

力矩电机设备文档

一、力矩电机的特点和结构

直流力矩电动机和直流伺服电动机的工作原理、基本结构和基本特性都是相同的，如图 1 所示。但是直流伺服电机的额定转速为每分钟几千转，不适合于低速运行，更不宜在堵转状态下工作。它的输出力矩不是很大，因此带动低速负载及大转矩负载要用减速器。而直流力矩电机是一种低俗、大转矩的直流电动机，可在堵转状态下长期工作。它可以直接带动低速负载和大转矩负载，具有转速和力矩波动小，机械特性和调节特性线性度好等优点，特别适用于高精度的位置伺服系统和低速控制系统。与采用齿轮传动减速的间接驱动相比，采用力矩电动机直接驱动的系统具有下述优点：

(1) 快速响应。采用直流力矩电动机的直接驱动系统，动态响应迅速，频率响应可高达 50Hz，比间接驱动提高一个数量级。特别适用于速启动和停转的高加速应用场合。

(2) 速度和位置的精度高，伺服刚度高。直接驱动消除了齿隙死区和弹性变形引起的误差，系统的放大倍数可以做得很高而又保持系统的稳定，因此系统的速度和位置精度，包括伺服刚度，均有较大提高。系统的伺服刚度 K 为： $K=T_L/\theta_L$ ，其中 T_L 为干扰力矩， θ_L 为干扰力矩产生的位移。

(3) 特性的线性度好。直流力矩电机本身的转矩—电流特性的线性度好。由于消除了齿隙死区，没有减速器而使总的摩擦力矩减小，这些都使系统特性的线性度提高，为平稳运行创造了条件。

(4) 直接驱动系统由于没有减速器，所以结构紧凑，运行可靠，维护方便，震动小，机械噪声小。不适用价高的减速器，使系统成本下降。

力矩电机实际上包括直流力矩电机、交流力矩电机和无刷直流力

矩电机几种，而本文档中主要介绍直流力矩电机。

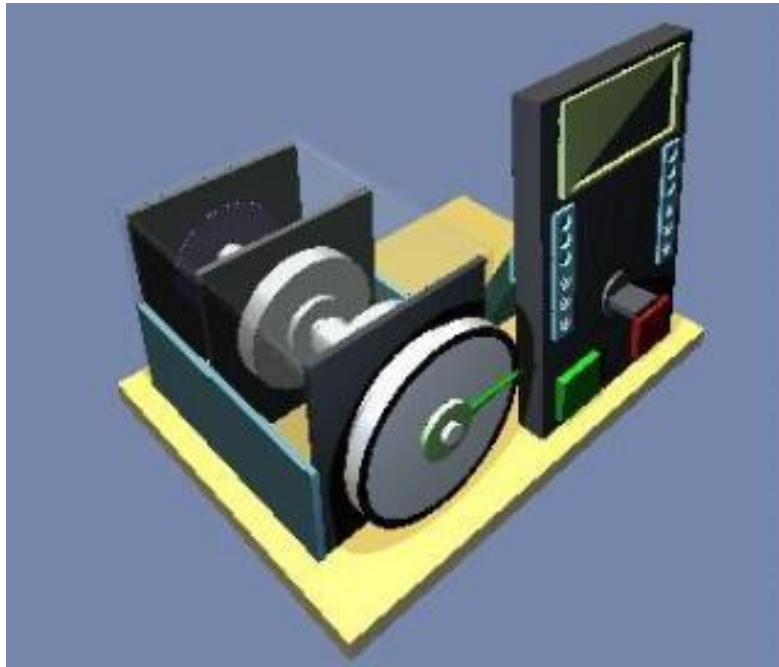


图 1 力矩电机示意图

二、力矩电机的工作原理和数学模型

直流电机电枢电路原理和齿轮传动机构如图 2 所示。

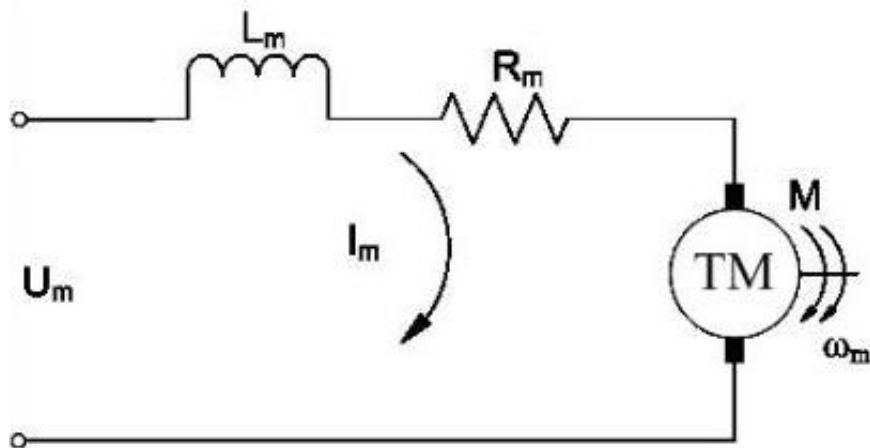


图 2 力矩电机的电枢电路和齿轮传动机构

图中符号意义如下

U_m —— 对电机的输入电压

R_m —— 电机电枢电阻

L_m —— 电机电枢电感

I_m —— 通过电枢的电流

ω_m —— 电机轴的转速

M —— 电磁力矩

由基尔霍夫电压定律和电机的动力学方程可得力矩电机输入电压到电机转速的传递函数，若设定如下状态：

$$x_1 = \omega_m, x_2 = \dot{\omega}_m$$

其中

x_1 —— 电机转轴角速度

x_2 —— 电机转轴角加速度

用 u 替代电机的输入电压 U_m ，由力矩电机传递函数可得到如下的状态空间方程：

$$\dot{X} = AX + Bu$$

$$Y = CX$$

其中

$$X = [x_1 \ x_2]^T$$

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

带入参数得力矩电机参数矩阵为

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -7.893 & -2.257 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 \\ 1.77 \end{bmatrix}$$

三、演示算法：LQR 控制方法

对力矩电机进行 LQR 控制。在 Command Window 中输入

A=[0 1; -7.893 -2.257];

B=[0; 1.77];

Q=[1000 0; 0 1];

R=0.0005;

K=lqr (A, B, Q, R)

得反馈矩阵

K = 1409.8 58.7

建立如图 3 的 Simulink 框图，其中 `torquemotor_sfun` 模块为 S 函数编写的力矩电机模块，`LQRCtrl` 模块为 LQR 控制模块，`Expectation` 模块为设定期望转速模块。设定期望转速为 50rad/s ，得到电机转速如图 4 所示。

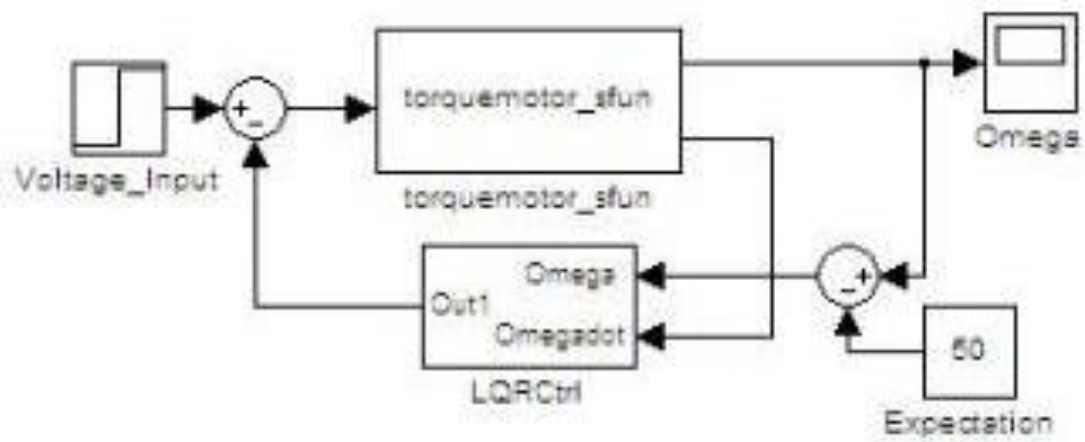


图 3 力矩电机闭环 LQR 控制 Simulink 框图

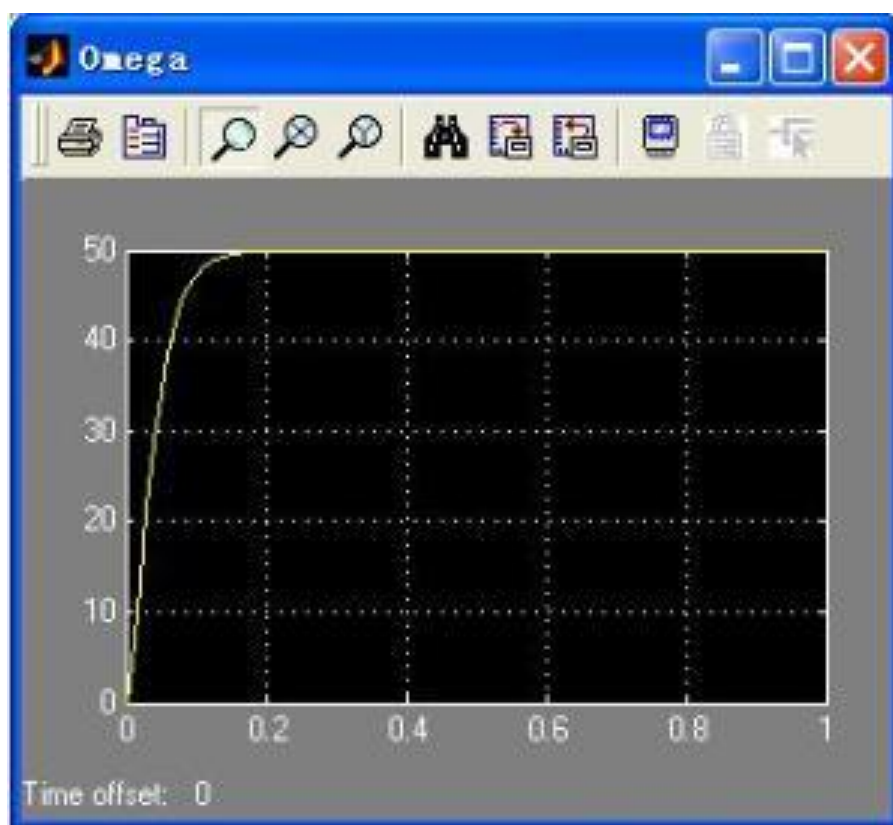


图 4 力矩电机转速曲线图