«Разработка универсального микропроцессорного отладочного устройства для серии лабораторных макетов, используемых в курсе основы теории управления»

Никитин А. В.

Шанурин Р. С.

МГТУ им. Н. Э. Баумана

Введение.

В учебном процессе для демонстрации физических явлений и процессов, а также для натурного моделирования математических моделей некоторых приборов используются лабораторные стенды. Как правило это покупное «готовое решение», состав которого можно описать:

1) Объектом, для изучения которого предназначена установка;

2) Блоком датчиков и интерфейсов для обмена данными с персональным компьютером (ПК)

3) Программным обеспечением (ПО) для обработки полученных данных на основном вычислителе (ПК) и формирования управляющих команд.

Из существенных недостатков «готовых решений» можно выделить:

-Ограниченность функционала лабораторного стенда. Его функционал, как правило, узко профилирован на постановку конкретного эксперимента. Обычно ограничителем выступает ПО.

-Негарантированная точность получаемой информации. После проведения калибровочных процедур по эксплуатационной документации (ЭД) от производителя, можно наверняка утверждать только то, что получаемые данные пропорциональны истинным величинам, но невозможно утверждать, что этот коэффициент пропорциональности равен единице, т.к. только производителю известны допущения, с которыми разрабатывался лабораторный стенд.

-Запутанная схемотехника. Блок датчиков и интерфейсов намеренно усложняется, в основном, из комерческих соображений. Часто дорожки закрываются наклейками, в монтаже используются приборы без обозначения, а элементы навесного монтажа закрываются термоусадочными трубками. Все это в значительной мере усложняет ремонт лабораторного оборудования и модернизацию его для выполнения новых задач.

Т. о. актуальной становится задача разработки универсального отладочного устройства, позволяющего:

1) С известной ошибкой определить ключевые характеристики изучаемого на лабораторном стенде объекта.

2) Без существенной схемотехнической модернизации осуществлять большее количество подходов к постановке эксперемента, чем это описано в ЭД, и чем позволяет укомплектованное ПО.

Материалы и методы решения задачи и принятые допущения.

Задаются несколько основных критериев при разработке тестирующего устройства и ПО к нему:

1. Принципиальная доступность и низкая стоимость конечного устройства.
2. Универсальность интерфейса связи.
3. Кроссплатформенное, интуитивно понятное и гибкое ПО.
4. Универсальность в подходах к снятию показаний. ПО для тестирующего устройства должно предоставлять достаточно общие данные, чтобы, прибегнув к разработанной методике, была принципиальная возможность анализировать широкий спектр устройств.
5. Возможность подключения дополнительной периферии. Для более детального анализа конкретных лабораторных установок, ПО должно иметь возможность обрабатывать данные от дополнительно подключенных устройств.
6. Электрическая защищенность. Устройство должно быть устойчиво к возможным скачкам напряжения на принимающих каналах, для защиты периферийных устройств и микроконтроллера (МК). Одновременно должна быть установлена защита лабораторной установки от возможного неправильного использования тестирующего устройства, для недопущения выхода история самой лабораторной установки.

Волевым решением принято, что тестирующее устройство будет построено на базе восьмибитного микроконтроллера RISC-архитектуры фирмы Atmel ATMega328 в составе отладочной платы «Искра» отечественного производства, идентичной Arduino Leonardo. Технические характеристики МК, использующегося в разработанном устройстве, приведены в таблице 1.

Таблица 1. Технические характеристики МК ATMega328.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Характеристика | Номинал | Примечание |
| Тактовая частота | 16 МГц | Кварцевый резонатор |
| Напряжение питания | 1,8-5,5 В |  |
| Количество каналов АЦП | 6 | Используется 4 канала |
| Разрешение АЦП | 10 бит | 8 бит используется |
| Частота дискретизации АЦП | 10 КГц | Доступно до 200 КГц |
| Частота ШИМ | 490 Гц | Доступно до 62,5 КГц |
| Опорное напряжениие | 5 В | Напряжение питания МК |
| Интерфейсы связи | USART, SPI, I2C | Используется преобразователь USART-USB |
| Количество программируемых линий ввода-вывода | 23 | 1 используется для ШИМ или 8 для ЦАП,  4 канала АЦП,  1 канал внешнего прерывания |

Диапазон напряжений питаний позволяет подключать плату через порт USB к ПК. Так же напряжение питание порта USB имеет высокую стабильность и известный номинал, что позволяет его же использовать и в качестве опорного напряжения АЦП. В соответствии с техническим описание МК, 2 младших разряда значения АЦП сильно подвержены нелинейным искажениям, в связи с чем производится «сжатие» (ADC/4) с 10 бит до 8 бит. Одновременно это позволяет отправлять значения, измеренные АЦП, в одной посылке через интерфейс USART. Для сопряжения интерфейса МК (USART) и ПК (USB) на отладочной плате применен МК-преобразователь ATMega8u2. Наличие каналов внешних прерываний позволяют использовать их для подсчета внешних импульсов, что, в свою очередь, позволяет реализовать обработчик таких устройств, как инкрементальный энкодер.

Характеристики МК позволяют использовать его для реализации разрабатываемого тестирующего устройства.

При разработке устройства приняты следующие допущения:

-Напряжение питания USB принимается за 5 В без учета возможных отклонений напряжения от номинала в зависимости от производителя материнской платы ПК.

-Считается, что инструментальная погрешность измерения АЦП в пределах разрешенной частоты дискретизации (200 МГц) нулевая в связи с минимизацией погрешности от двух младших разрядов АЦП при сжатии значений АЦП с 10 до 8 бит.

-Задержка на передачу данных в процессе работы МК принебрежимо мала. В связи с «внутриплатным» (малыми) расстоянием между устройствами USART (Mega328 и Mega8u2), скорость обмена данными установлена в 115200 бод/с. Период обращения ПО ПК к МК составляет от 35 до 45 мс.   
Т.о. – время передачи 6 байт данных по последовательному интерфейсу, что занимает от времени цикла программы.

-Тактовая частота в 16 МГц достаточна для обработки по вектору прерывания внешних импульсов без их пропусков, без анализа и учета качества работы компилятора с языка C++ ( AVR GCC), а также пропусков импульсов во время отправки посылок по последовательному порту.

Результаты.

Отработка тестирующего устройства производится на лабораторном стенде Quanser NI-ELVIS Trainer Series, используемом в курсе основы теории управления. В рамках лабораторной работы предлагается путём снятия электрических характеристик коллекторного двигателя постоянного тока (ДПТ) с инерционной нагрузкой восстановить его передаточную функцию в виде:

Результаты измерений по методическому указанию средствами лабораторного стенда и с помощью укомплектованного ПО представлено в таблице 2.

Таблица 2. Результаты измерения на установке Quanser

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Сопротивление  Обмотки ДПТ | Константа  Противо-ЭДС | Приведенный момент  инерции нагрузки | k |  |
| 9 Ом | 0,078 В с/рад |  | 12,82 рад/В с | 0,0125 с |

Задача измерения параметров, приведенных в таблице 2, сводится к измерению мгновенных значений тока в цепи ДПТ, напряжения на зажимах ДПТ и скорости вращения вала ДПТ.

Измерение скорости вращения вала производится обработкой данных, поступающих от оптического энкодера с последующим вычислением первой производной по времени с учетом масштабного коэфициента. Масштабным коэффициентов выступает число тактов энкодера на 1 оборот.

Схема измерения тока в обмотке ДПТ и напряжения на зажимах ДПТ приведена на рис. 1

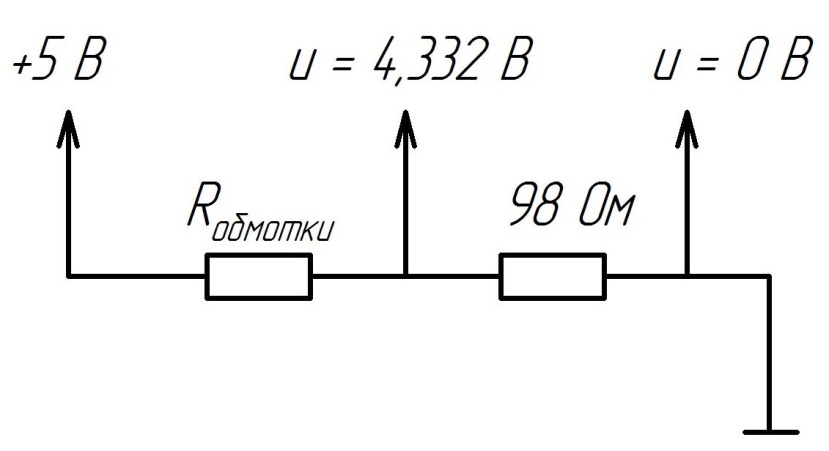


Рис. 1. Измерение тока и напряжения обмотки ДПТ при .

Измеренное отладочным устройством сопротивление обмотки не совпадает со значением сопротивления обмотки ДПТ, измеренным на лабораторном стенде (9 Ом). Этот факт заставляет задуматься о правдивости всех выдаваемых результатах.

Наиболее наглядный и легко контролируемый способ восстановления ПФ – восстановление по амплитудно-частотным характеристикам (АЧХ) ПФ. Методика восстановления ПФ графо-аналитическим способом представлена на рис. 2.

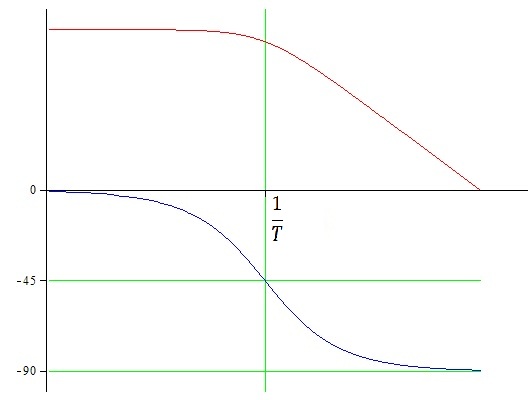


Рис. 2. АЧХ апериодического звена (модель ДПТ).

Из АЧХ следует, что на частоте (где - постоянная времени) фазовый сдвиг задающего напряжения и отклика скорости равен -45 градусов. Т. о. поиск постоянной времени сводится к поиску частоты, на которой отклик имеет сдвиг -45 градусов.

Коэффициент же усиления k в ПФ ДПТ соответсвует отношениею угловой скорости ДПТ к напряжению на зажимах (без токоизмерительного резистора) при постоянном напряжении питания. На рис. 3 показаны графики напряжения питяния ДПТ и скорости, выполненные во вновь разработанном ПО.

.

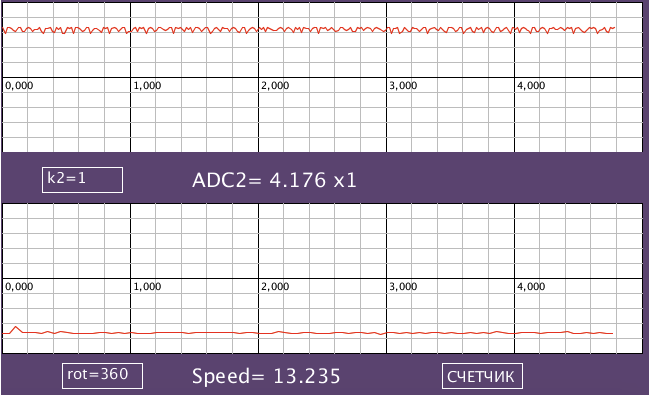


Рис. 3. Напряжение питания ДПТ и скорость вращения вала (об/с)

На рис. 4 показан график напряжения питания ДПТ линейно-частотной модуляции (ЛЧМ), используемый для определения частоты, на которой фаза графика скорости сместится на 45 градусов.

Примечание: масштабный коэффициент энкодера намеренно уменьшен для увеличения размаха графика скорости, т. к. качественно картина не меняется.

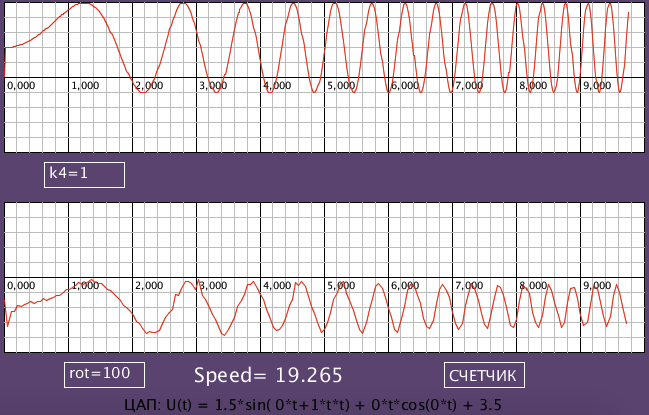


Рис. 4. ЛЧМ напряжение питания и скорость вращения вала

Последовательное построение диапазонов частот позволило определить, что частота, обеспечивающая смещение фазы 45 градусов, ~16 рад/с (рис. 5).

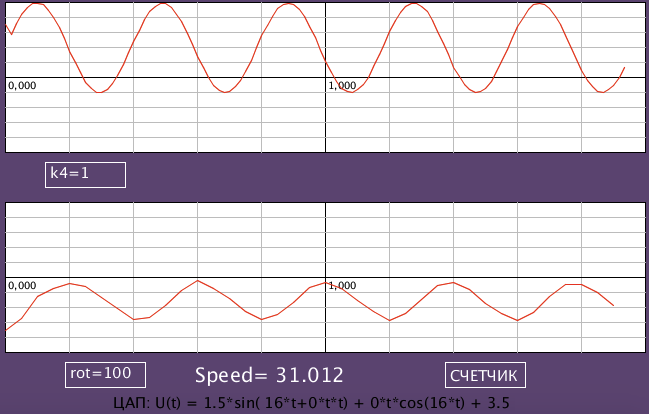


Рис. 5. Напряжение питания ДПТ гармоникой 16 рад/с и скорость вращения вала

Постоянная времени, полученная графо-аналитическим способом имеет величину .

Обработка результатов.

Стоит отметить, что несмотря на очень значительное отличие значений, измеренных лабораторным стендом и отладочным устройством, предпочтение отдается результатам отладочного устройства.

Измерения отладочным устройством поддаются простому визуальному контролю. Например легко проконтролировать небольшие скорости вращения вала ДПТ и даже фазы на малых частотах. Отладочное устройство успешно проходит такой объективный контроль.

Заключение.

При поверхностном исследовании лабораторного стенда средствами отладочного устройства удается установить качественный контроль параметров. При выявлении несоответсвий, требуется разработка методики исследования, однако при последовательном приближении, правильно составленная методика может быть реализована на разработанном отладочном устройстве. Под правильно составленной методикой понимается методика, использующая возможности отладочного устройства в пределах описанных возможностей и допущений.