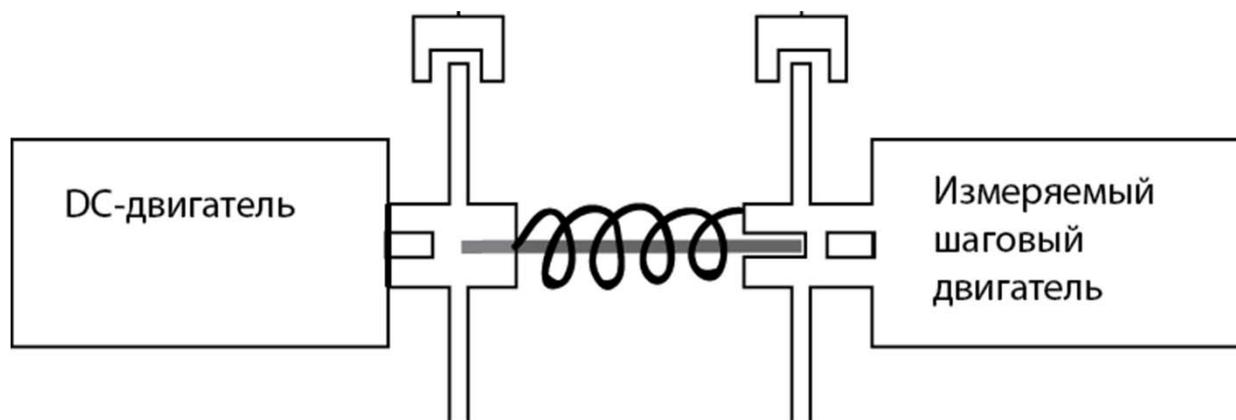


Измерение крутящего момента шагового двигателя в динамике



Шилов Валентин

Научный
руководитель:
Николай Петров

Постановка задачи

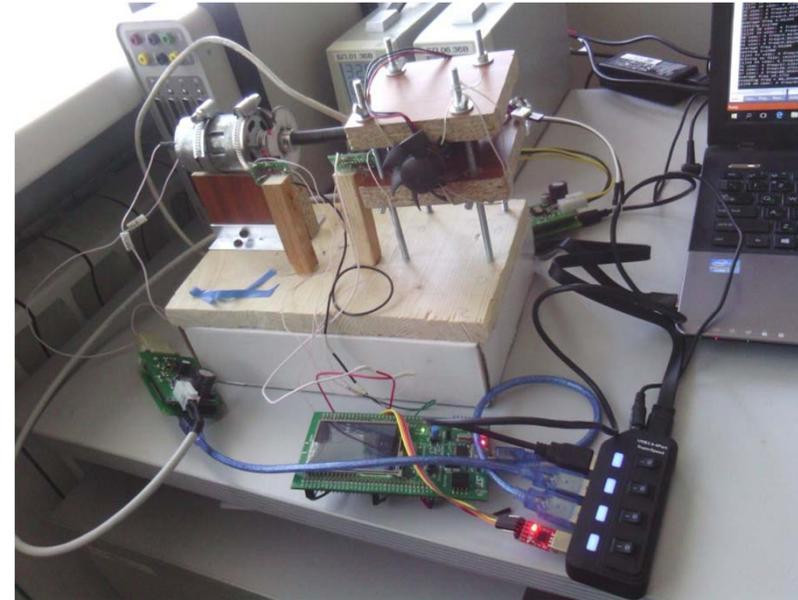
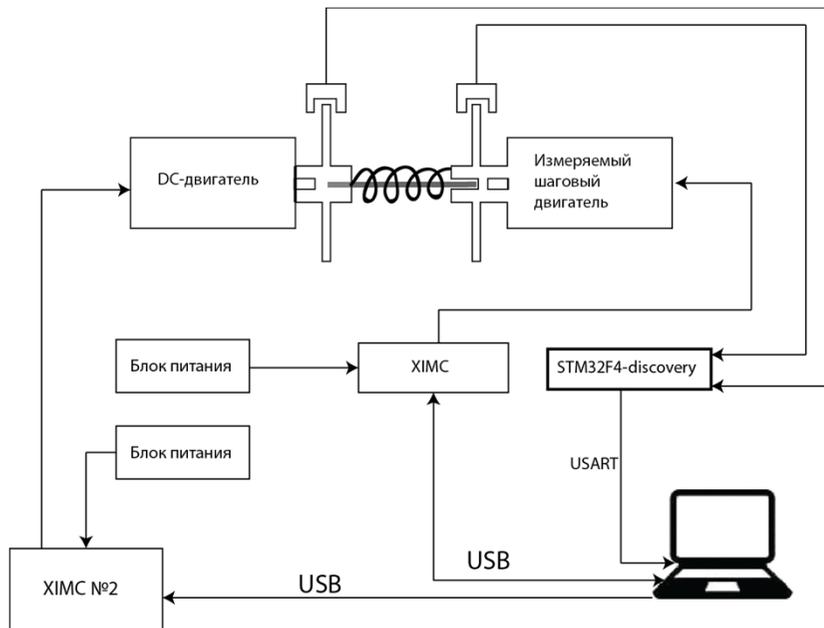
Цель проекта – построить установку для измерения зависимости крутящего момента шагового двигателя от скорости его вращения

- Идея реализации:
 - Угловая деформация пружины пропорциональна крутящему моменту двигателя.
 - Разность фаз вращения двигателей пропорциональна деформации пружины. Её можно найти, измеряя задержку между срабатываниями прерываний.
 - Коэффициент крутильной жёсткости пружины можно предварительно измерить экспериментально.
- Оборудование:
 - SMT32F4-discovery
 - 2 оптрона
 - DC-двигатель
 - Шаговый двигатель
 - Контроллер шагового двигателя XIMC
 - Контроллер DC-двигателя XIMC
 - DC-блок питания (2 шт.)
 - Соединительные муфты, пружина
 - Компьютер
 - USART->USB адаптер

Этапы реализации

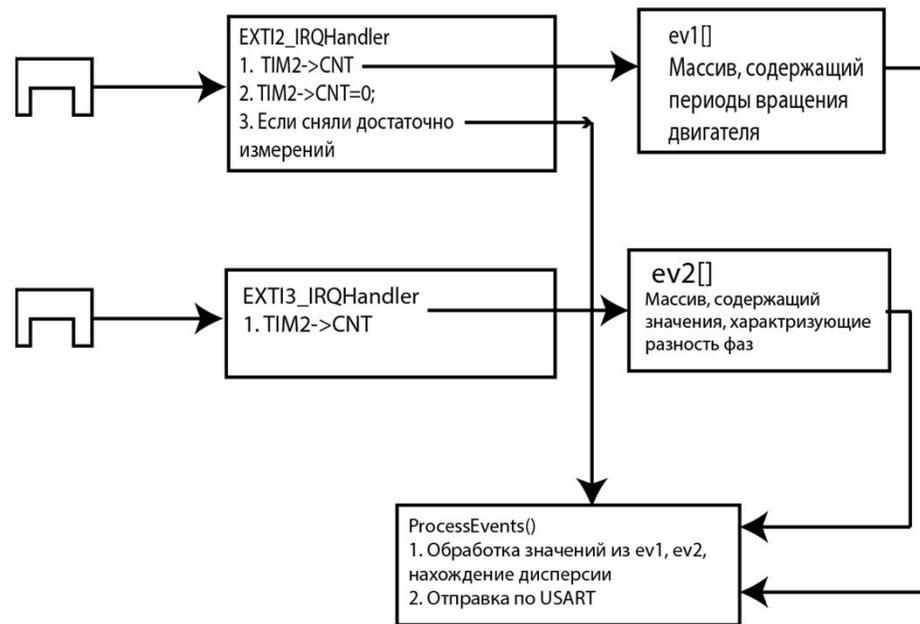
- Сборка установки
 - Создание креплений и механических частей
 - Разработка и создание схемы подключения оптронов
- Написание прошивки для SMT32F4-discovery:
 - Определение скорости вращения двигателей и разности фаз их вращения при помощи оптронов.
 - Первичная обработка результатов: нахождение среднего и погрешности
 - Отправка данных по USART на компьютер
- Написание основной программы под Windows:
 - Получение данных с SMT32F4-discovery по USART, вычисление по ним основных параметров.
 - Управление шаговым двигателем при помощи передачи команд XIMC. Получение с XIMC скорости вращения шагового двигателя
 - Управление DC-двигателем для изменения нагрузки
 - Детектирование «срыва» шагового двигателя, обработка результатов
 - Создание графического интерфейса

Экспериментальная установка



Основная программа выполняется на ноутбуке под Windows и получает данные с STM32f4-discovery, управляет контроллером шагового двигателя XIMC и контроллером DC-двигателя (тоже XIMC)
На STM32f4-discovery производится первичная обработка данных

Программа под STM32



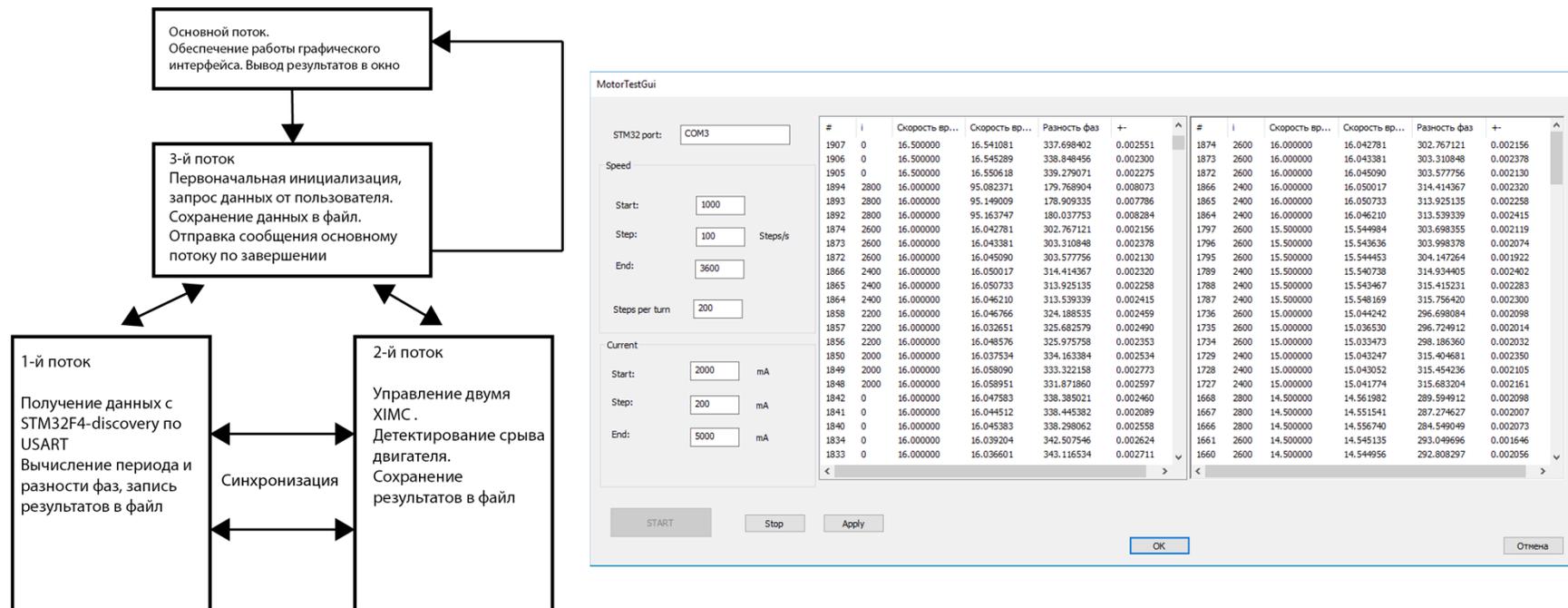
- Измерение:

Таймер TIM2 выставлен на частоту 180МГц и используется для измерения периода вращения двигателей (промежуток времени между срабатываниями прерывания 2) и промежутка времени между срабатываниями прерываний 2 и 3. На линии прерываний 2 и 3 подключены оптроны. В функции ProcessEvents производится вычисление средних значений

- Пересылка данных по USART:

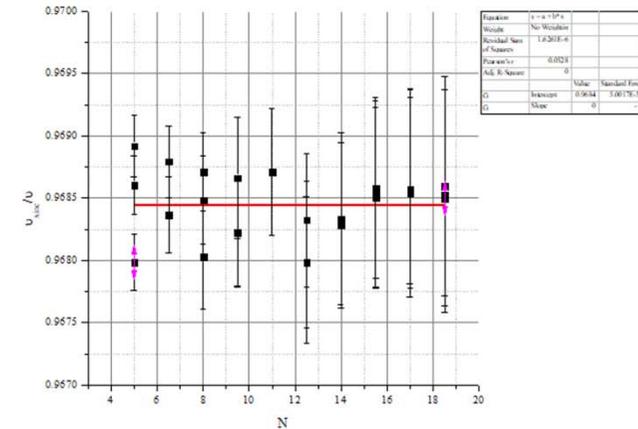
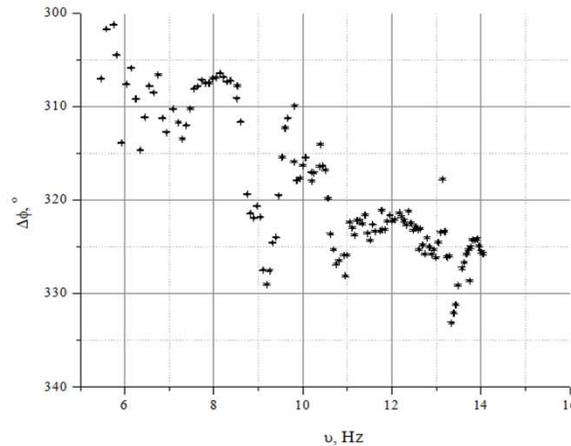
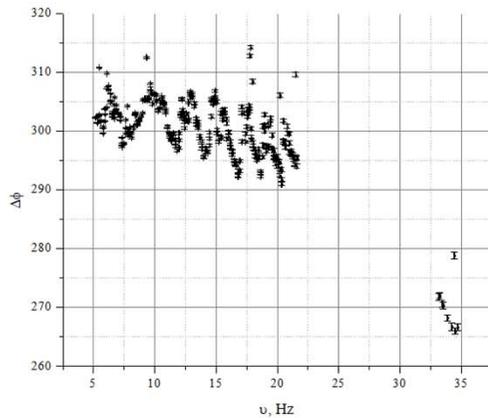
Для передачи значений на компьютер был разработан простой протокол, обеспечивающий их пересылку, а также передачу текстовых сообщений (для логирования ошибок).

Основная программа под Windows



- Необходимо найти крутящий момент в момент времени прямо перед срывом двигателя. Для детектирования срыва сравниваются показания частоты вращения с XIMC с измеренными STM32. Если их разница оказывается слишком большой, то шаговый двигатель сорвался. Найденная перед этим разность фаз вращения двигателей пропорциональна максимальному крутящему моменту.

Предварительный эксперимент

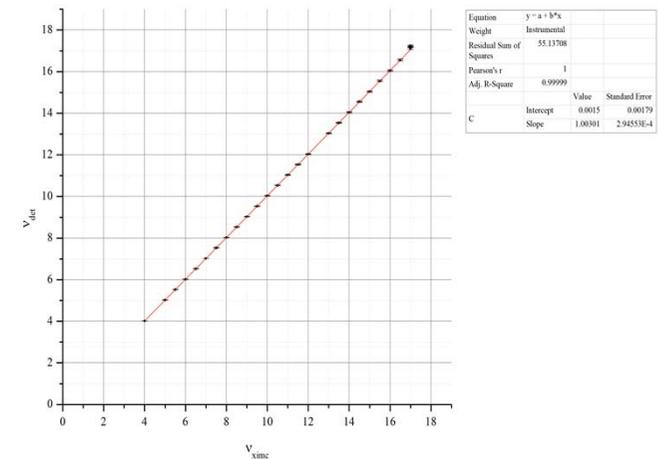
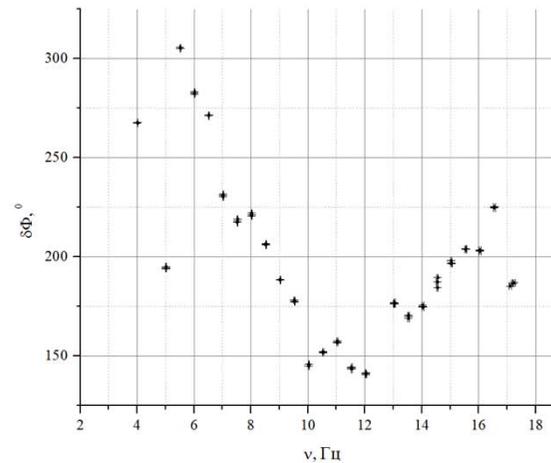
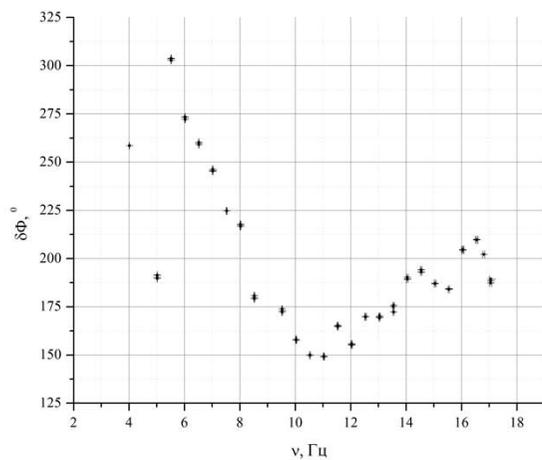


На первом графике виден срыв при частоте больше 22Гц, а также «осцилляции» крутящего момента двигателя, связанные, скорее всего, с изменением крутящего момента тормозящего DC-двигателя.

Оценка точности измерения периода. На третьем графике по оси y отложено отношение значения частоты по данным от XIMC к значению частоты, полученному с STM32F4-discovery. По графику $\nu_{ximc} / \nu = 0.87739 \pm 0.00008$

Основной эксперимент

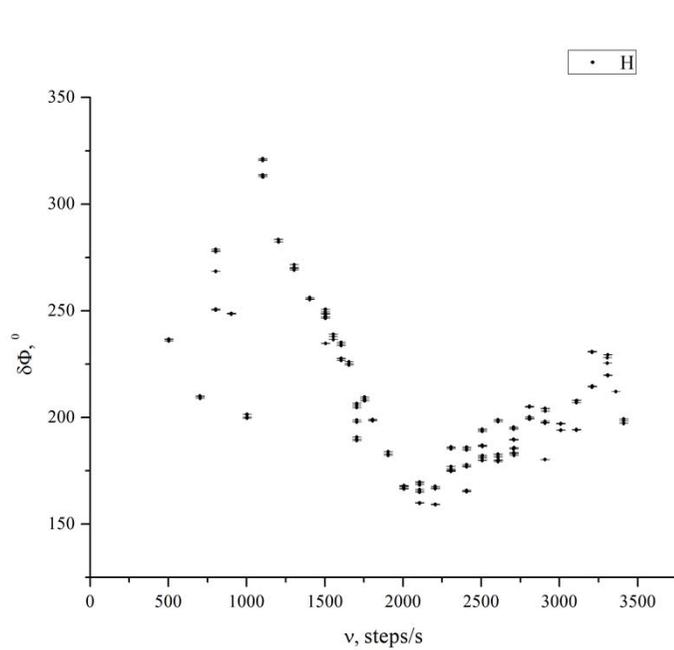
Задачей основного эксперимента является поиск крутящего момента двигателя в момент перед срывом



Графики зависимости разности фаз вращения двигателей перед срывом от скорости их вращения

График зависимости частоты вращения двигателя по показаниям STM32 от частоты вращения двигателя по показаниям ХИМС.

Результаты



Графики зависимости разности фаз вращения двигателей перед срывом от скорости их вращения. Нанесены точки с разных экспериментов

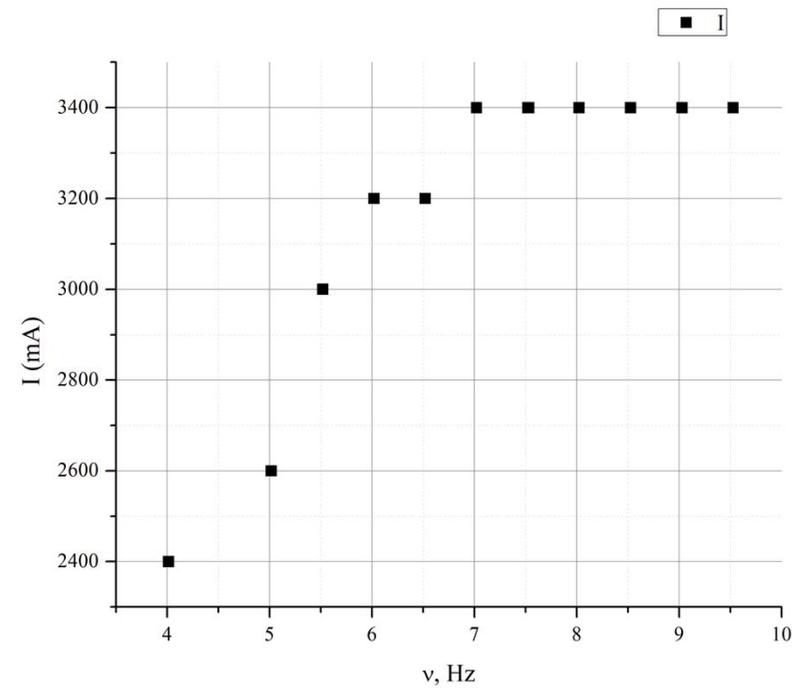
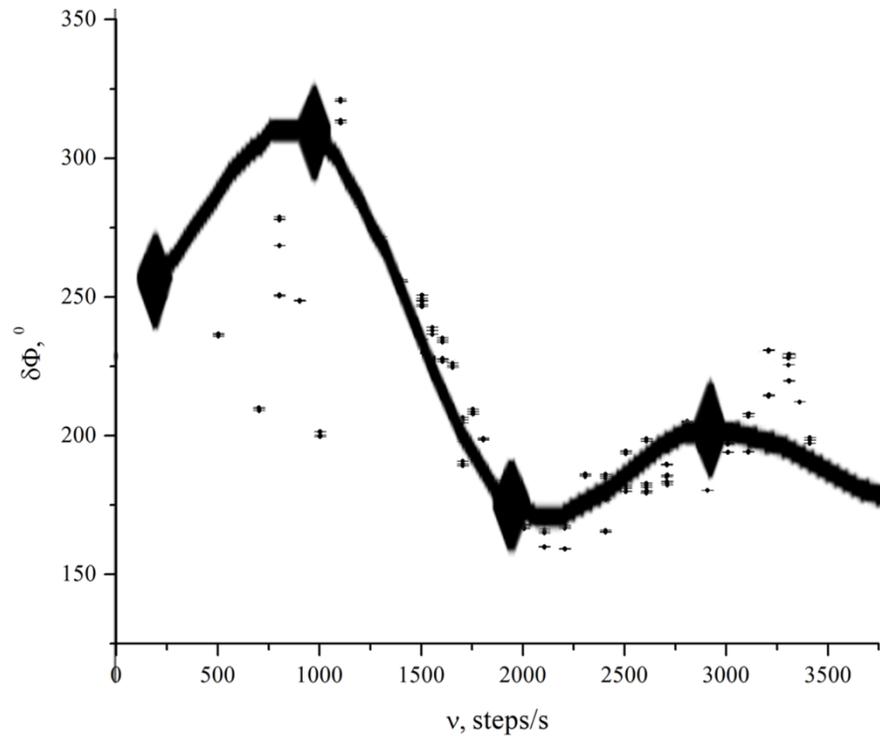
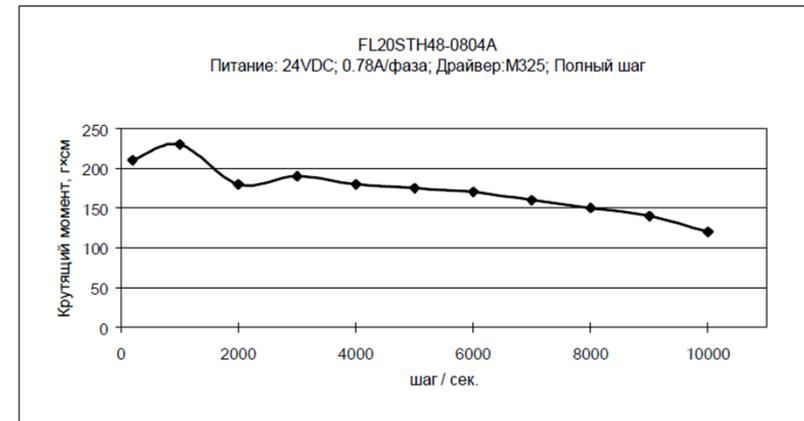


График зависимости тока через DC двигатель в момент перед срывом от скорости вращения

Результаты



Графики зависимости разности фаз вращения двигателей перед срывом от скорости их вращения с наложенным графиком от производителя двигателя



Графики зависимости разности фаз вращения двигателей перед срывом от скорости их вращения с сайта производителя двигателя

Результаты

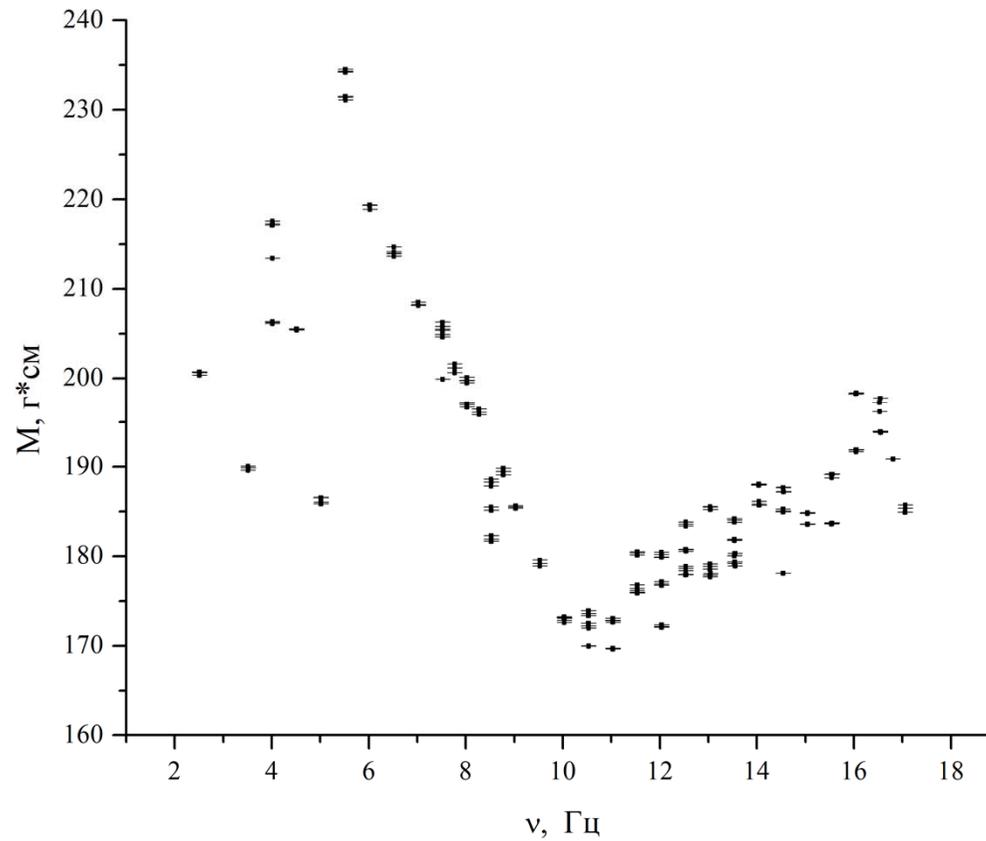
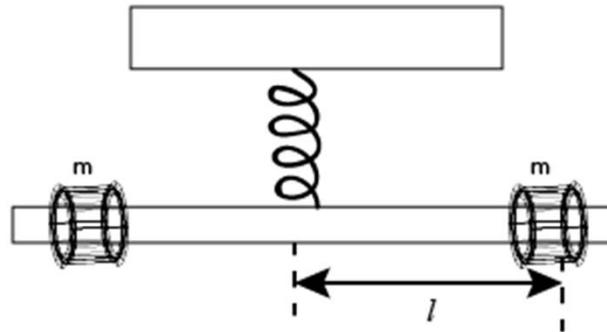


График зависимости максимального крутящего момента шагового двигателя от скорости вращения.

Процедура калибровки



$$M = -f \cdot \varphi$$

$$J \frac{d^2 \varphi}{dt^2} = -f \varphi$$

$$J = J_0 + 2ml^2$$

$$T^2 = \frac{4\pi^2}{f} (J_0 + 2ml^2)$$

Проблемы

- Возможно измерение деформаций пружины меньше 360°
- Момент перехода разности фаз через 0° надо учитывать вручную
- Невозможно измерять параметры двигателя при скоростях вращения < 0.042 Гц из-за переполнения регистра таймера
- Сразу после срыва двигателя в течении короткого времени вал мотора вращается с очень большой скоростью, что создаёт сильные вибрации
- Нет обработки потери соединения с контроллером из-за плохого контакта в USB кабеле

Результаты работы

- Создана установка для измерения зависимости максимального крутящего момента шагового двигателя от скорости его вращения
- Установка позволяет с хорошей точностью измерять максимальный крутящий момент шагового двигателя при достаточно широком диапазоне скоростей
- Написана программа для управления этой установкой

Перспективы

- Установку уже возможно использовать по назначению
- Добавить обработку различных исключительных ситуаций (застревание двигателя, ...)
- Сделать механическую часть более надёжной
- Улучшить точность измерения разности фаз использованием других элементов вместо оптронов
- Добавить полностью автоматическую обработку результатов
- Сделать возможность снимать разное число точек при разных скоростях

Спасибо за внимание!

