

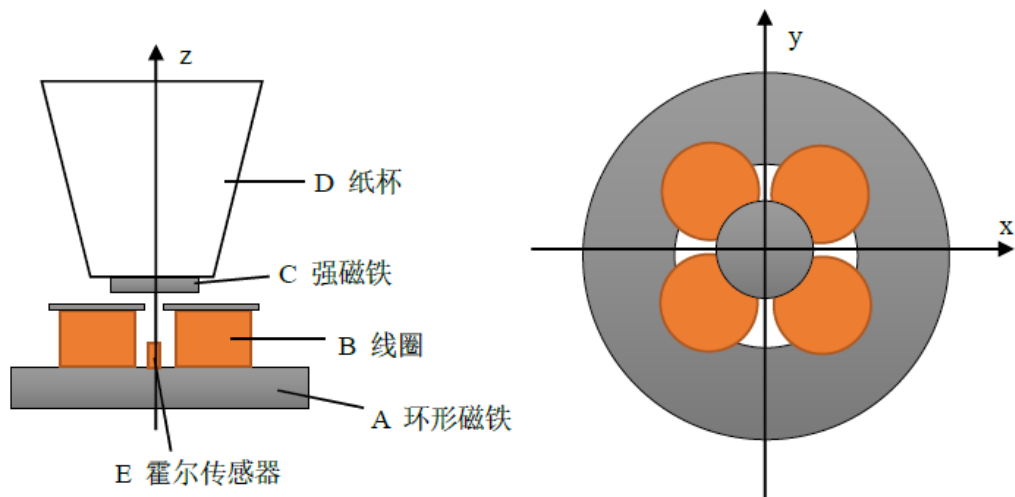
2014 年电子科技大学（第九届）电子设计竞赛
简易磁悬浮控制装置（E 题）

总结报告

自动化工程学院 陈炳贤
自动化工程学院 顾天成
计算机科学与工程学院 王号召
2014 年六月

一、方案论证

制作一个简易下推式磁悬浮及其控制装置。磁悬浮装置结构如下图所示（左图为正视，右俯中纸杯未画出）。环形磁铁 A 位于最下方，用于提供主要磁力四个线圈 B 放在环形磁铁 A 之上，当四个线圈通电后产生磁力用于控制强磁铁 C，使强磁铁 C 悬浮于空中，纸杯 D 粘贴在强磁铁 C 上，用于盛放物体霍尔传感器 E 用于检测强磁铁 C 位置，返回信号用于控制线圈位置，返回信号用于控制线圈电流。



二、理论分析与计算

2.1 螺线管磁力

螺线管是由绕在圆柱体上的导线构成的，对于密绕的螺线管，可以看成是一列有共同轴线的圆形线圈的并排组合，因此一个载流长直螺线管轴线上某点的磁感应强度，可以从对各圆形电流在轴线上该点所产生的磁感应强度进行积分求和得到。

根据毕奥—萨伐尔定律，当线圈通以电流 I_M 时，管内轴线上 P 点的磁感应强度为

$$B_P = \frac{1}{2} \mu_0 N I_M (\cos \beta_1 - \cos \beta_2) \quad (1)$$

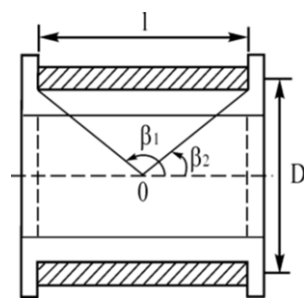
其中 μ_0 为真空磁导率， $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ 亨利/米，N 为螺线管单位长度的线圈匝数， I_M 为线圈的励磁电流， β_1 、 β_2 分别为点 P 到螺线管两端半径与轴线夹角，如图（2）所示。

根据式（10），对于一个有限长的螺线管，在距离两端口等远的中心处轴上 O 点，

$$\cos \beta_1 = \frac{L/2}{\sqrt{(L/2)^2 + (D/2)^2}}, \quad \cos \beta_2 = -\frac{L/2}{\sqrt{(L/2)^2 + (D/2)^2}}$$

式中 D 为长直螺线管直径，L 为螺线管长度。

此时，磁感应强度为最大，且等于



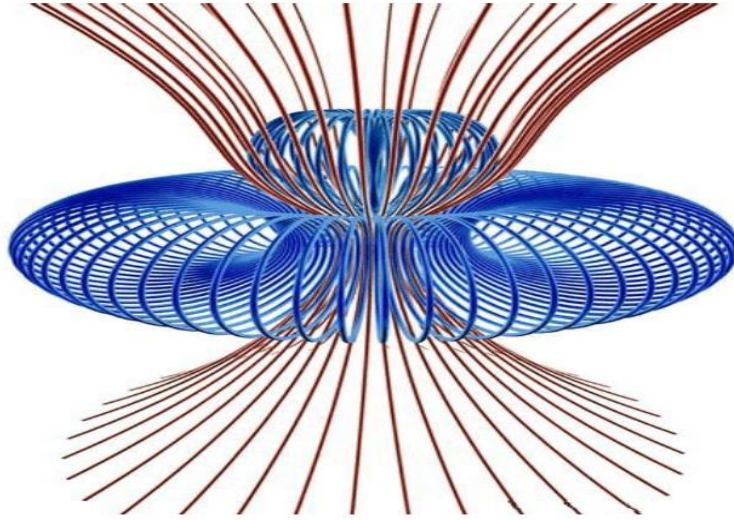
图（2）

$$B_0 = \frac{1}{2} \mu_0 N I_M \left(\frac{\frac{1}{2} L}{\sqrt{(\frac{1}{2} L)^2 + (\frac{1}{2} D)^2}} + \frac{\frac{1}{2} L}{\sqrt{(\frac{1}{2} L)^2 + (\frac{1}{2} D)^2}} \right)$$

$$= \mu_0 N I_M \frac{L}{\sqrt{L^2 + D^2}}$$

(2)

2.2 环形磁铁磁场



磁场三维图

2.3 A/D 采样

ADC, Analog-to-Digital Converter 的缩写, 指模/数转换器或者模拟/数字转换器。模数转换包括采样、保持、量化和编码四个过程。在某些特定的时刻对这种模拟信号进行测量叫做采样, 量化噪声及接收机噪声等因素的影响, 采样速率一般取 $f_s = 2.5 f_{max}$ 。通常采样脉冲的宽度 t_w 是很短的, 故采样输出是断续的窄脉冲。要把一个采样输出信号数字化, 需要将采样输出所得的瞬时模拟信号保持一段时间, 这就是保持过程。量化是将连续幅度的抽样信号转换成离散时间、离散幅度的数字信号, 量化的主要问题就是量化误差。假设噪声信号在量化电平中是均匀分布的, 则量化噪声均方值与量化间隔和模数转换器的输入阻抗值有关。编码是将量化后的信号编码成二进制代码输出。这些过程有些是合并进行的, 例如, 采样和保持就利用一个电路连续完成, 量化和编码也是在转换过程中同时实现的, 且所用时间又是保持时间的一部分。

2.4 PID 算法

PID (比例 (proportion)、积分 (integration)、微分 (differentiation)) 控制器作为最早实用化的控制器已有近百年历史, 现在仍然是应用最广泛的工业控制器。PID 控制器简单易懂, 使用中不需精确的系统模型等先决条件, 因而成为应用最为广泛的控制器。

PID 控制器由比例单元 (P)、积分单元 (I) 和微分单元 (D) 组成。其输入 $e(t)$ 与输出 $u(t)$ 的关系为

$$u(t) = K_p [e(t) + \frac{1}{T_I} \int_0^t e(t) dt + \frac{T_D * de(t)}{dt}]$$

式中积分的上下限分别是 0 和 t

因此它的传递函数为：

$$G(s) = U(s)E(s) = Kp[1 + \frac{1}{TI * s} + TD * s]$$

其中 K_p 为比例系数； TI 为积分时间常数； TD 为微分时间常数。

此题中的 Pid 控制公式：（PD 控制）

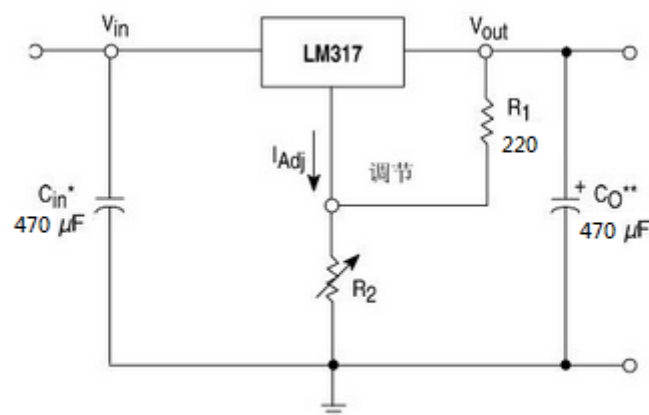
$$Pid = Kp(TargetAxis - NowAxis) - Kd \frac{NowAxis - OldAxis}{ChangeTime}$$

式中：TargetAxis 目标坐标
NowAxis 现在坐标
OldAxis 前一采样时刻坐标
ChangeTime 改变时间

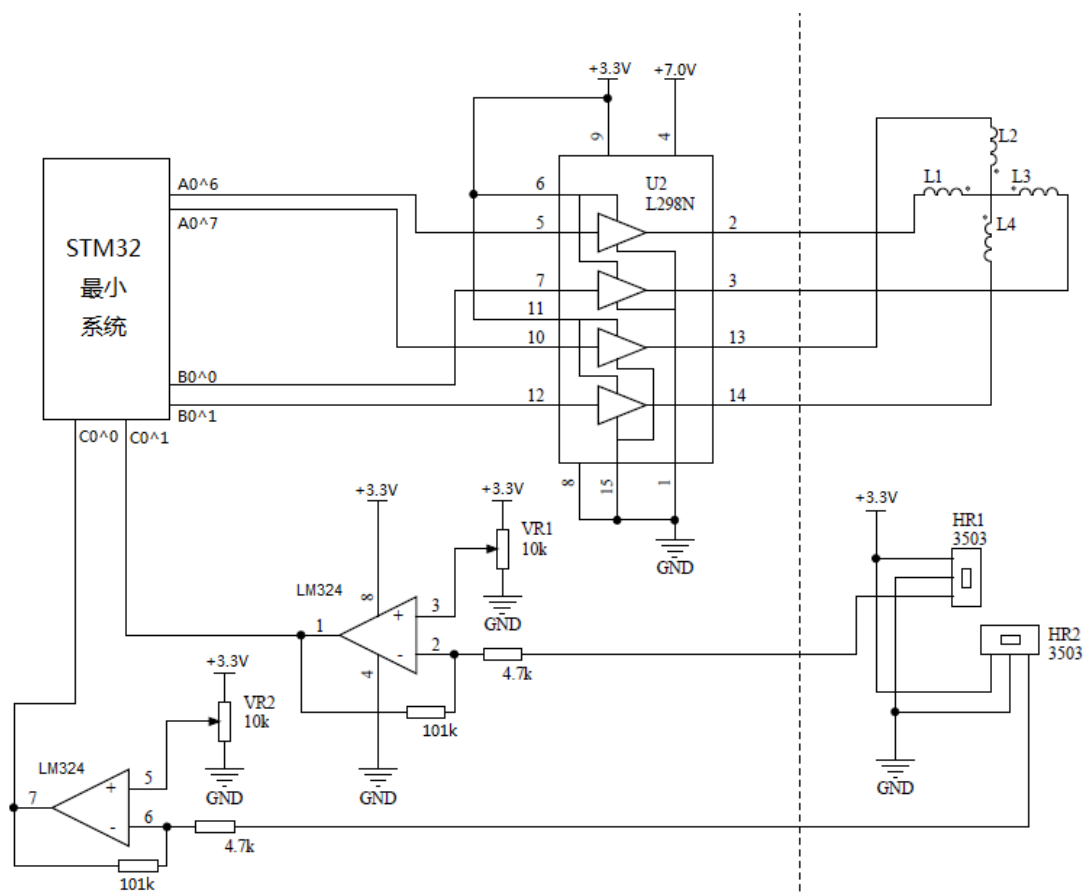
三、电路与程序设计

3.1 电路设计

本项目电路由三部分组成，即稳压电源、线圈与霍尔元件综合电路、STM32 最小系统电路。
原理图如下：



稳压电源电路原理图



系统原理图

3.2 程序设计

程序由 `int main()`、`void adc()`、`void pid()`、`void pwm()` 组成。

- `Void adc()` 获取 A/D 采样, 返回坐标数据。
- `Void pid()`, 由 PD 控制器, 返回控制 pwm 波的参数。

主要公式:

$$Pid = K_p(TargetAxis - NowAxis) - K_d(NowAxis - OldAxis) / ChangeTime$$

- `Void pwm()` 控制电流

代码见附件。

四、测试方案与测试结果

4.1 测试方案

1. 按上述电路原理图搭建硬件调节 K_d , K_p 参数, 使圆形磁铁浮于空中。
2. 测试霍尔元件是否正常。在无场强的情况下, 其正常输出为输入的一半。
3. 单片机读取 A/D 数据读取的值是否正常。
4. 驱动电路是否输出正常, 各线圈使磁铁向中间聚拢。
5. 放入磁铁, 调解 K_d , K_p 参数, 使磁铁浮于空中。

4.2 测试结果

1. 各节点输出电压与理论值相符。
2. 霍尔元件工作正常。

3. 驱动电路输出正常，各线圈使磁铁向中间聚拢
4. 在测试过程中，磁铁抖动，PID 控制成功。

五、结论

我们完成了磁悬浮项目的基本内容，制作了一个磁悬浮装置，并简单包装了一下。

