

磁悬浮系统设备文档

一、磁悬浮系统的结构和工作原理

磁悬浮实验装置主要由 LED 光源、电磁铁、光电位置传感器、电源、放大及补偿装置、数据采集卡和控制对象（钢球）等元件组成，如图 1 和图 2 所示。它是一个典型的吸附式悬浮系统。磁悬浮系统的特性是本质非线性，不确定性，开环不稳定性。

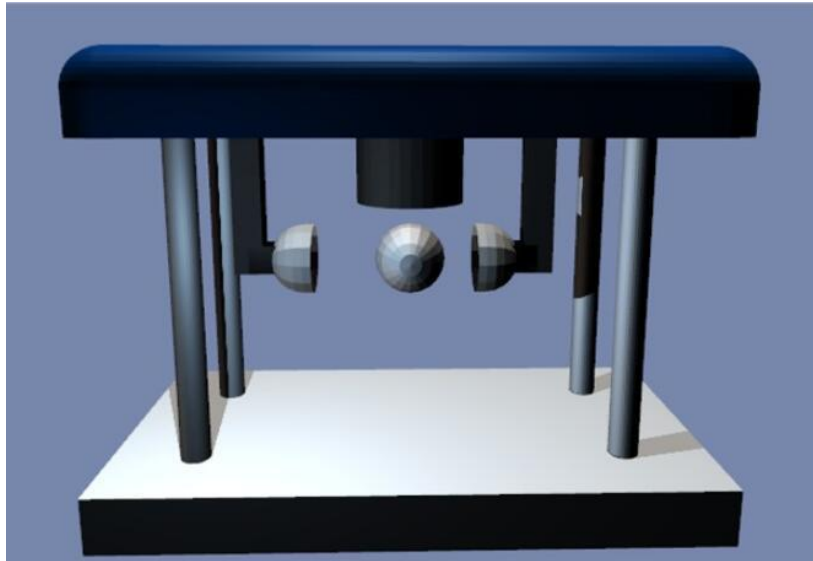


图 1 磁悬浮系统示意图 a

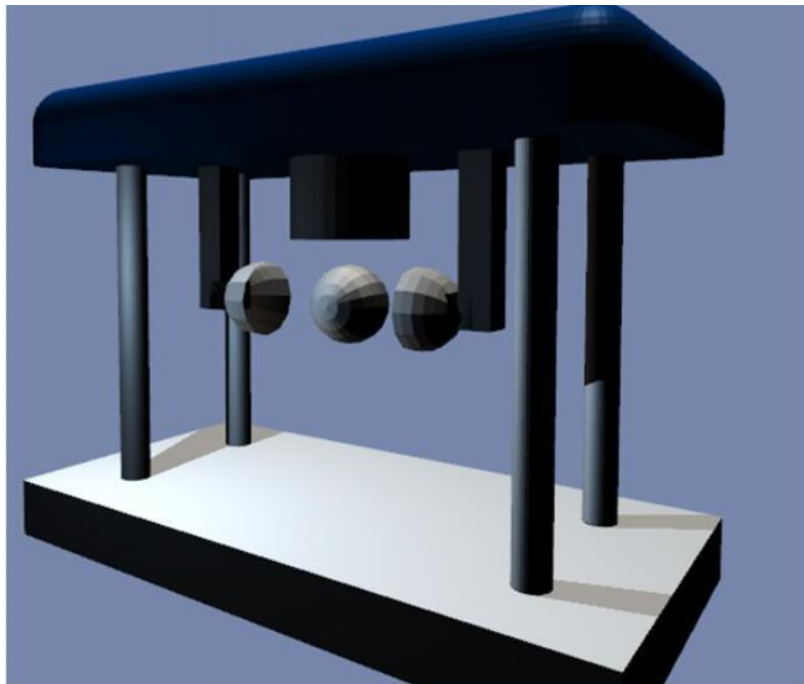


图 2 磁悬浮系统示意图 b

磁悬浮球控制系统是研究磁悬浮技术的平台。电磁铁绕组中通以一定的电流会产生电磁力 F ，只要控制电磁铁绕组中的电流，使之产

生的磁力与钢球的重力 mg 相平衡，钢球就可以悬浮在空中而处于平衡状态。为了得到一个稳定的平衡系统，必须实现闭环控制，使整个系统稳定具有一定的抗干扰能力。本系统中采用光源和光电位置传感器组成的无接触测量装置检测钢球与电磁铁之间的距离 x 的变化，为了提高控制的效果，还可以检测距离变化的速率。在建立磁悬浮系统的数学模型前需要通过传感器的标定实验，得到传感器的工作曲线方程，为了建立输出电压与小球位移的关系。

二、磁悬浮系统的数学模型

磁悬浮系统原理图如图 3 所示。

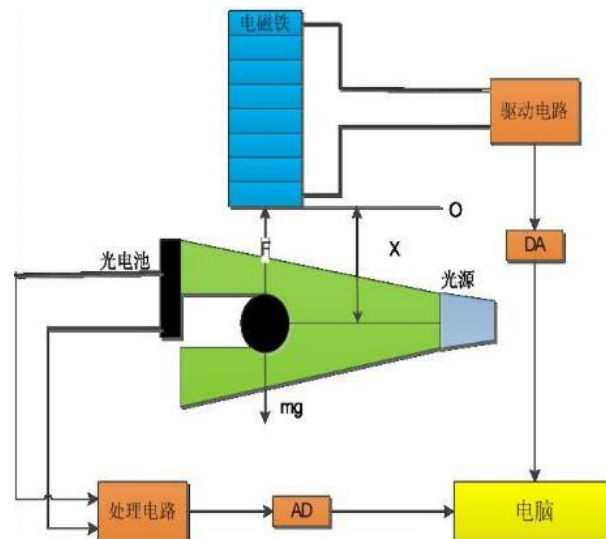


图 3 磁悬浮系统原理图

若设定如下状态

$$x_1 = u_{out}, x_2 = \dot{u}_{out}$$

其中

x_1 —— 与小球位移具有一定线性关系的输出电压

x_2 —— 与小球速度具有一定线性关系的输出电压变化率

则可通过电磁以及力学关系建立磁悬浮系统模型,带入参数得如下式的状态空间方程

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

$$Y = CX$$

其中

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

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 98.0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 \\ 2.4991 \end{bmatrix}$$

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

三、演示算法：LQR 控制方法

在 Command Window 中输入

```
A=[0 1; 98.0 0];
```

```
B=[0; 2.4991];
```

```
Q=[10 0; 0 1];
```

```
R=0.5;
```

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

得反馈矩阵 $K = 78.6824 \quad 8.0603$

建立如图 4 所示的 Simulink 框图，magnect_levitation_sfun 模块为磁悬浮系统模型部分，LQRCon 模块为 LQR 控制器部分，由于第三部分的数学模型为电压之间的传递函数，所以需要对输出的电压进行转换才可以得到小球的位置，增益模块 Ball_Position 为将输出电压转换为小球位置的模块。Expectation_position 模块为设定小球期望位置的模块，这里为 50cm，需要通过增益模块 Compansation 对其进行误差补偿且转换为相应的期望电压传送至闭环控制回路。系统输出电压与小球位置的转换关系在第二部分已说明。

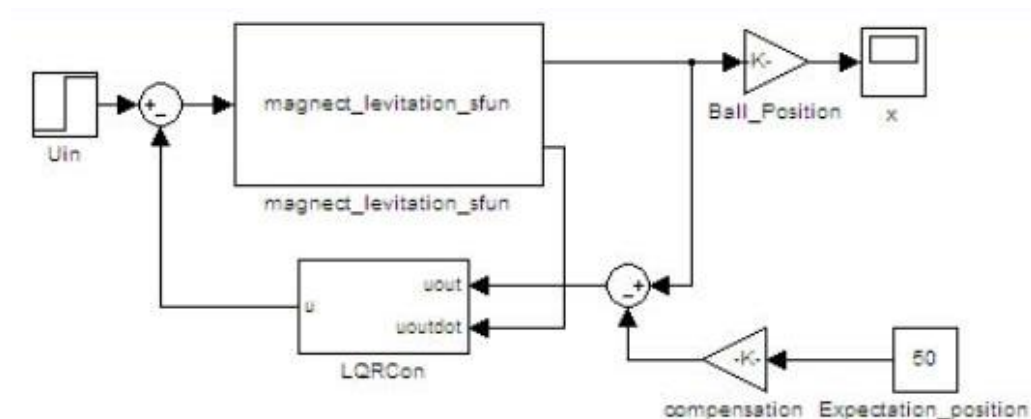


图 4 磁悬浮系统的 Simulink 框图

运行控制框图后得到如图 5 所示的小球位置图。

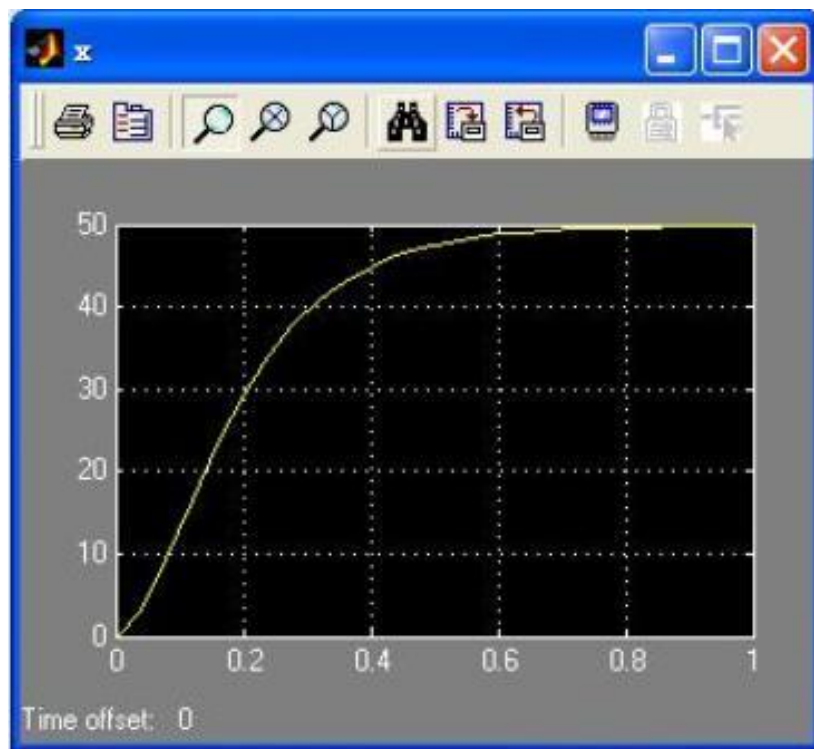


图 5 小球位置图