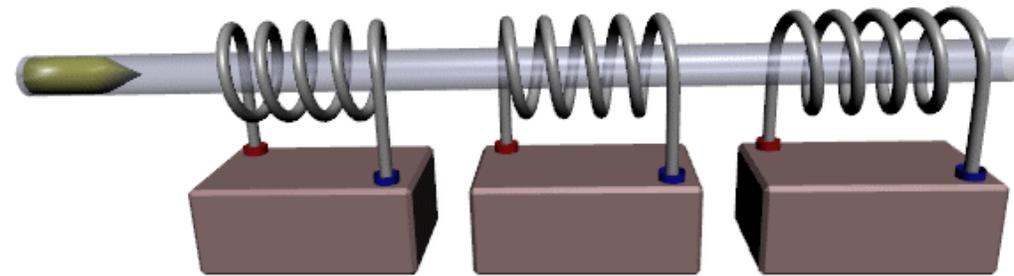


Курс 32-битные микроконтроллеры

Проект Coil gun



Петров Николай

Научный руководитель Яковлев С. А.

Описание проекта

Цель работы – создание трехступенчатого магнитного ускорителя – т.н. пушки Гаусса

Суть происходящего

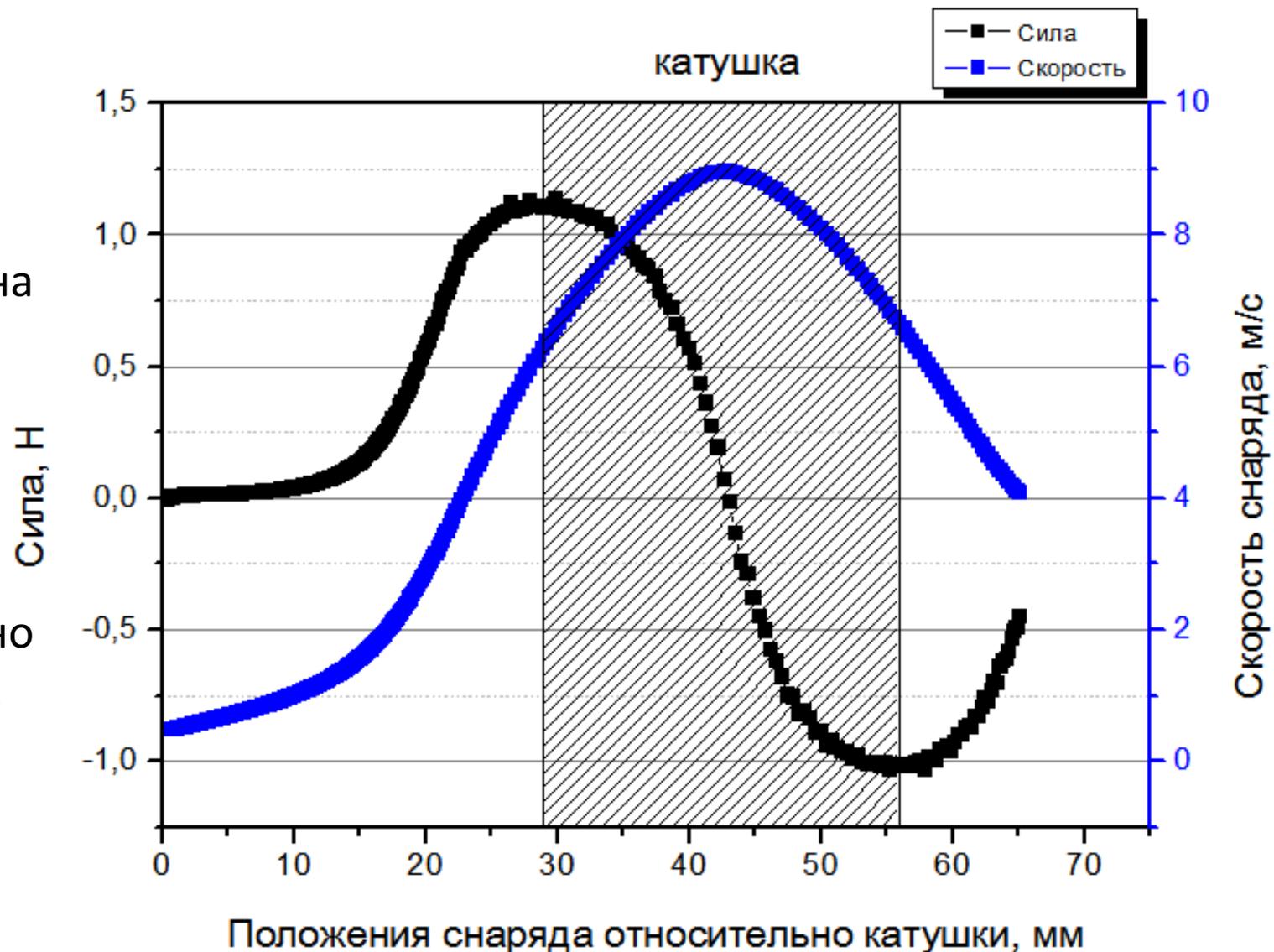
- Снаряд ускоряется за счет эффекта втягивания ферромагнетика в область магнитного поля
- Магнитное поле создается сильным током в катушках индуктивности
- Ток в катушке индуктивности надо своевременно выключать, чтобы снаряд не втягивался назад
- Для более сильного ускорения снаряд можно пропускать через несколько катушек

Идея реализации

- ✓ Нужен сильный ток в катушках - конденсаторы
- ✓ Требуется следить за продвижением снаряда внутри ствола – оптодатчики
- ✓ Необходимо переключать ток в катушках – транзисторы по схеме “косой полумост”
- ✓ Надо управлять всеми элементами – микроконтроллер STM32 Discovery

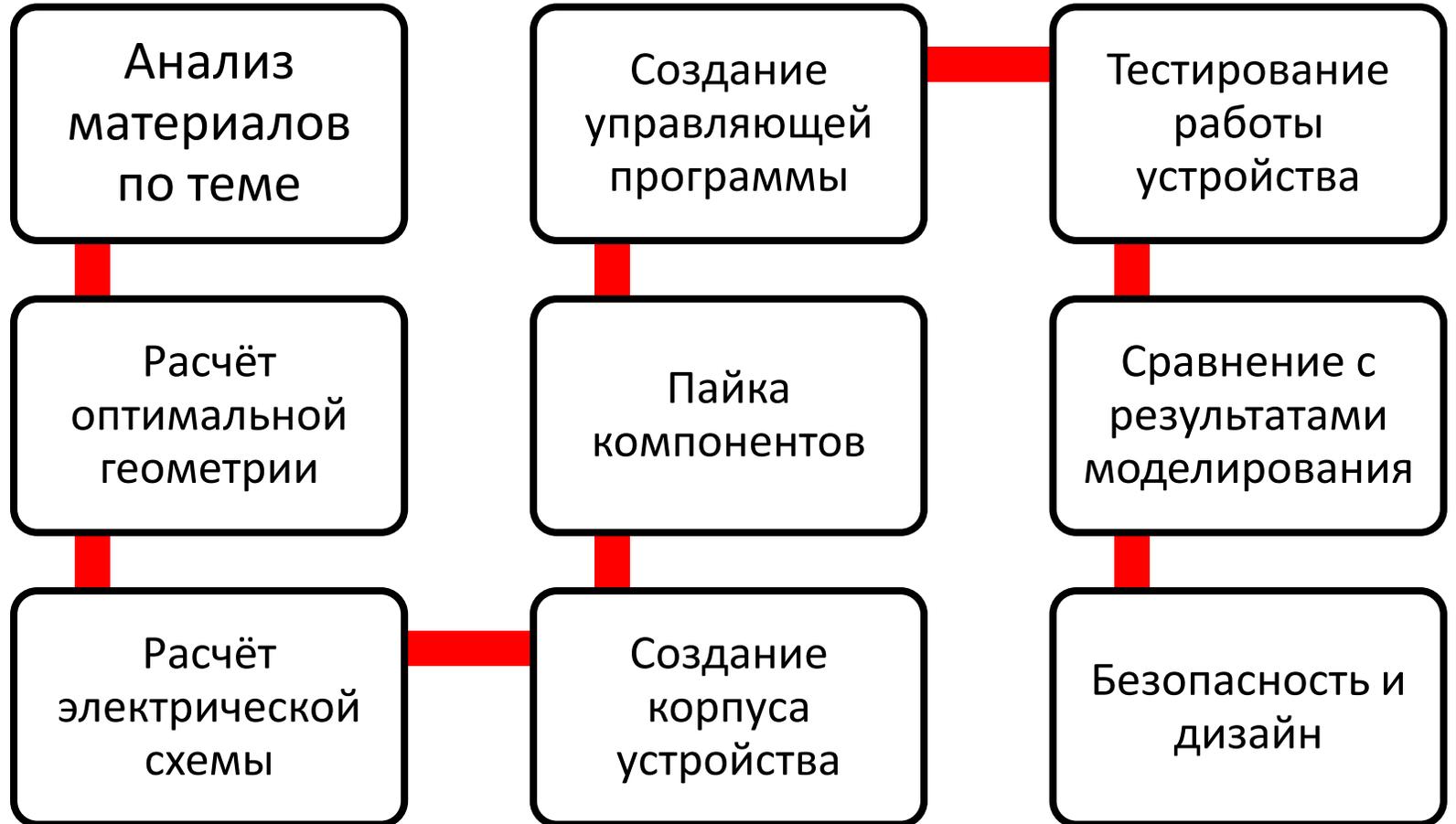
Пояснение сути эффекта

- Сила втягивание максимальна при влете в катушку, равна нулю в середине катушки и отрицательна при вылете из катушки
- Скорость максимальна в середине катушки. Поэтому в момент, когда снаряд находится в середине, необходимо как можно быстрее выключить ток в катушке.

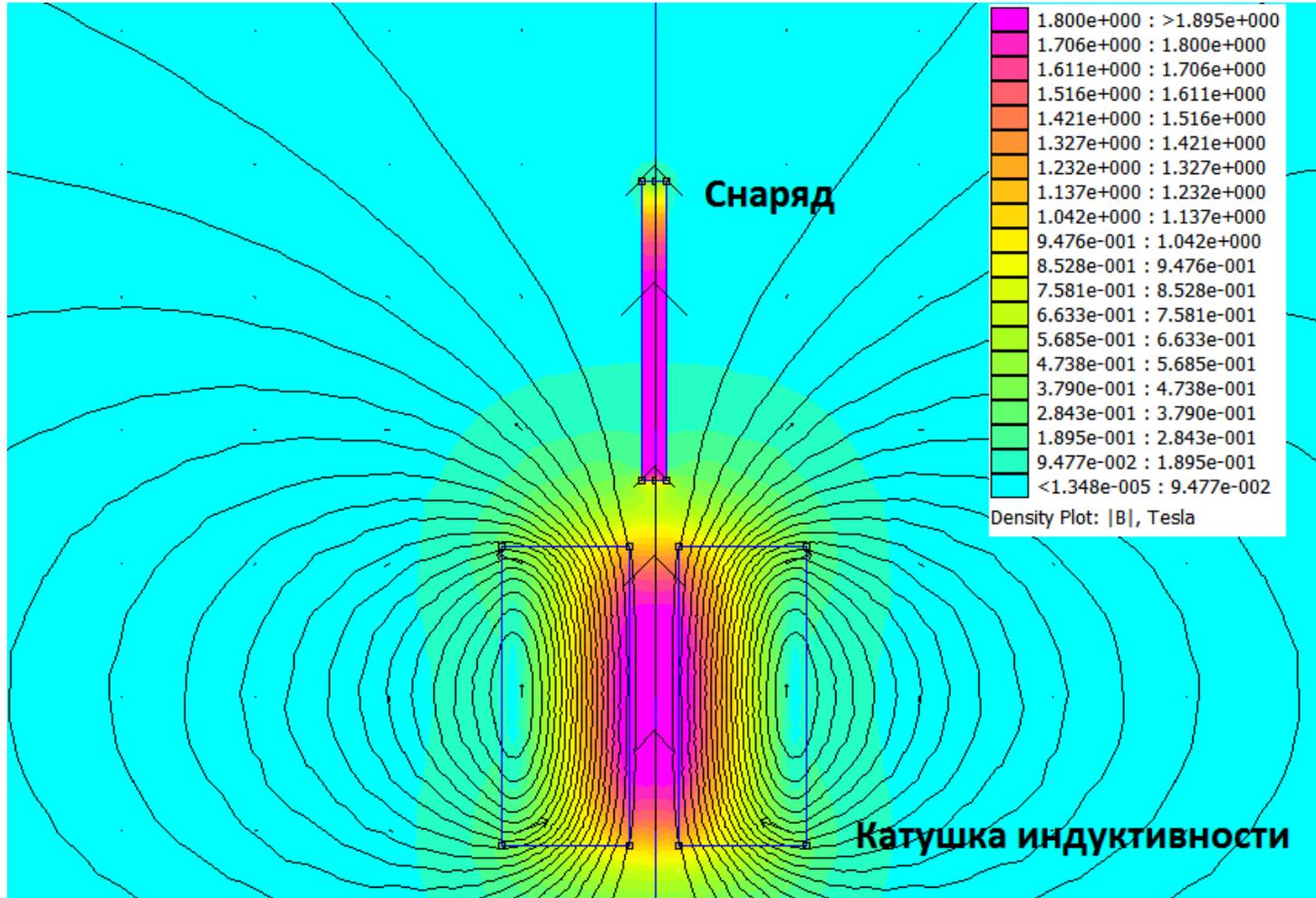


План работы над проектом

- Теория
- Моделирование
- Практическая часть
- Программирование микроконтроллера
- Анализ результатов



Моделирование – работа скрипта в FEMM



➤ Пакет моделирования магнитных полей **FEMM** дает возможность полного расчёта магнитного поля и связанных с ним величин при **статическом расположении токов** и магнитных материалов.

➤ Моделирование осуществляется путем написания скриптов на языке **lua**.

➤ В скрипте можно задать геометрию модели, параметры материалов, начальные и граничные условия.

Моделирование – работа скрипта в FEMM

Закон сохранения энергии для пушки Гаусса

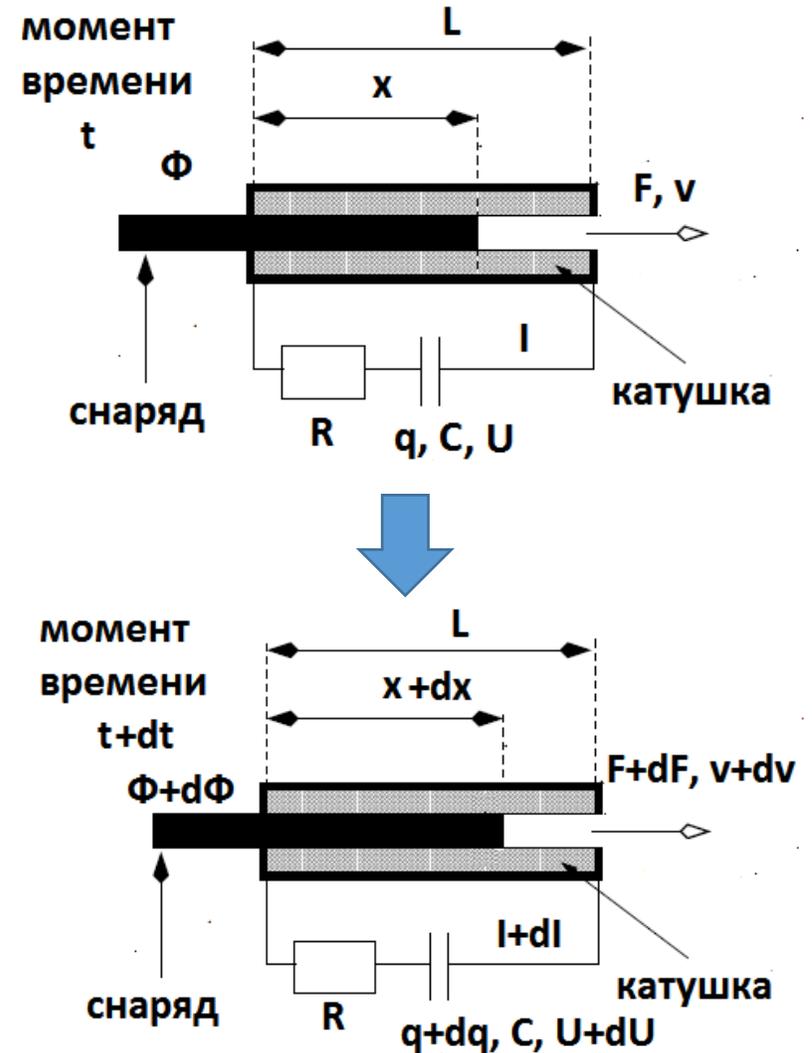
$$\frac{d}{dt} \left(\frac{q^2}{2C} \right) + \frac{d}{dt} \left(\frac{\Phi I}{2} \right) = I^2 R + FV$$

Рассматривая два близких положения снаряда в катушке в моменты времени t и $t+dt$, получаем для приращений

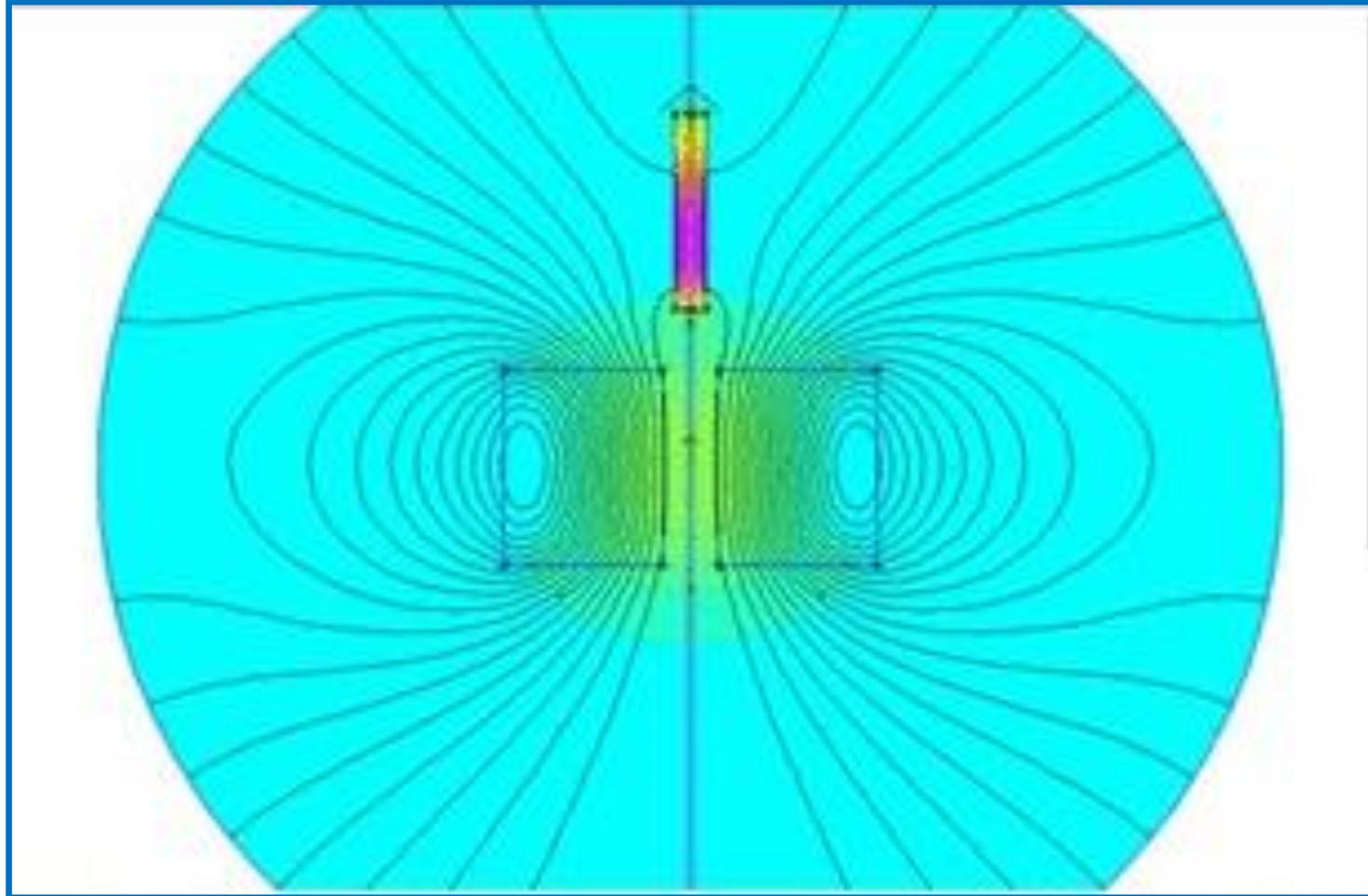
$$dI = \frac{(U - IR - FV/I)dt}{(d\Phi/dt + L)/2}$$

$$dU = \frac{dtI}{C}$$

$$dx = Vdt + \frac{Fdt^2}{2m}$$



Моделирование – работа скрипта в FEMM

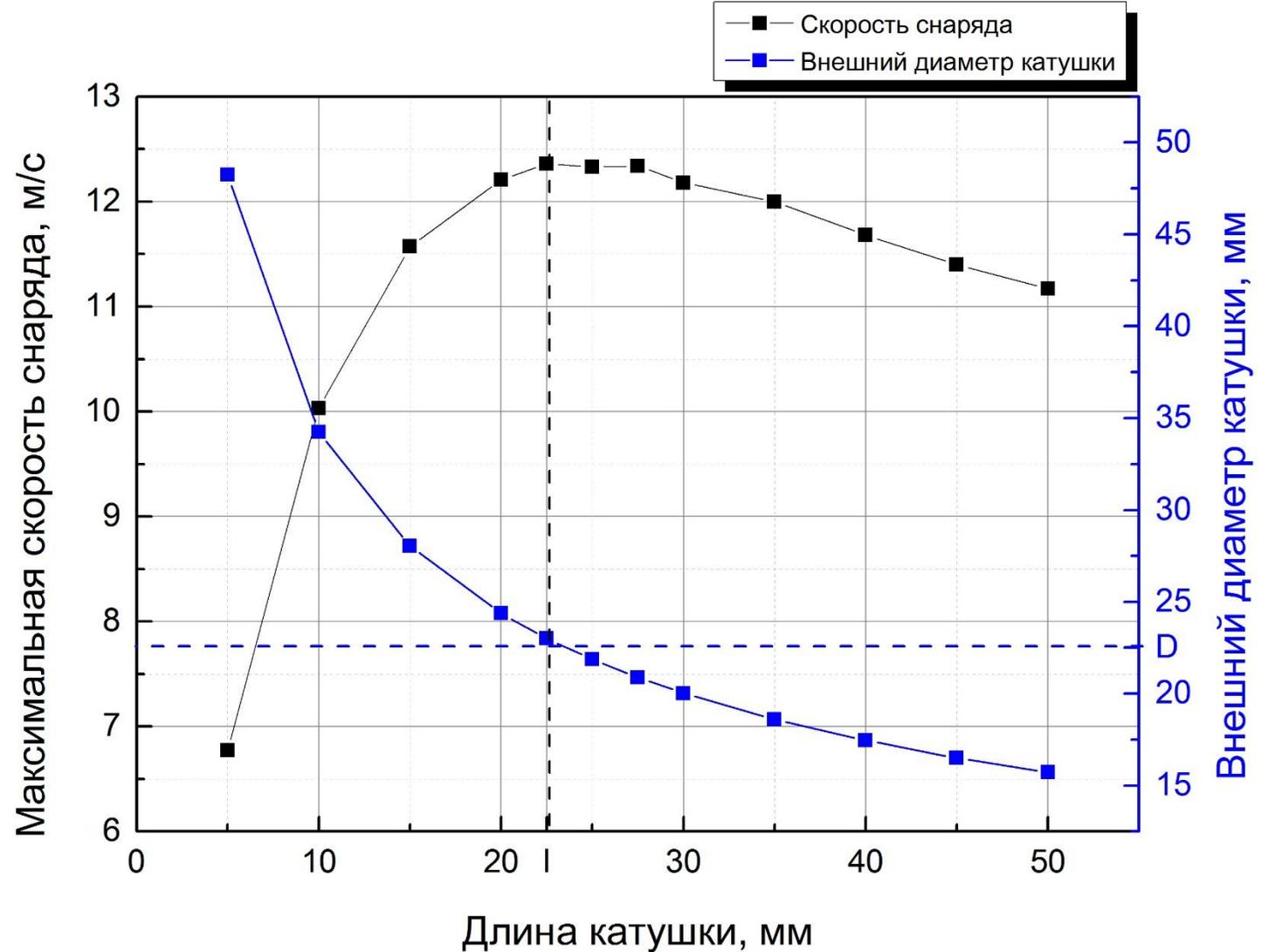


- ✓ Пример визуализации движения снаряда и расчёта магнитного поля в созданном скрипте.
- ✓ Скрипт позволяет рассчитать КПД и максимальную скорость снаряда для одноступенчатой пушки Гаусса с произвольными параметрами.
- ✓ Это позволяет осуществить поиск оптимального соотношения геометрий снаряда и пушки.

Моделирование – оптимальная геометрия

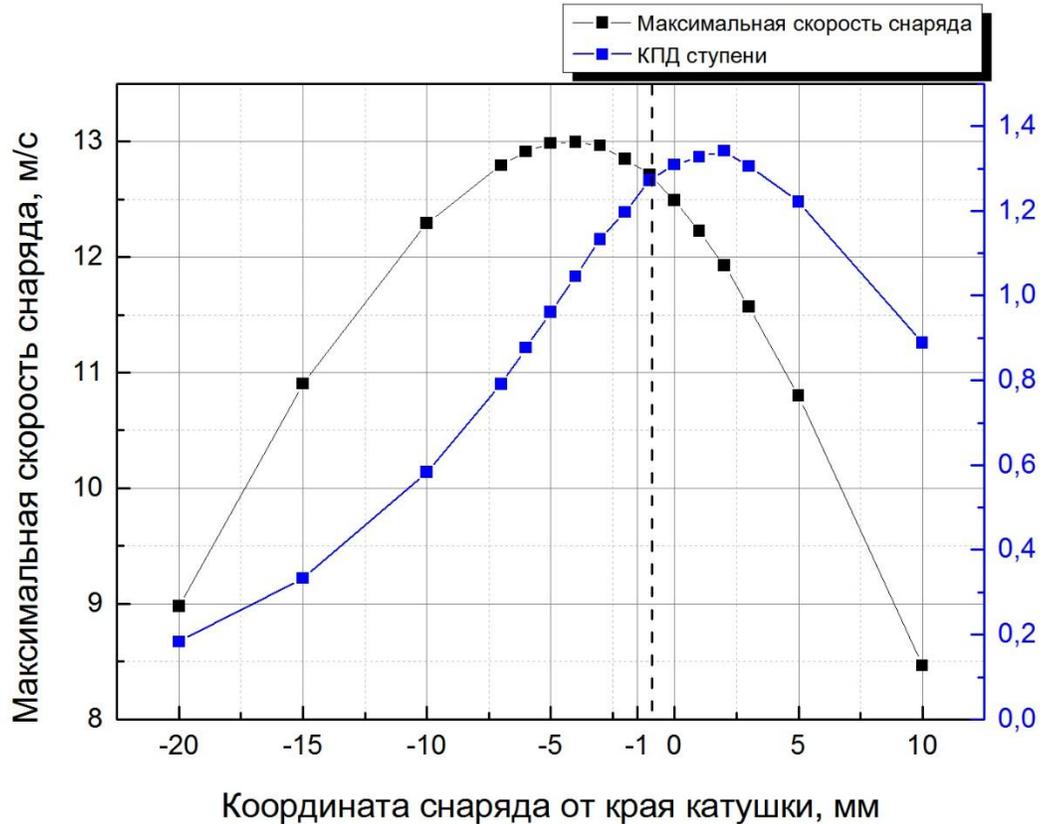
➤ Поиск оптимального соотношения длины и внешнего радиуса намотки катушки индуктивности.

✓ В результате моделирования получено, что провод заданной длины при прочих равных лучше всего намотать так, чтобы длина катушки была равна внешнему диаметру намотки.

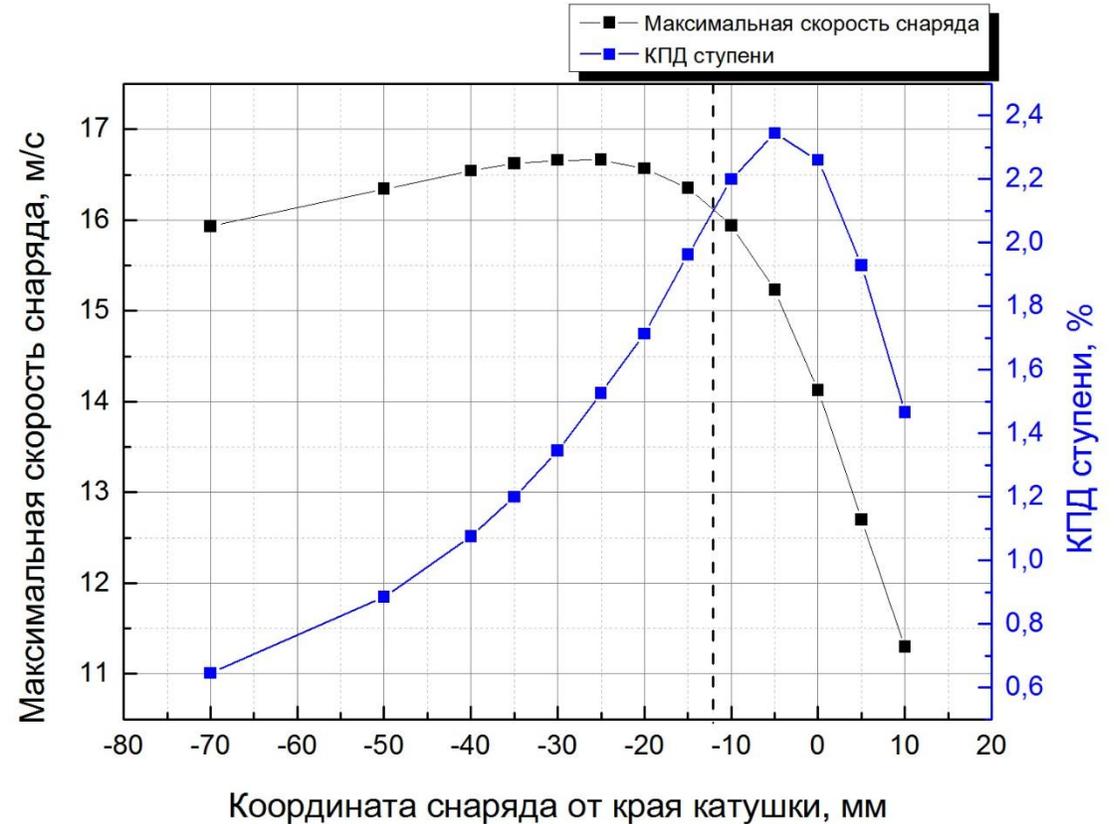


Моделирование – оптимальная геометрия

Выключать ток в катушке оптимально в момент, когда снаряд в середине катушки. Однако не ясно, в какой момент лучше всего включить ток в катушке.



Оптимальный отступ при малой начальной скорости снаряда



Оптимальный отступ при большой начальной скорости снаряда

Электрическая схема управления катушками

Рис. 1. Схема переключения тока в катушке – косой полумост

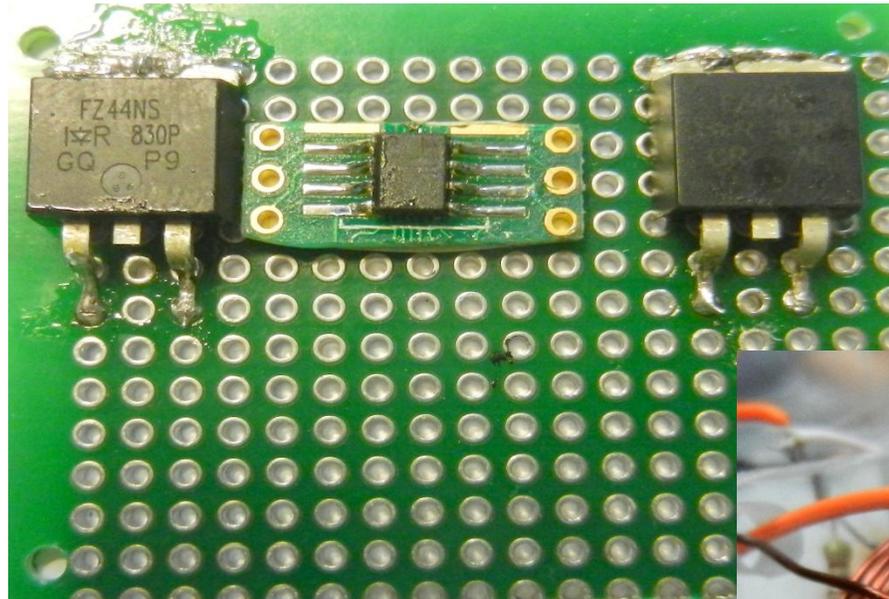
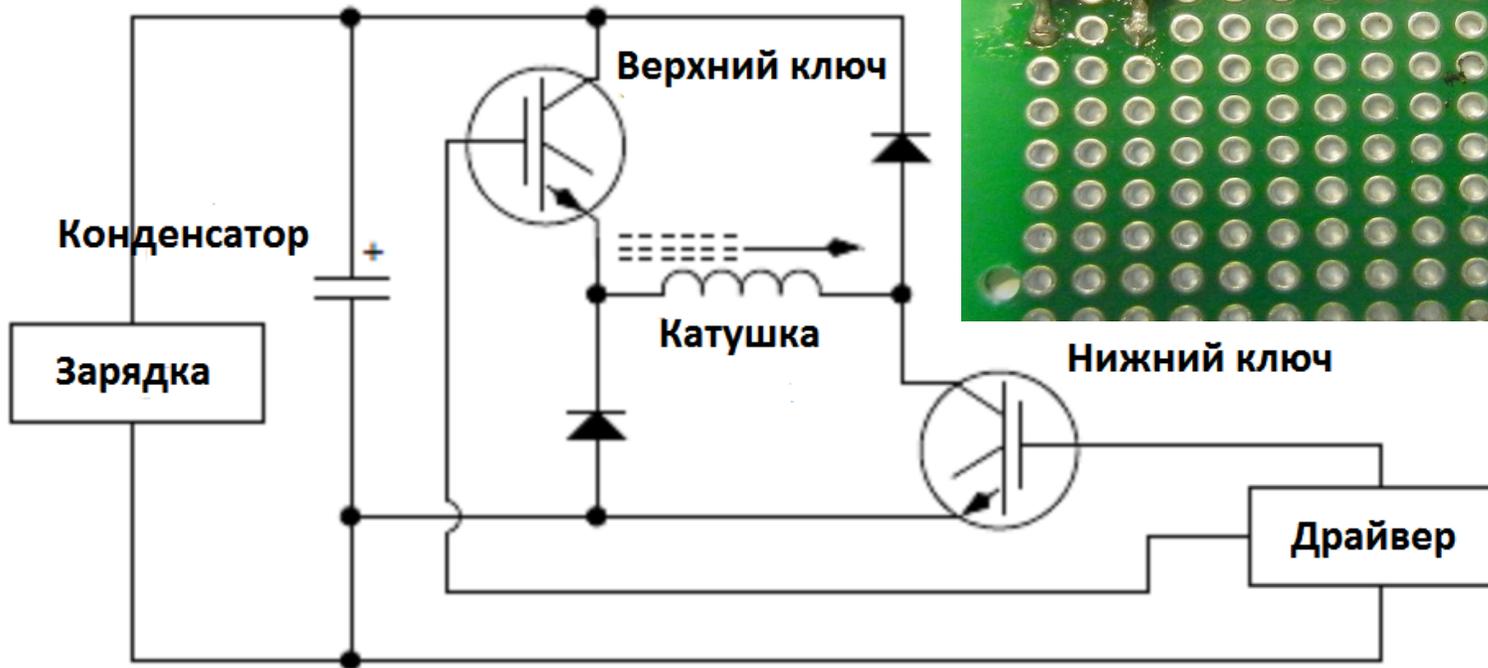
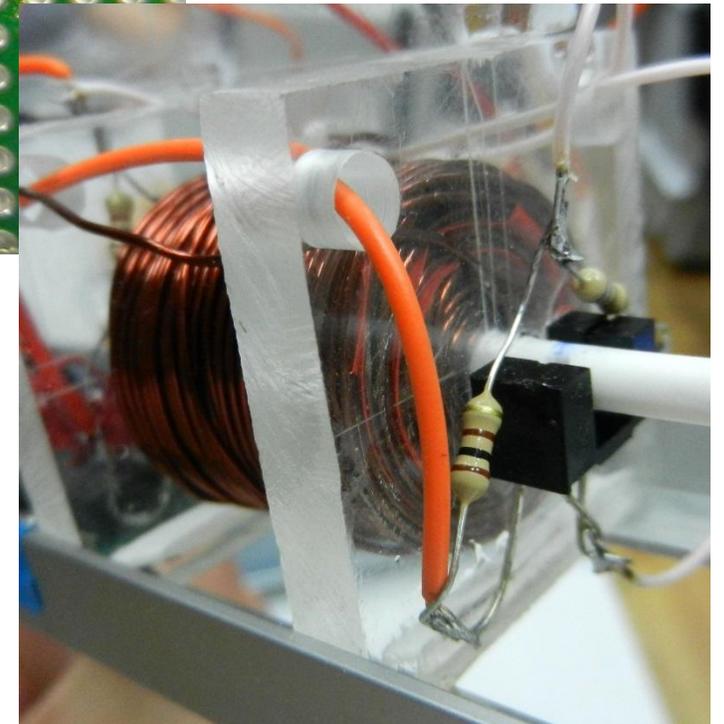


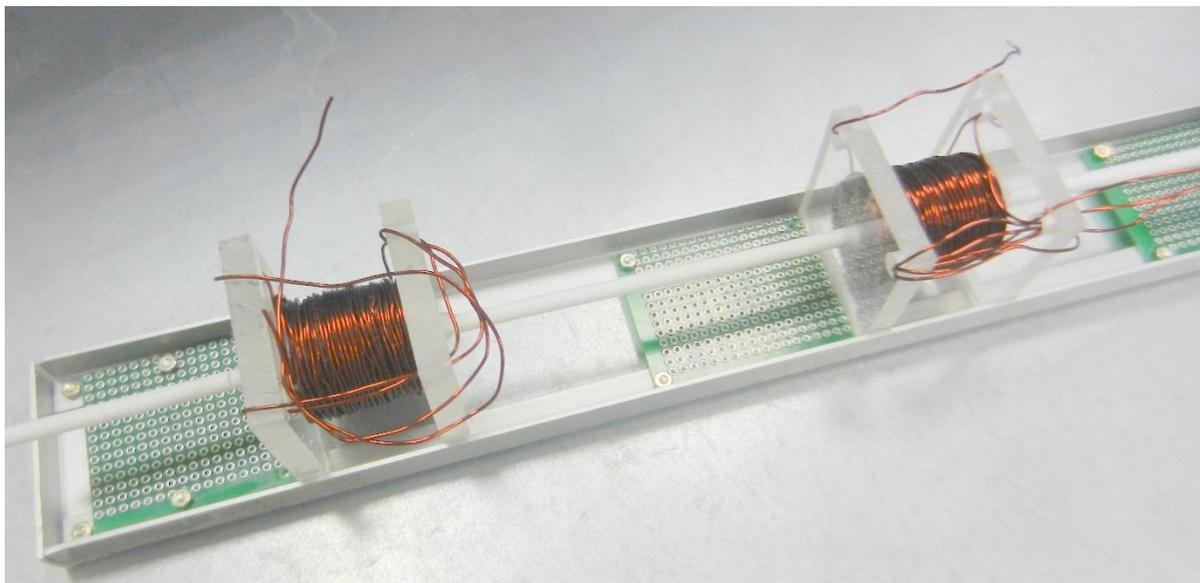
Рис. 2. Схема управления до пайки проводов

Рис. 3. Оптодатчик



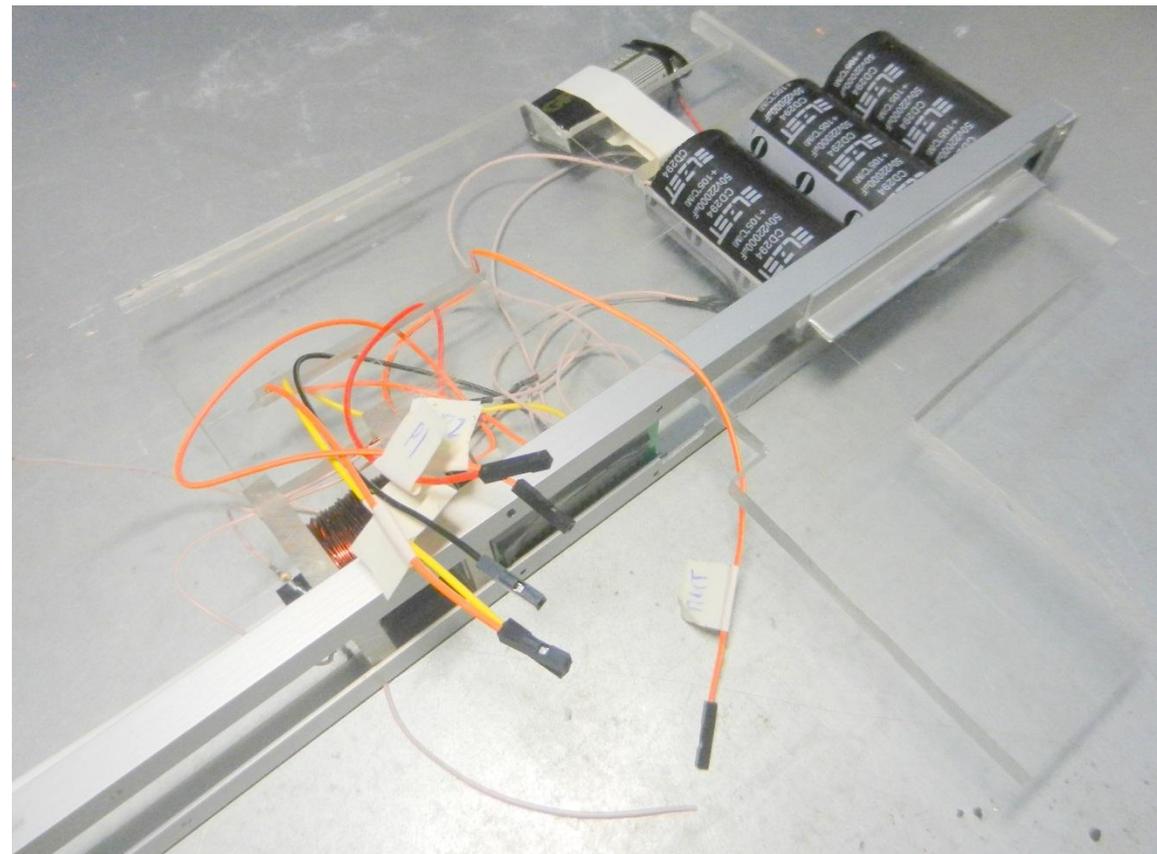
✓ Благодаря эффективной электрической схеме, после выстрела напряжение на конденсаторе падает незначительно, что даст возможность делать до 20 выстрелов в минуту (теор. оценка)

Сборка устройства



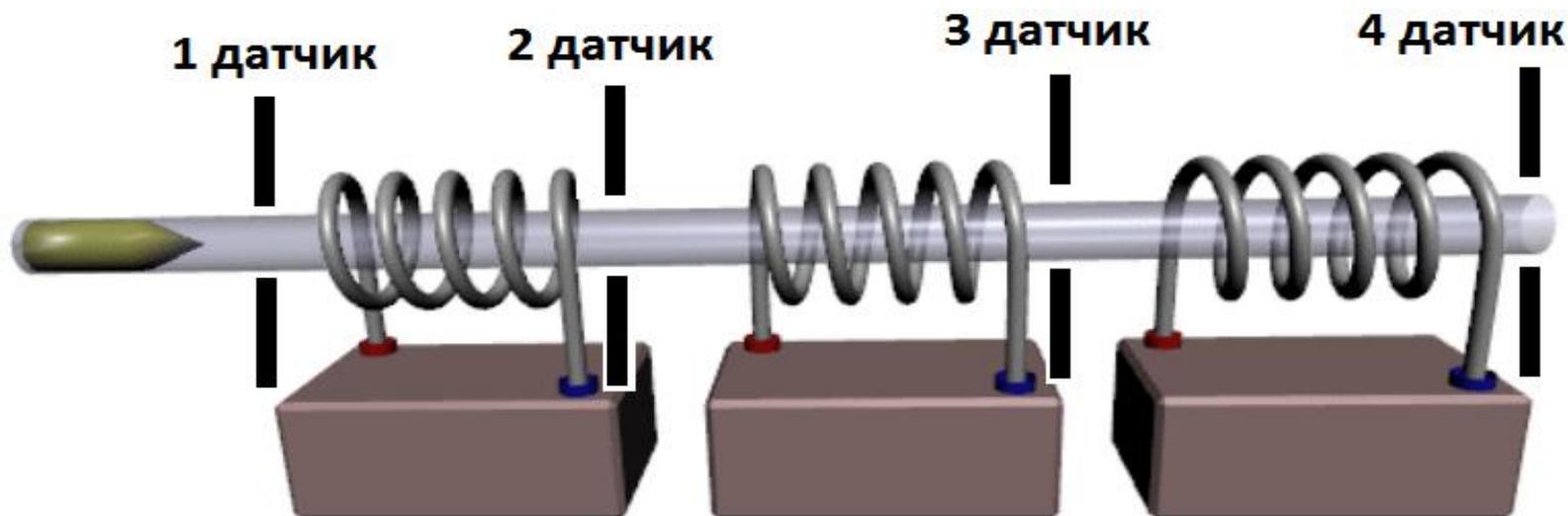
- Катушки индуктивности – медный провод
Диаметр 0.71 мм, длина 18 м
Сопротивление 0.8 Ом, индуктивность
0.6 мГн, коэффициент заполнения для модели
 $K = 0,74$

- 3 конденсатора 50 В, 22000 мкФ
- Корпус – органическое стекло



Управляющая программа

- Пока снаряд не пересек **первый оптодатчик**, ждем в бесконечном цикле
- Снаряд пересек **первый оптодатчик** - открываем верхний ключ
- Снаряд пересек **второй оптодатчик** – закрываем верхний ключ, открываем нижний ключ
- По времени перекрытия **второго оптодатчика** рассчитываем скорость снаряда после **1 ступени**
- Рассчитываем время задержки до включения **2 ступени**



Управление всем последующими ступенями унифицировано, что позволяет создать устройство с большим количеством ступеней и КПД до 30%

Результаты работы

- в пакете моделирования FEMM разработана расчётная модель пушки Гаусса
- на базе микроконтроллера STM32 Discovery создана управляющая ступенями программа
- создано работающее одноступенчатое устройство с КПД около 1.5% и максимальной скоростью снаряда до 10 м/с

В целом, на данный момент все наиболее существенные моменты продуманы
Проектируемое КПД 3-х ступенчатого устройства – 6-7%, скорость снаряда до 20 м/с

Возможности по доработке проекта

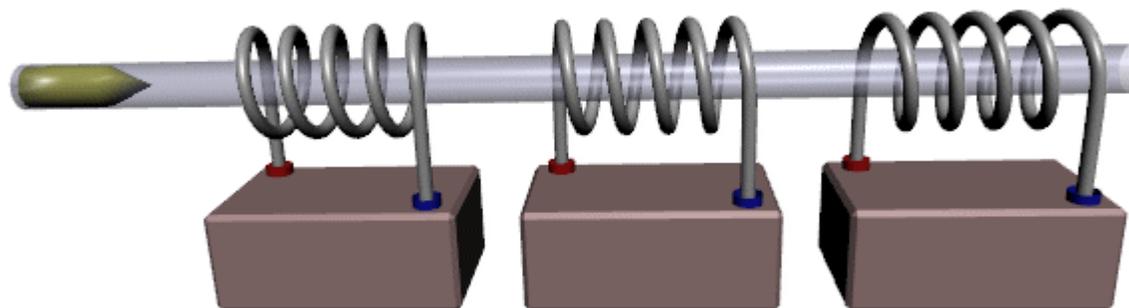
Практическая часть

- система автоматической подачи снарядов
- лазерный прицел
- светодиодная подсветка
- защитный корпус из органического стекла
- индикатор уровня зарядки конденсаторов
- заряд конденсаторов от аккумулятора

Теоретическая часть

- серии стрельб для подтверждения результатов моделирования
 - А) снаряды разных длин
 - Б) различные моменты вкл/выкл
 - В) различные материалы снарядов
- уточнение модели в FEMM
- проверка аналитических решений уравнений движения снаряда

Спасибо за внимание!



nl.petrov@physics.msu.ru