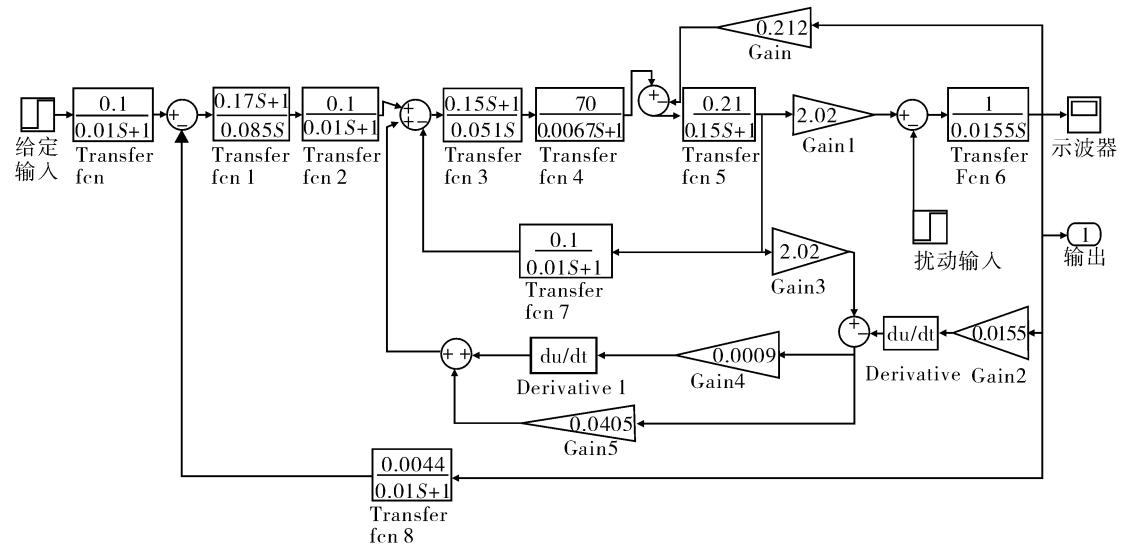


图 4 调速系统 Simulink 仿真模型

通过仿真, 结果如图 5(a)、(b)所示. 图 5(a) 为不带负载力矩观测器及补偿控制器时, 系统仿真输出波形; 图 5(b) 为带负载力矩观测器及补偿控制器时, 系统仿真输出波形. 从仿真结果

可以看出,在突加阶跃干扰力矩时,图 5(a) 转速受扰动最高峰值达到 17.8 V 左右,而图 5(b) 带负载力矩观测及补偿控制时,转速受扰动最高峰值只有 3.0 V 左右.这说明带负载力矩观测及补偿控制器的系统能较好地抑制负载力矩对转速的影响,增强了直流调速系统抗负载干扰的能力.在实际应用中还可以适当调节补偿控制器的参数,以达到最佳效果.

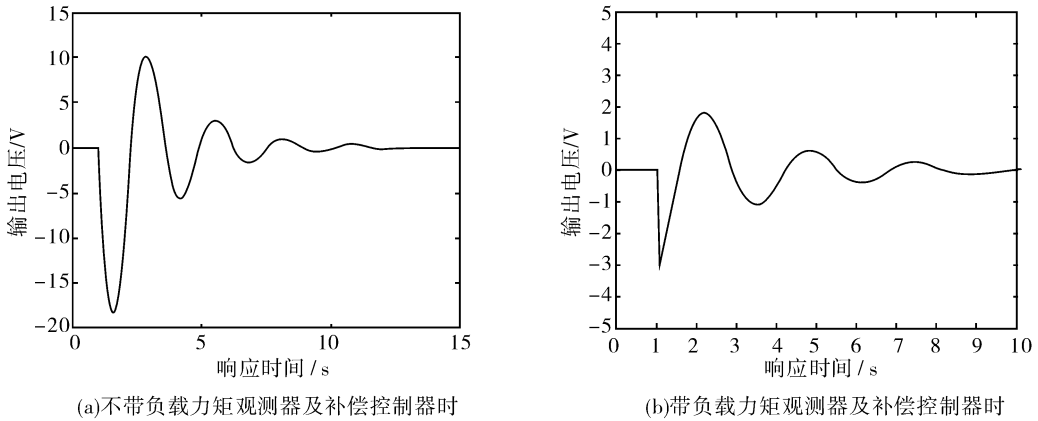


图 5 输出信号响应曲线

参考文献:

- [1] 冯堃生, 邓则名. 电力拖动自动控制系统[M]. 广州: 广东高等教育出版社, 1998.
- [2] 朱仁初, 万伯仁. 电力拖动自动控制系统设计手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 1992.
- [3] 薛定宇, 陈阳泉. 基于 MATLAB/Simulink 的系统仿真技术与应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2002.

Speed Control System of D. C. Motor with Load Torque Compensation

YANG Jun

(Faculty of Automation, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510090, China)

Abstract: A D. C. motor speed control system with a load torque compensation is presented in this paper. The equivalent load torque will be obtained by using measurable armature current and motor speed signals, and liner network acts with a control signal in the system to overcome the influence on the speed of D. C. motor to load torque. Numerical examples are provided to illustrate the considered system not only has good dynamic and static performances, but also has strong capability of objection to load torque disturbance.

Key words: D. C. motor speed control; load torque; compensation control; high performances