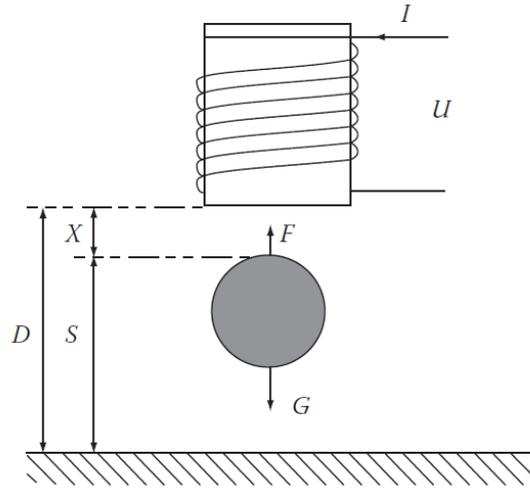


模糊控制作业



如图所示的磁悬浮系统，钢球在电磁力和重力的共同作用下悬浮在空中。系统满足如下方程：

$$F - G = m \frac{d^2 X}{dt^2}$$

其中， F 为电磁吸力， m 为钢球的质量，重力 $G = mg$ ， g 为重力加速度。

电磁力 F 依赖于电磁电流 I 和钢球与磁体的距离 X ，满足如下方程：

$$F = K \left(\frac{I}{X} \right)^2$$

其中， K 为电磁力系数。

电磁线圈的方程如下：

$$U - K \frac{I}{X} \frac{dX}{dt} = L \frac{dI}{dt} + IR$$

其中， U 为控制电压， L 为电感， R 为线圈电阻。

假定系统参数如下表所示

参数	值
m	0.05kg
g	9.81m/s ²
K	0.005Nm ² /A ²
R	5Ω
L	0.01H

请：

- 1、推导磁悬浮系统的状态空间模型；（提示：以钢球位置 X 、速度 \dot{X} 和电流 I 为状态变量）
- 2、针对上述磁悬浮系统，设计模糊控制器使钢球位置稳定在期望位置 $X_d = 0.05\text{m}$ 。假设初始钢球位置为 $X(0) = 0.03\text{m}$ ，初始速度和初始电流均为 0 ，仿真实现系统的模糊控制，绘制钢球位置随时间变化曲线、控制电压随时间变化曲线，并分析仿真结果。（输入输出的论域范围自行选择，可尝试位置误差范围 $[-0.04, 0.04]\text{m}$ ，位置误差变化率范围 $[-0.5, 0.5]\text{m/s}$ ，控制电压的范围 $[-10, 10]\text{V}$ ）
- 3、若改变钢球质量为 0.1kg ，其他参数不变，重新进行仿真并分析对系统控制性能的影响，讨论如何调整模糊控制器参数以适应钢球质量的变化。