

# РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ЛЕВИТИРУЮЩЕЙ ПЛАТФОРМЫ

Д.Ю. Петров, Э.Р. Керимов, А.А. Сидорова  
Томский политехнический университет  
E-mail: dyp6@tpu.ru

## Введение

Еще в 19 веке возникла навязчивая идея подвесить предмет в воздухе за счёт лишь одного магнитного поля. Несмотря на то, что теорема Ирншоу доказывает, что, используя только магниты невозможно удержать объект в гравитационном поле, с помощью дополнительных механизмов корректировки такая левитация возможна. Конечно, самый простой в реализации способ корректировки – использование гироскопических сил. Данный способ не интересен в виду ограниченного времени нахождения тела в невесомости. Поэтому было принято решение использовать для корректировки датчики Холла, определяющие смещения левитирующего магнита от положения неустойчивого равновесия и электромагниты для возврата его в точку равновесия. Следовательно, исходя из вышеперечисленных умозаключений, можно составить цель данного проекта – разработка платформы, левитирующей в воздухе за счет эффекта Холла.

## Ход работы

Магнитная левитация состоит из двух частей: базовой части (основание) и плавающей (левитирующей) части. Основание состоит из четырех постоянных магнитов и четырех электромагнитов. Электромагниты управляют магнитным полем. Четыре цилиндрических постоянных магнита расставляются таким образом, чтобы образовать квадрат, и тем самым, образуют круглое магнитное поле, способное вытолкнуть любой магнит, который повернут к ним таким же полюсом [1]. Четыре электромагнита помещены таким же образом, как и постоянные магниты, однако магнитное поле, создаваемое ими, практически всегда противоположно, так как оно регулируется микроконтроллером, чтобы удержать левитирующий магнит «на плаву». Для контроля электромагнитов было решено использовать ПИД-регулятор, который, анализируя значения датчиков Холла, регулирует напряжение, подаваемое на обмотки катушек [2].

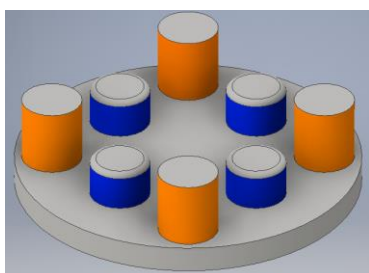


Рис.1. Основание левитрона с магнитами

## Выбор датчиков и исполнительных механизмов

После визуализации общего представления о работе был произведен выбор датчиков. В качестве элементов, управляющих магнитным полем, выбраны мини электромагниты QGT BR20 с удерживающей силой 2.5 кг. и потребляемым напряжением 12 В; постоянные магниты – неодим – железо – боровые магниты класса N35. Левитирующая часть будет включать в себя неодимовый магнит Seraty 20x5–5. Для управления двумя парами катушек электромагнита будет использован драйвер L298N. Микроконтроллер может быть выбран из представителей семейства Atmega или Arduino [3].

## Разработка алгоритма программы

Датчики Холла расположены перпендикулярно друг-другу для контроля изменения магнитного поля по осям X и Y. На рисунке 3 представлена принципиальная схема подключения датчиков и исполнительных механизмов.

Далее проведем калибровку значений выхода датчиков Холла. Если использовать микроконтроллер Ардуино, то оптимальным значением, которое регистрирует аналоговый вход МК, будет от 500 до 600, при этом выход датчика холла должен быть в пределах 2.3-2.5 В. Изменяя сопротивления потенциометров и держа магнит на желаемом расстоянии от центра основания, добиваемся этих значений [4].

Исходя из приведенных выше значений, определим коэффициенты PID-регулятора, который будет управлять напряжением на обмотках электромагнитах оси X и Y [5-8].

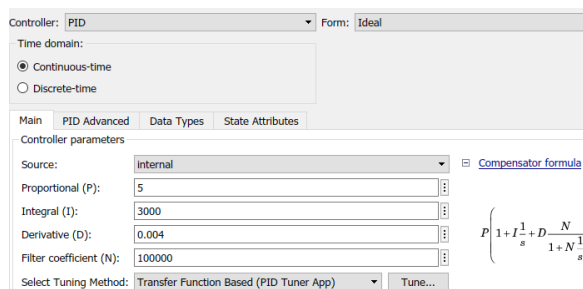


Рис. 2. Коэффициенты PID регулятора

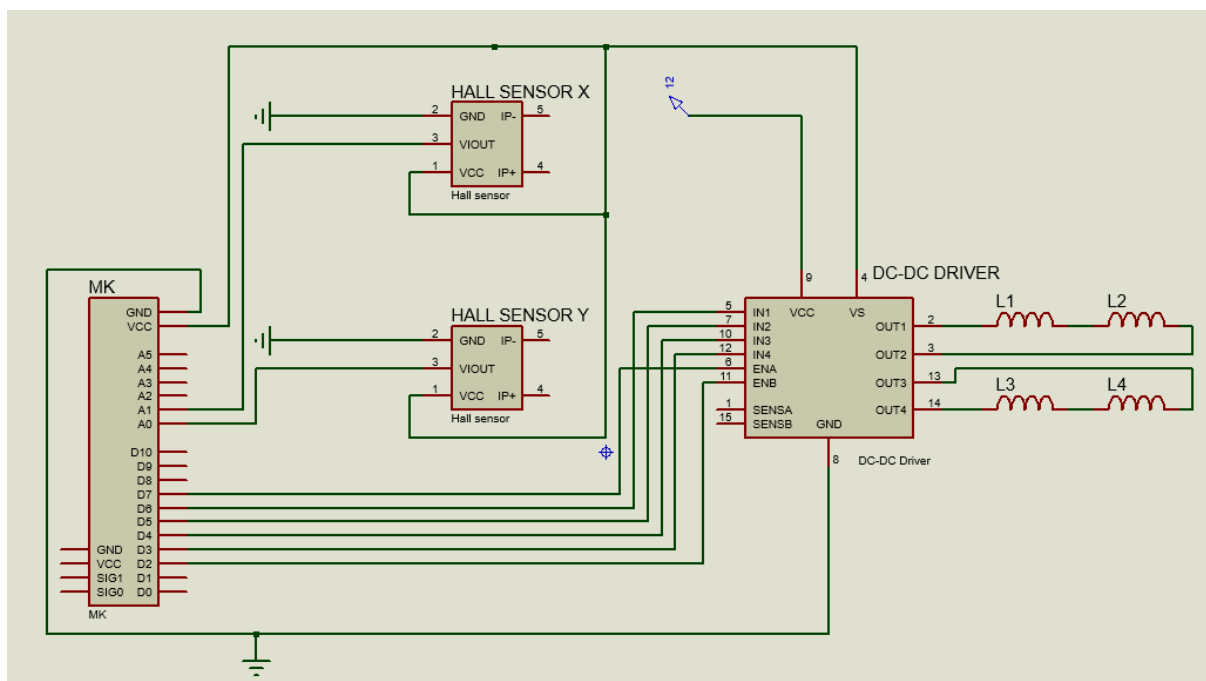


Рис. 3. Схема подключения датчиков холла и электромагнитов к микроконтроллеру и понижающему драйверу

### Заключение

В результате проектирования и создания алгоритма можно сделать вывод о том, что программа удерживания неодимового магнита в воздухе будет работать достаточно точно. Алгоритм показывает плохие результаты в следующих случаях, когда из-за большого количества всевозможных шумов, магнит будет выведен из состояния устойчивости.

Полученные результаты могут быть использованы образовательными учреждениями в процессах обучения и переподготовки специалистов в области автоматического управления или микропроцессорной техники.

### Список использованных источников

1. Малышенко А. М. Системы автоматического управления с избыточной размерностью вектора управления. – Томск: Изд-во Томского политехнического ун-та, 2005. – 302 с.
2. Малышенко А. М. Математические основы теории систем. – Томск: Изд-во Томского политехнического ун-та, 2004. – 334 с.
3. Tutov Ivan Andreevich. Integral variable structure controller [Electronic resource] – Томск: Издательство ТПУ, 2015. – URL: <http://www.lib.tpu.ru/fulltext/c/2015/C102/004.pdf> (дата обращения: 10.11.2019).
4. Проектирование аналогового ПИД-регулятора [Электронный ресурс]. — Режим доступа:

<http://www.lib.tpu.ru/fulltext/c/2014/C04/V1/134.pdf> (дата обращения: 10.11.2019).

5. Сидорова А.А. Выбор эффективного метода настройки ПИД-регулятора// Молодежь и современные информационные технологии. Сборник трудов XV Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Томск: Д-Принт, 2017. – С. 175–176.
6. Сидорова А.А., Михеева О.В. Исследование метода РЧХ для настройки ПИД-регулятора// Молодежь и современные информационные технологии: Труды XIV Всерос. научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Томск: Изд-во ТПУ, 2016. – С. 295–296.
7. Сидорова А.А., Королева Е.Р. Исследование методов настройки промышленного ПИД-регулятора// Молодежь и современные информационные технологии: Сборник трудов X Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Томск: Изд-во ТПУ, 2012. – С. 214–216.
8. Сидорова А.А., Малышенко А.М. Анализ эффективности алгоритмов автоматической настройки адаптивных промышленных ПИД-регуляторов Известия Томского политехнического университета. – 2011. – Т. 318. – № 5. – С. 110–115.