

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»

Политехнический институт

Факультет механико-технологический
Базовая кафедра техники и технологии

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой, к.т.н.,
доцент
_____ А.В. Прохоров
_____ 2017 г.

Модернизация лабораторного стенда для регулирования характеристик объекта

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУрГУ– 270304.2017.282. ПЗ ВКР

Руководитель работы,
старший преподаватель
_____ С.Н. Кононов
_____ 2017 г.

Автор работы -
студент группы ДО-569
_____ Е.А. Юдин
_____ 2017 г.

Нормоконтролер, старший
преподаватель
_____ Д.П. Химичева
_____ 2017 г.

Озерск 2017

АННОТАЦИЯ

Юдин, Е.А. Модернизация лабораторного стенда для регулирования характеристик объекта. – Озерск: ЮУрГУ, ДО-569; 2017. – 52 с. 9 илл., библиогр. список – 20 наим., презентация на 9 слайдах.

В работе представлено рассмотрение проводимых на стендах лабораторных работ и предложена их модернизация с целью использования в других дисциплинах

					270304.2017.282 ПЗ			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		Юдин Е.А.			Модернизация лабораторного стенда для регулирования характеристик объекта	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>		Кононов С.Н.				Д	2	52
<i>Реценз.</i>						ЮУрГУ базовая кафедра техники и технологии		
<i>Н. Контр.</i>		Химичева Д.П.						
<i>Утверд.</i>		Проходов А.В.						

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1 АНАЛИТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ	6
1.1 Анализ существующих лабораторных работ	6
1.2 Обзор способов измерения угла поворота и скорости вращения вала.....	10
1.3 Анализ возможных способов управления ДПТ	17
2 СРАВНЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ПЕРЕДОВЫХ ЗАРУБЕЖНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И РЕШЕНИЙ.....	22
3 ПРОЕКТНАЯ ЧАСТЬ.....	27
3.1 Выбор и обоснование способа измерения угла и скорости поворота вала....	27
3.2 Выбор энкодера	28
3.3 Расчёт чувствительности и точности измерения угла и скорости поворота вала	32
3.4 Реализация различных законов управления на микроконтроллере.....	32
3.5 Описание прототипа модуля для лабораторного стенда	42
3.6 Описание лабораторной работы	43
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	49
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	51

					270304.2017.282 ПЗ	Лис
						3
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дата		

ВВЕДЕНИЕ

Цифровая техника давно перешла из раздела высокотехнологичных новинок и редкостей в раздел повседневно и повсюду применяемых устройств. Микроминиатюризация позволила встраивать электронную начинку в любой практически объект. На сегодняшний день микрокомпьютер, встроенный в бытовое устройство, по вычислительной мощности на порядки превосходит первые ЭВМ. Поскольку спрос на подобную технику неуклонно растёт, то задача проектирования встраиваемой электроники является актуальной и на сегодняшний день и не потеряет актуальность в будущем.

При подготовке технических специалистов в ВУЗе необходимо учитывать общие тенденции развития электроники, по возможности знакомя студентов с основами проектирования встраиваемой техники. Обучение предполагает, естественно, теоретическую подготовку, однако, крайне желательно при этом не забывать о подготовке практической. Лабораторные работы принято было проводить с использованием реальных микроконтроллеров на специализированных стендах. Однако, сегодня есть большое число проектов, рассчитанных на реализацию даже неспециалистом. Такие проекты отличаются простотой реализации, небольшим количеством элементов и их невысокой стоимостью, что наглядно демонстрирует и возможность, и необходимость проводить обучение студентов с привлечением современной элементной базы контроллеров и периферии.

Такие общедоступные проекты, как, например, ардуино, частенько включают в свой состав и недорогие датчики, и исполнительные элементы. Такая связка: объект управления – чувствительный элемент – микроконтроллер – может быть использована для экспериментов в области систем регулирования и управления.

В озёрском ИРЦ ПП ведётся обучение по направлению «Информатика». В курсах, связанных с изучением микроконтроллеров или ассемблера предусмотрены лабораторные работы на специализированных стендах. Целью

					270304.2017.282 ПЗ	Лис
						4
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дата		

данной работы будет рассмотрение возможности расширения применимости стендов в других дисциплинах.

Для этого необходимо будет решить ряд задач:

- изучить состав стенда и проводимые на нём работы;
- рассмотреть применимость современных датчиков, которые простыми методами могут быть присоединены к объектам управления на стенде;
- рассмотреть вопросы управления ДПТ с микроконтроллера;
- рассмотреть вопросы точности при управлении с микроконтроллера;
- выяснить, какие законы управления могут быть реализованы в контроллере и как;
- выбрать один из законов управления, реализовать его в коде микроконтроллера, создать описание лабораторной работы по этой теме.

					270304.2017.282 ПЗ	Лис
						5
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дата		

1 АНАЛИТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Модернизация лабораторного стенда должна происходить после тщательного анализа исходных данных. Сборники лабораторных работ, проводимых по микропроцессорной технике, нужны для анализа возможностей существующих стендов, выбора части, подлежащей модернизации, а также для выявления требований к оформлению методических пособий по лабораторным работам. Поскольку предварительно был известен исполнительный механизм, интегрированный в стенд, очевидна необходимость обзора способов измерения угла поворота и скорости вращения вала и анализа возможных способов управления двигателями постоянного тока (ДПТ).

1.1 Анализ существующих лабораторных работ

На базовой кафедре техники и технологии проводятся 12 лабораторных работ на микроконтроллере Atmega 8535 на ассемблере и 6 работ на Си.

Работы на Ассемблере:

- Знакомство со средой программирования и отладки микроконтроллеров AVR STUDIO.

- Порты ввода/вывода микроконтроллера Atmega8535.
- Специальный регистр состояния SREG.
- Стек. Реализация программной задержки.
- Таймеры T0 и T2 в режиме подсчета временных интервалов.
- Аналого-цифровой преобразователь микроконтроллера.
- Таймеры T0/T2. Режим широтно-импульсной модуляции.
- 16-разрядный таймер T1. Режим подсчета временных интервалов.
- 16-разрядный таймер T1. Режим широтно-импульсной модуляции.
- Динамическая индикация символов.
- АЦП и динамическая индикация.
- Внешние прерывания.

					270304.2017.282 ПЗ	Лис
						6
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дата		

Работы на Си:

- Знакомство с лабораторным стендом.
- Изучение восьмиразрядных таймеров T0 и T2 микроконтроллера Atmega 8535.
- Управление семисегментным индикатором от микроконтроллера.
- Внешние прерывания микроконтроллера AVR.
- Программирование шестнадцатиразрядного таймера T1 микроконтроллера.
- Использование аналого-цифрового преобразователя.

Так же на стенде есть микроконтроллер от MICROCHIP и на этом модуле проводится 6 лабораторных работ на Си:

Знакомство со средой программирования и отладки MPLAB IDE

- Изучение принципов работы с жидкокристаллическим индикатором и способов его программирования.
- Прерывания микроконтроллера.
- Таймеры/Счётчики.
- Изучение аналого-цифрового преобразователя микроконтроллера PIC.
- Изучение принципов работы и способов микроконтроллерного управления шаговым электроприводом.

Более подробно рассматривается микроконтроллер Atmega 8535. Схематическое изображение стенда с этим контроллером представлено на рисунке 1.

					270304.2017.282 ПЗ	Лис
						7
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дата		

• Номинальная скорость вращения – 2320 об/мин при токе – 0,068 А и нагрузке на валу – 0,42 мН*м.

• Торможение при нагрузке на валу – 2,11 мН*м и токе – 0,27 А.

Так же следует отметить структуру самого методического описания для её соблюдения в процессе создания новых методических материалов:

1. Название лабораторной работы.

2. Цель работы.

3. Программа работы, состоящая из трёх – четырёх пунктов.

4. Необходимые для работы пояснения, включающие в себя участки кода с пояснениями их работы, а так же теоретическое описание принципов работы микроконтроллера, используемых в данной работе.

5. При необходимости в конце работы могут быть размещены контрольные вопросы или вопросы для самопроверки студентов.

1.2 Обзор способов измерения угла поворота и скорости вращения вала

Создание системы регулирования или управления скоростью вращения или угла поворота вала двигателя невозможно без введения обратной связи соответственно по скорости вращения или по углу поворота. Существуют следующие основные методы измерения угловой скорости вращения вала двигателя:

• центробежный метод, основанный на зависимости центробежных сил от угловой скорости вращения инерционной массы;

• часовой метод, основанный на зависимости угла поворота вала за фиксированный промежуток времени от угловой скорости его вращения;

• фрикционный метод, основанный на самовыравнивании (за счет трения скольжения) окружной скорости вращения фрикционного ролика с окружной скоростью конуса, вращающегося с постоянной угловой скоростью;

					270304.2017.282 ПЗ	Лис
						10
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дата		

• магнитоиндукционный метод, основанный на увлечении проводящего тела (цилиндра, диска и др.) полем вращающегося постоянного магнита благодаря взаимодействию наводимых в проводящем теле индукционных токов с магнитным полем постоянного магнита;

• индукционный метод, основанный на зависимости Э.Д.С., наводимой полем постоянного магнита в обмотке, от угловой скорости вращения магнита или обмотки. В зависимости от схемы они могут выдавать сигналы на постоянном или переменном токе;

• импульсный метод, основанный на определении частоты электрических импульсов, формируемых с помощью контактного или бесконтактного (фотоэлектрического, индуктивного, емкостного и др.) прерывателя или коммутатора, связанного с валом, скорость вращения которого контролируется;

• стробоскопический метод, основанный на явлении кажущейся неподвижности вращающегося тела при его периодическом наблюдении в течение коротких промежутков времени с частотой, равной или кратной частоте вращения;

• метод дифференцирования, основанный на дифференцировании сигнала позиционного датчика (потенциометрического, индуктивного и др.).

Все эти методы, за исключением импульсного, достаточно сложны для реализации с помощью микроконтроллера.

Датчики угла поворота выпускаются серийно в разных исполнениях. Шайба с выступами является чувствительным элементом бесконтактного пассивного индуктивного датчика, содержащего отдельный дроссель, включенный в высокочастотный колебательный контур или в мост с несущей частотой. Они служат для статико-динамических измерений угла. Активные датчики с индукционной катушкой служат для динамических измерений в течение длительного времени.

					270304.2017.282 ПЗ	Лис
						11
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дата		

Устройства с диском или барабаном, на котором размещены постоянные магниты, и датчиком Холла или полупроводниковой пластинкой, сопротивление которой зависит от индукции магнитного поля, служат для статико-динамических измерений угла.

Датчики с шайбами, имеющими отверстия или щели (или же с барабанами, отражающими свет растром), имеют источники света в виде ламп тлеющего разряда или диодов из арсенида галлия и чувствительные элементы, например кремниевые диоды или фототранзисторы. При использовании фотоэлектрических датчиков от объекта измерений не потребляется энергии.

Кодирующие датчики угла поворота имеют круглую шайбу с контактными щетками или же с магнитной или фотоэлектрической измерительной системой. В таких датчиках, например с 10 дорожками достигается абсолютное разрешение по углу $\Delta Q = 360/2^{10} = 0,35^\circ = 21'$. При 13 дорожках получается абсолютное разрешение $\Delta Q = 360/8192 = 0,0439^\circ = 2,64'$.

Для увеличения разрешения по углу необходимо повышать количество дорожек на шайбе, закрепленной непосредственно на объекте измерений, или использовать редуктор. Если приводить во вращение кодирующую шайбу через передаточные шестеренки, то можно как угодно расширить диапазон измерений угла поворота. При передаточном числе до 105 достигается 106 ступеней измерений [2].

Из фотопреобразователей угла наибольшее распространение получили преобразователи считывания (ПС) и растровые интерполяторы (РИ), которые используются для построения абсолютных и накапливающих преобразователей угла в код (преобразователей абсолютных значений и приращений угла).

Принцип их действия основан на модуляции потока излучения, воспринимаемого приемниками, и преобразовании сигналов приемников. Модуляция осуществляется сопряжением подвижного (модулирующего) и неподвижного (индексного) элемента, которые имеют переменную от угла прозрачность и располагаются на пути потока от источника к приемнику. В

					270304.2017.282 ПЗ	Лис
						12
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дата		

минимально возможными размерами ее участков. Максимальное число разрядов ПС при приемлемых габаритах (внешнем диаметре, меньшем 100 мм) составляет 13–14. Дальнейшее увеличение числа разрядов при ограниченном внешнем диаметре приводит к значительному усложнению кодовой маски и считывающей системы. Быстродействие ПС определяется, главным образом, временем срабатывания компараторов. Выбором компараторов с соответствующим временем срабатывания можно строить ПС, производящие 10s–107 отс/с.

Применение растровых интерполяторов связано с тем, что технология их изготовления проста и отличается высокой точностью, поскольку используются процессы, основанные на методах фотолитографии и фотопечати и применении дисков-шаблонов, на которых с высокой точностью выполнена маска. Современная технология позволяет изготавливать диски-шаблоны с погрешностью рисунка, не превышающей десятой доли угловой секунды. Технология печати с диска-шаблона должна обеспечивать однородность копий и передачу геометрии рисунка диска-шаблона с требуемой точностью.

Растровые интерполяторы характеризуются тем, что с помощью сигналов, считываемых с одной растровой дорожки, формируется группа из k разрядов кода.

Максимальное число разрядов преобразователей угла с РИ при диаметре диска, равном примерно 100–150 мм, составляет 22–23, а в отдельных случаях может достигать 25–27. Однако диаметр диска при этом возрастает до 200–300 мм [3].

Современные датчики угла поворота обычно называют энкодерами, которые подразделяются на абсолютные и инкрементальные, резисторные, магнитные и оптические, работающие через промышленные сети либо шинный интерфейс. В зависимости от общего принципа работы выделяют абсолютные энкодеры и инкрементальные. Различие между этими двумя видами заключается в выполняемых ими задачах. Перечень задач абсолютного энкодера гораздо шире перечня, который охватывается энкодером инкрементальным.

					270304.2017.282 ПЗ	Лис
						14
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дата		

С инкрементальным энкодером бывают сложности при обработке сигналов с него.

С энкодера выходят два сигнала А и В, сдвинутых на 90 градусов по фазе, выглядит это так (см. рисунок 3):



Рисунок 3 – Диаграмма сигналов с энкодера

А дальше всё зависит от типа энкодера.

Чаще всего встречаются либо механический, либо оптический с малой дискретностью. Многие модели выдают в лучшем случае около двадцати импульсов на оборот. Устроен он просто – две контактные группы замыкаются в нужном порядке в зависимости от вращения.

В оптическом же может быть два светоизлучателя и два фотодиода, святащие через диск с прорезями, как в шариковой мышке.

Механический энкодер подключается просто – центральный вывод заземлянтмя, два крайних (каналы) – на подтянутые порты.

Оптический энкодер подключается в зависимости от типа оптодатчика, обычно там стоит два фотодиода с общим анодом.

Обычно пытаются работать с ними через прерывания INT, но этот метод таит в себе опасность дребезга механических контактов. Прерывание на эти ложные импульсы обычно срабатывает, что нарушает правильность подсчётов.

Правильнее будет считать не импульсы, а состояния.

Если А и В идут на одни порт контроллера (например на А=PB0 В=PB1), то при вращении энкодера возникает меняющийся код:

$$11 = 3$$

$$10 = 2$$

$$00 = 0$$

$$01 = 1$$

$$11 = 3$$

Теперь остается только циклически опрашивать энкодер, сравнивая текущее состояние с новым и на основании этого делать выводы о вращении. Причем частота опроса должна быть такой, чтобы не пропустить ни одного импульса. Например, энкодер ЕС12 имеет 24 импульса на оборот. Сам опрос должен быть в виде конечного автомата. Таким образом получаем текущее состояние и два возможных следующих.

Энкодеры оптические могут работать на очень высоких скоростях. Производительности микроконтроллера в таком случае перестанет хватать для опроса порта, могут появиться просчёты. В таком случае необходим совершенно другой подход к обработке сигнала с датчика.

Ускорение опроса не принесёт хороших результатов. Но спасает то, что у таких энкодеров, как правило, есть уже свои схемы подавления дребезгов и неопределенностей, так что на выходе у них четкий прямоугольный сигнал

А раз так, то можно применять прерывания. И тогда все упрощается. Необходимо настроить всего одно прерывание по внешнему сигналу. Например, INT0 настроить так, чтобы сработка шла по восходящему фронту. И подать на

					270304.2017.282 ПЗ	Лис
						16
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дата		

INT0 канал А, а в обработчике прерывания INT0 проверяем подключенный ко второму выводу канал В.

Если там высокий уровень увеличиваем на 1, если низкий – уменьшаем на 1 содержимое счётного регистра.

В результате получится быстрый обработчик прерываний на три-четыре строки кода на ассемблере. Недостаток этого метода заключается в том, что наличие дребезга на выходе энкодера однозначно приведёт к просчётам. Если всё же есть необходимость убирать дребезг на высокооборотистых энкодерах, то можно маскировать прерывания на некоторое время, большее времени дребезга. Такое программное решение будет достаточно громоздким, но при соответствующих параметрах очень надёжным.

1.3 Анализ возможных способов управления ДПТ

В электродвигателях постоянного тока крутящий момент порождается реакцией между двумя магнитными полями: одно поле устанавливается стационарной обмоткой возбуждения, а другое – обмотками во вращающемся якоре. У некоторых двигателей постоянного тока отсутствует обмотка возбуждения, вместо которой установлены большие постоянные магниты, сохраняющие стационарное магнитное поле постоянным при любых рабочих условиях.

В любом случае, принцип работы электродвигателя постоянного тока заключается в том, что ток, проходя через якорь, создает магнитное поле, пытающееся выровняться со стационарным полем. И поэтому якорь вращается (см. рисунок 4).

					270304.2017.282 ПЗ	Лис
						17
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дата		

Такая электронная схема регулирования мощности обычно называется приводом. Таким образом, привод с регулируемой скоростью (или VSD) – это высокомошная схема, используемая для управления скоростью двигателя постоянного тока. Моторные приводы могут быть вручную настроены на пуск двигателя с заданной скоростью, или могут принимать электронные управляющие сигналы для изменения скорости двигателя таким же образом как электронные сигналы управляют движением регулирующего клапана. Оснащенный дистанционной системой передачи управляющих сигналов, привод функционирует подобно любому другому конечному исполнительному элементу: следуя командам контроллера, стабилизирует некий технологический параметр, приближая его к уставке.

Привод постоянного тока просто регулирующий мощность, поступающую к двигателю, был бы непродуманным и трудно применимым для управления большинством процессов. Чего бы в идеале хотелось от регулируемого привода, так это точного управления скоростью двигателя. По этой причине большинство приводов рассчитано на получение обратной связи.

Получая сигнал обратной связи, устройство управления изменяет по заранее заданному закону скважность сигнала ШИМ, тем самым изменяя мощность, передаваемую двигателю.

					270304.2017.282 ПЗ	Лис
						21
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дата		

2 СРАВНЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ПЕРЕДОВЫХ ЗАРУБЕЖНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И РЕШЕНИЙ

Сравнение аналогов лабораторных работ или стендов будет малоэффективно. Лабораторные стенды уже есть в наличии, как и сборники лабораторных работ, проводимых на них. Модернизация лабораторного оборудования обычно не предусматривается производителем. В связи с вышеизложенным было принято решение провести обзор решений на микроконтроллерах, которые отличались бы широким спектром применения при невысоком бюджете.

Самой известной торговой маркой в России оказалась Arduino – торговая марка аппаратно-программных средств для построения простых систем автоматики и робототехники, ориентированная на непрофессиональных пользователей. Программная часть состоит из бесплатной программной оболочки (IDE) для написания программ, их компиляции и программирования аппаратуры. Аппаратная часть представляет собой набор смонтированных печатных плат, продающихся как официальным производителем, так и сторонними производителями. Полностью открытая архитектура системы позволяет свободно копировать или дополнять линейку продукции Arduino.

Arduino может использоваться как для создания автономных объектов автоматики, так и подключаться к программному обеспечению на компьютере через стандартные проводные и беспроводные интерфейсы.

С 2008 года в компании-разработчике начался раскол, выразившийся в существовании двух независимых ветвей развития и продаж под одной торговой маркой: одна на сайте arduino.cc, другая на arduino.org. Докризисные изделия на обоих сайтах продаются под одинаковыми названиями. Набор новых изделий на сайтах различается. На сайтах некоторое время были две разных ветви Arduino IDE с поддержкой разного набора плат и библиотек. Одинаковые названия и пересекающиеся номера версий IDE вносили путаницу. Но, начиная с версии 1.8.0 (от 2016.12.20), оба сайта объединили ветки IDE в одну. Тем не менее, говоря об

					270304.2017.282 ПЗ	Лис
						22
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дата		

Ардуино, обычно подразумевают первоначальную ветвь проекта на сайте arduino.cc.

Под торговой маркой Arduino выпускается несколько плат с микроконтроллером и платы расширения. Большинство плат с микроконтроллером снабжены минимально необходимым набором обвязки для нормальной работы микроконтроллера (стабилизатор питания, кварцевый резонатор, цепочки сброса и тому подобное).

Arduino и Arduino-совместимые платы спроектированы таким образом, чтобы их можно было при необходимости расширять, добавляя в устройство новые компоненты. Эти платы расширений подключаются к Arduino посредством установленных на них штыревых разъёмов. Существует ряд плат с унифицированным конструктивом, допускающим конструктивно жесткое соединение процессорной платы и плат расширения в стопку через штыревые линейки. Кроме того, выпускаются платы уменьшенных габаритов (например, Nano, Lilypad) и специальных конструктивов для задач робототехники. Независимыми производителями также выпускается большая гамма всевозможных датчиков и исполнительных устройств, в той или иной степени совместимых с базовым конструктивом Ардуино.

В концепцию Arduino не входит корпусной или монтажный конструктив. Разработчик выбирает метод установки и механической защиты плат самостоятельно. Сторонними производителями выпускаются наборы робототехнической электромеханики, ориентированной на работу совместно с платами Arduino.

Помимо стандартных конструктивов Ардуино сторонние разработчики создали множество миниатюрных клонов, сохранив только архитектурную и программную совместимость. Среди этих клонов выделяется линейка продуктов Microduino. Линейка содержит полноценный набор конструктивно совместимых процессорных модулей, модулей связи, сенсоров и исполнительных устройств, практически не уступая ассортименту классических модулей Arduino.

					270304.2017.282 ПЗ	Лис
						23
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дата		

Как и Arduino, сборка плат производится в стопки. Линейка оформлена в двух оригинальных конструктивах:

- Бескорпусной с соединениями на миниатюрных цанговых штыревых линейках (торговая марка «Microduino Upin27 Series»). Габарит плат 25*28 мм.

- В стиле конструкторов Лего с электрическими соединениями на подпружиненных контактах и механической фиксацией, совместимой с конструкторами Лего (торговая марка «Microduino mCookie Series»).

Самый миниатюрный клон был выпущен под торговой маркой Femtoduino. Его размеры всего 15*20 мм, включая разъем micro USB, стабилизатор напряжения и полный комплект ввода-вывода Arduino UNO. Той же компанией выпущен самый нафаршированный миниатюрный клон под торговой маркой IMUduino. Это клон Arduino Leonardo с поддержкой USB Host (клавиатура и мышь), Bluetooth 4 Low Energy, шестиосный гироскоп/акселерометр, трехосный магнитометр (компас), барометр. Размер устройства 16*40 мм.

Микроконтроллеры для Arduino отличаются наличием предварительно прошитого в них загрузчика. С помощью этого загрузчика пользователь загружает свою программу в микроконтроллер без использования традиционных отдельных аппаратных программаторов. Загрузчик соединяется с компьютером через интерфейс USB (если он есть на плате) или с помощью отдельного переходника UART-USB. Поддержка загрузчика встроена в Arduino IDE и выполняется в один щелчок мыши.

На случай затирания загрузчика или покупки микроконтроллера без загрузчика разработчики предоставляют возможность прошить загрузчик в микроконтроллер самостоятельно. Для этого в Arduino IDE встроена поддержка нескольких популярных дешевых программаторов, а большинство плат Arduino имеет штыревой разъем для внутрисхемного программирования (ICSP для AVR, JTAG для ARM).

					270304.2017.282 ПЗ	Лис
						24
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дата		

•Модуль управления низковольтным мотором на базе L298. Поддерживаются шаговый и коллекторный двигатели с напряжением до 12 В и током до 2 А на канал. Могут подключаться также реле, электромагниты ... Модуль не имеет гальванической развязки.

•Графический ЖКИ индикатор.

•Модуль с макетным полем.

Сторонние производители выпускают широкую гамму датчиков и исполнительных устройств, подключаемых к Arduino. Например, гироскопы, компасы, манометры, гигрометры, термометры, релейные модули, индикаторы, клавиатуры и другое.

Идея создания многофункциональной системы, основанной на микроконтроллере и различной периферии была взята для дальнейшего внедрения в проекте.

					270304.2017.282 ПЗ	Лис
						26
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дата		

3 ПРОЕКТНАЯ ЧАСТЬ

Исходя из всего вышеизложенного в целях дальнейшего проектирования необходимо уточнить поставленные задачи. Необходимо провести выбор способа измерения угла поворота и скорости вращения вала двигателя. Во время предварительных исследований было выявлено, что в настоящее время для измерения угла поворота широко применяются энкодеры. Исследование разновидностей энкодеров и применимости их в проекте добавит рекомендаций для планируемой модернизации стенда. После выбора чувствительного элемента или элементов необходимо рассмотреть вопросы точности со стороны теории управления. Чувствительность датчика и его точность повлияют на его применимость в разных задачах. Необходимым для рассмотрения будет также вопрос программной реализации регуляторов, работающих по разным законам, на микроконтроллере. После определения всех составных частей и возможностей проекта потребуется привести описание модуля, подключаемого к лабораторному стенду и привести макет методического описания по лабораторной работе, использующей этот макет и позволяющей создать простой цифровой регулятор.

3.1 Выбор и обоснование способа измерения угла и скорости поворота вала

Первым основанием для выбора чувствительного элемента будет необходимость его сопряжения с микроконтроллером. То есть, очевидно, датчик должен быть либо с цифровым, либо с импульсным выходом. Большая часть датчиков скорости вращения вала двигателя отпадает сразу по этому признаку. Поскольку сигнал будет обрабатываться микроконтроллером, то датчик скорости вращения может быть совсем не нужен при наличии датчика угла поворота вала.

Поскольку в контроллерах есть таймеры, можно производить преобразования измеренного угла и отмеренного временного интервала в скорость. Датчик скорости вращения вала исключаем из дальнейшего рассмотрения.

					270304.2017.282 ПЗ	Лис
						27
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дата		

Выбор датчика угла поворота вала двигателя надо производить с учётом того, что он будет использоваться и для прямого измерения угла и для косвенного измерения скорости вращения. В случае, когда измеряется скорость вращения, существует два разных подхода к её вычислению. В случае высоких скоростей хорошую точность даёт способ, при котором измеряется время одного оборота вала. Скорость вращения в таком случае является величиной, обратной измеренному времени. При невысоких скоростях наоборот, задаётся период времени и измеряется угол поворота. Этот угол и будет пропорционален скорости вращения. Поскольку используемый в стенде двигатель работает на высоких оборотах в номинальном режиме, то будем принимать во внимание только первый способ. В таком случае чувствительный элемент может быть упрощён до предела и будет представлять из себя оптическую схему, состоящую из светодиода, фотодатчика и формирователя просветов и их отсутствия при вращении вала. Подобные датчики широко использовали в манипуляторах типа «мышь» с прорезиненным шариком. Если для создания просвета просверлить отверстие в самом валу и поставить оптопару, то такой датчик не создаст никаких дополнительных нагрузок на валу и будет выдавать импульсы каждые пол-оборота вала. После формирователя импульсов сигнал можно напрямую подавать на микроконтроллер для дальнейшего преобразования в нём в скорость вращения.

Сигнал обратной связи по углу поворота в рассматриваемом варианте лучше снимать с энкодера. Это позволит несильно нагружать вал и получать сигнал в цифровом виде.

Очевидно, большое значение тип выбираемого энкодера – абсолютный или инкрементный.

3.2 Выбор энкодера

Одним из основных параметров для выбора энкодера является скорость вращения (ограничена максимально допустимой механической скоростью вращения, обычно указанной в документации), с которой будет вращаться его вал,

					270304.2017.282 ПЗ	Лис
						28
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дата		

также форму сигналов при большой длине кабеля (она может отличаться от идеализированной прямоугольной формы). И расчет количества импульсов необходимо проверять по следующей формуле:

$$N = 60 * f(\text{Гц}) / 2 * w \text{ (об/мин)},$$

где f – максимальная входная частота принимающего устройства;

w – максимальная скорость вращения вала энкодера.

Обратите внимание, что двойка в знаменателе относится и в том числе к тем случаям, когда используется привод F7, другие производители могут рекомендовать свои формулы. Таким образом, для гарантированной работы следует ориентироваться на максимальную частоту импульсов энкодера, равную половине рабочей частоты карточки обратной связи в случае использования оборудования OMRON. На практике не длинный кабель энкодера, отсутствие различных мощных помех, позволяют повысить частоту импульсов поступающих с энкодера, то есть не ограничиваться половиной рабочей частоты, а работать до полной рабочей частоты. Но в этих случаях производитель не гарантирует, бесперебойную работоспособность системы. Получается, что чем больше рабочая частота, тем лучше (можно установить энкодер более высокого разрешения). Совсем другой вопрос, сколько импульсов на оборот будет достаточно для обеспечения точности системы. Если речь идёт об обратной связи по скорости с приводом и двигателем с асинхронным короткозамкнутым ротором, то от выбранного разрешения будет зависеть поведение системы. При маленьких разрешениях на очень низких скоростях вал мотора может двигаться не плавно, а дергаться, может измениться поведение системы при удержании вала на нулевой скорости. Но однозначно определить зависимость поведения системы от низких разрешений энкодера невозможно, не зная внутреннего логического устройства привода (а это уже коммерческая информация).

Самым простым способом в таком случае будет проверка поведения системы «привод – мотор – энкодер» опытным путём. Выбирая энкодер, не стоит слишком увеличивать разрешение и не стоит им сильно пренебрегать. Высокое разрешение

					270304.2017.282 ПЗ	Лис
						30
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дата		

и большие скорости вращения накладывают дополнительные требования на приёмное устройство. Низкое разрешение опасно тем, что для низких скоростей может не хватить минимального разрешения и поэтому нужно принимать во внимание:

- Максимальную скорость вращения.
- Необходимое разрешение (можно вычислить по формуле, зная только максимальную скорость вращения и скорость счёта приёмного устройства).

Например, фирма OMRON в техническом руководстве на привод рекомендует выбирать разрешение энкодера от 1000 до 2000 импульсов на оборот, если мотор не будет вращаться больше чем 4000 об/мин. Дальнейшее увеличение разрешения энкодера не даст увеличения диапазона регулирования и точности поддержания по скорости [4].

Сравнительная таблица доступных в нашей стране энкодеров фирмы Bourns позволит лучше сориентироваться при заказе датчика для модернизации станда.

Таблица 1 – Сравнение энкодеров фирмы Bourns

Модель энкодера	Технология	Тип выхода	Напряжение питания (В)	Разрешение
EAW (ACE)	Контактный	Абсолютный	3,3 и 5	128
ECW	Контактный	Квадратура	3,3 и 5	6, 9, 12, 24, 36
EM14	Оптический	Квадратура	5	8, 16, 32, 64
EN	Оптический	Квадратура	5	25, 50, 64, 100, 125, 128, 200, 256
EMS22	Магнитный	Квадратура	3,3 и 5	32, 64, 128, 256
EMS22	Магнитный	Направление/шаг	3,3 и 5	64, 128, 256, 512
EMS22	Магнитный	Абсолютный/ШИМ	3,3 и 5	1024

Дальнейшие расчёты будут производиться в предположении, что выбран энкодер EMS22 с абсолютным выходом и 1024 импульсами на оборот.

3.3 Расчёт чувствительности и точности измерения угла и скорости поворота вала

Точность звена влияет на характеристики качества системы регулирования. Расчёт точности чувствительного элемента несложен. При номинальной частоте вращения двигателя в 2320 об/мин получаем 4640 имп./мин или около 77 имп./сек. Если сделать частоту опроса порта, на котором подключен энкодер, равной $f = 100$ Гц, то ни один импульс не будет пропущен и тогда погрешность составит максимум пол-оборота за время счёта.

Погрешность измерения угла энкодером составляет $360^0/1024$.

Чувствительность при измерении скорости вращения объясняется конструктивными особенностями датчика и равна пол-оборота, чувствительность энкодера равна одному дискрету, то есть $60^0/1024$

3.4 Реализация различных законов управления на микроконтроллере

Управляющий сигнал с микроконтроллера на микропривод подаётся в виде изменения коэффициента заполнения ШИМ.

ШИМ (PWM) используется в транзисторной схеме для регулирования напряжения без механики, в свою очередь управление мощностью. Например управление яркостью светодиодов, управление яркостью подсветки на LCD-мониторе, управление двигателями и другие. Сквозность – это заполнение импульса, если вся ширина импульса это 5 В, то при 30 % заполнении импульса, в среднем на выходе мы получим примерно 1,5 В. В микроконтроллерах AVR ШИМ управление задается в восьмиразрядных таймерах/счетчиках T0/(T2) и шестнадцатиразрядный T1 (T3 в некоторых моделях). А также есть другие модели где битность ШИМа можно задавать, например ATmega 128. Рассмотрим настройку шестнадцатиразрядного таймера/счетчика T1. Данные берем соответственно таблицам либо из справочника, либо из документации на контроллер.

					270304.2017.282 ПЗ	Лис
						32
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дата		

Для такого счетчика в микроконтроллере можно выбрать три режима: Fast PWM, Phase Correct PWM, Phase and Frequency Correct PWM (зависит от модели).

Рассмотрим второй режим - ШИМ с точной фазой. Здесь счетный регистр функционирует как реверсивный счетчик, изменения состояния которого изменяется от \$0000 до максимального значения а затем обратно до \$0000. Для управления таймером/счетчиком используем три регистра управления TCCR1A, TCCR1B, TCCR1C. В которых для выбора режима таймера/счетчика необходимо установить разряды WGMn1: WGMn0 и WGMn1: WGMn0. В зависимости от их установки максимальное значение счетчика (Разрешение ШИМ сигнала) является либо фиксированным значением, либо определяется содержимым определенных регистров таймера/счетчика. Разрешающая способность определяется выражением:

$$g = \log (TOP+1)/\log 2,$$

где TOP – модуль счета, выбирается из таблицы соответственно разрешающей способности.

После того как определились с режимом работы таймера счетчика, необходимо выбрать режим работы блока сравнения COMnA1:COMnA0, COMnB1:COMnB0, COMnC1:COMnC0, который определяет поведение вывода OCnx при наступлении события «Совпадение».

Определимся с частотой. Необходимо выставить разряды CSn2...CSn0 регистра TCCR1B, которые отвечают за определение источника тактового сигнала. Вот таким программным образом выглядит настройка ШИМ-управления на выходе OC1A. Например :

*/*Настройки ШИМ*/*

TCCR1A=(1<<COM1A1)|(0<<COM1A0)|(1<<WGM10); /*На выводе OC1A единица, когда OCR1A==TCNT1, сбрасывается в 0 при OCR1A==TCNT1 и устанавливается в 1 при достижении максимального значения восьмибитный ШИМ Phase Correct PWM , номер режима 1 . модуль счета TOP \$00FF*/

					270304.2017.282 ПЗ	Лис 33
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дата		

$TCCR1B=(1 \ll CS10);$ /*Делитель= 1*/

$OCR1A = 50;$ /* при модуле счета 255 и при напряжении 5 В на выходе OC1A получим примерно 1 В*/

Из программы видно, что для получения ШИМ используем регистр сравнения OCR1A. При достижении счетчиком максимального значения, в данном случае 255, происходит смена направления счета, но счетчик остается в этом состоянии в течении одного периода сигнала. В этом и заключается более медленная частота работы по сравнению с первым режимом. Но в этом и состоит симметричность изменения счетчика. Что более подходит для управления двигателем. В этом же такте происходит обновления содержимого регистра сравнения. При достижении счетчиком минимального значения также происходит смена направления счета и одновременно устанавливается флаг прерывания TOV1 регистра TIFR. При равенстве содержимого счетного регистра и какого-либо регистра сравнения устанавливается соответствующий флаг OCF1A/OCF1B/OCF1C регистра TIFR. Одновременно изменяется состояние выхода блока сравнения OCnх. Частота генерируемого сигнала:

$$f_{OCn} = f / (2 * N * TOP),$$

где N – коэффициент деления предделителя;

f – частота кварца.

В проекте предполагается управлять двигателем, то есть объектом управления (ОУ). У него имеется три параметра:

- Выходная величина u.
- Входной задающий параметр u.
- Входное возмущающее воздействие f.

На рисунке 7 представлен общий вид ОУ с его параметрами.

										Лис
										34
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дата	270304.2017.282 ПЗ					

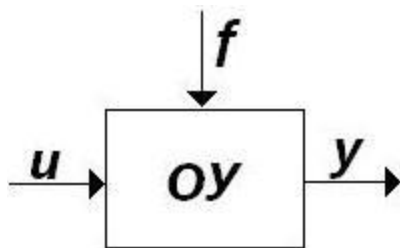


Рисунок 7 – Объект управления

Входным задающим параметром является постоянное напряжение и в зависимости от его величины изменяется частота вращения двигателя. Выходным параметром является показания энкодера, а именно угол поворота (число импульсов за один оборот). Третий параметр – возмущающее воздействие – это воздействие со стороны внешней среды, которое нарушает правильное функционирование объекта, к примеру трение, нагрузка и иное.

Для исключения последнего используется второй параметр, задающий. Техническое устройство, осуществляющее автоматическое управление называется управляющим устройством (УУ). А ОУ совместно с управляющим и задающим устройствами называют систему автоматического управления (САУ). Структурная схема системы представлена на рисунке 8.

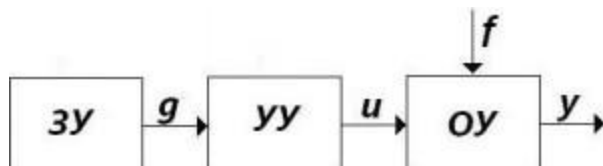


Рисунок 8 – Структурная схема системы

Здесь хочется сразу добавить, что ОУ может управляться по трем основным принципам:

1. Принцип разомкнутого управления – вырабатывается на основе заданного алгоритма и не контролируется другими факторами.
2. Принцип компенсации возмущений, где результат возмущения в виде коррективы вносится в алгоритм управления.
3. Принцип управления по ошибке. Здесь коррективы вносятся в алгоритм управления по фактическому значению выходной величины.

Рассматриваемый проект будет строиться по последнему принципу управления – по ошибке. На рисунке 9 представлена структурная схема, где осуществляется управление по ошибке.

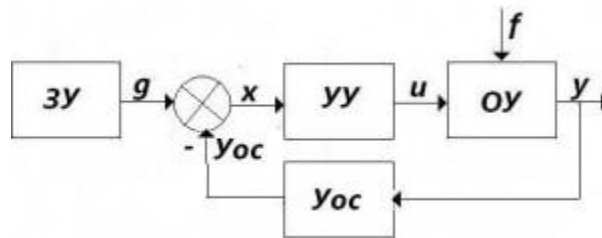


Рисунок 9 – Структурная схема САУ по ошибке

ЗУ – это задающее устройство, с которого импульсы поступают в микроконтроллер. Где в свою очередь прописана математическая модель регулятора. Контроллер выступает в роли УУ. Далее ШИМ генерирует необходимый импульс и посылает его на вход двигателя с энкодером. Выход импульсов с которого является выходной величиной и ошибкой в обратной связи у ос.

Далее САУ классифицируются по:

1. Алгоритму функционирования:

- системы стабилизации – поддержание регулируемого параметра на заданном уровне;
- программное управление – алгоритм задан в функции времени, где выходная величина изменяется во времени по заданному закону;
- следящие системы – алгоритм функционирования заранее не известен, где регулируемая величина должна воспроизводить изменение некоторой внешней величины;
- экстремальные системы – показатель качества или эффективности процесса может быть выражен в виде функции параметров системы, а сама функция имеет экстремум (максимум или минимум);

- системы оптимального управления – процесс управления ведется таким образом, что некоторая характеристика процесса была бы оптимальной;

- адаптивные системы – некоторые параметры ОУ и др. элементов системы могут изменяться.

2. По виду дифференциальных уравнений, описываемых систему – линейные (статические характеристики всех элементов являются прямолинейными) и нелинейные (статическая характеристика является нелинейной).

3. По характеру сигналов в основных элементах - непрерывные и дискретные (в последних непрерывный входной сигнал преобразуется на выходе в последовательность импульсов).

Рассмотрим типовые законы управления, определяющие алгоритм управления в функции от ошибки управления. Под законом регулирования понимают алгоритм, в соответствии с которым управляющее устройство формирует воздействие, подаваемое на вход ОУ. Законы управления описываются передаточными функциями, которые являются одним из способов математического описания динамической системы. Вид передаточной функции управляющего устройства определяет закон управления. Различают пять основных законов управления: пропорциональный (П), интегральный (И), пропорционально-интегральный (ПИ), пропорционально-дифференциальный (ПД), пропорционально – интегрально – дифференциальный (ПИД). Рассмотрим каждый закон в отдельности на примере устройства синхронизации.

П – регулятор. Одно из простых устройств и алгоритмов управления, в обратной связи, которое формирует управляющий сигнал. Выдает выходной сигнал $u(t)$, пропорциональный входному (ошибке регулирования) $e(t)$, с коэффициентом пропорциональности K , который вырабатывается пропорциональной частью П-регулятора в противодействие отклонению регулируемой величины от данного значения, в данный момент времени.

$$u(t) = K_p * e(t),$$

									Лис
									37
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дата					

где K_p – коэффициент усиления регулятора.

Чем больше отклонение, тем больше выход именно по данному значению, то есть статическая ошибка равна отклонению регулируемой величины. Здесь присутствует вероятность, что система никогда не стабилизируется на заданном значении. Увеличение коэффициента усиления увеличивает разницу между входом и выходом, при этом уменьшается статическая ошибка. Но рост этого коэффициента может привести к автоколебаниям в системе, а дальнейшее его увеличение приведет к потере устойчивости.

Обычно на практике усилительные свойства П-регулятора характеризуют следующими величинами:

- предел пропорциональности $d=1/K_p$ - величина, обратная K_p ;
- предел пропорциональности, выраженный в процентах $D=d*100\%=100\%/K_p$. Показывает, на сколько процентов от своего максимального значения должен измениться входной сигнал, чтобы выходной изменился на 100 %.

П-регулятор находит свое применение в тех же процессах, где не требуется точного поддержания заданного значения, описанных ранее, то есть в контролируемом процессе будет присутствовать статическая ошибка. Возникает данная ошибка из-за того, что выходной сигнал слишком мал для оказания существенного воздействия на поддержание системы на заданном уровне. Вполне допускается, что регулятор выведет требуемое значение, но при возникновении возмущающих воздействий, регулятор не сможет вернуть заданное значение, пока рассогласование не станет достаточно велико, чтобы выходной сигнал смог оказать достаточное воздействие. Это самый простой закон и его можно выбрать в качестве примера.

И-регулятор. Устройство вырабатывает сигнал $(u(t))$, пропорциональный интегралу от ошибки регулирования $(e(t))$. Система при таком законе астатическая, возмущение происходит на том участке системы, который

					270304.2017.282 ПЗ	<i>Лис</i>
						38
<i>Изм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

находится за интегрирующим звеном. Но при этом динамические свойства системы с И-законом обычно хуже чем у системы П-управления.

Передаточная функция:

$$W(p)=K_0/p,$$

где K_0 – коэффициент усиления регулятора.

Скорость изменения выхода И-регулятора пропорциональна ошибке регулирования. Обычно на практике усилительные свойства И-регулятора характеризуют временем изодрома.

Время изодрома $T_i=1/K_0$ – величина, обратная K_0 . Также показывает за какое время выход регулятора изменится на 100 % (регулирующий орган переместится из одного крайнего положения в другое) при скачкообразном изменении входного сигнала на 100 %. Таким образом T_i характеризует быстродействие регулятора. С уменьшением T растет колебательность переходного процесса. При слишком малых значениях T система регулирования может перейти в неустойчивое состояние.

В системе регулирования с И-регулятором обычно отсутствует статическая ошибка регулирования. Как правило И-регулятор не используется самостоятельно, а в составе ПИ- или ПИД- регуляторов.

ПИ-регулятор. Изодромное управление. Управляющее устройство вырабатывает сумму двух сигналов – пропорционального ошибке и пропорционального интегралу от ошибки. Выходной сигнал ПИ-регулятора ($u(t)$) зависит и от ошибки регулирования ($e(t)$), и от интеграла от этой ошибки.

Передаточная функция:

$$W(p)=K_1+K_0/p,$$

где K_1 – коэффициент усиления пропорциональной части;

K_0 – коэффициент усиления интегральной части.

Так как ПИ-регулятор можно рассматривать как два регулятора, соединенные параллельно, то усилительные свойства ПИ-регулятора характеризуют два параметра:

					270304.2017.282 ПЗ	Лис
						39
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дата		

- 1) предел пропорциональности $d=1/K1$ – величина, обратная $K1$;
- 2) время изодрома $Tи=1/K0$ – величина, обратная $K0$.

Динамические свойства системы с ПИ-регулятором лучше, чем с И-законом. Изодромная система в переходном режиме приближается к системе с пропорциональным управлением. А в установившемся режиме подобна системе с интегральным управлением. Чем больше коэффициент пропорциональности, тем меньше выходная мощность при одной и той же ошибке регулирования, чем больше постоянная времени интегрирования, тем медленнее накапливается интегральная составляющая. ПИ регулирование обеспечивает нулевую ошибку регулирования и нечувствительно к помехам измерительного канала. Ошибка регулирования (статическая) исключается за счет интегрального звена, которое образуется путем постоянного суммирования ϵ за определенный промежуток времени и формирования сигнала управления, пропорционального полученной величине.

Недостатком ПИ регулирования является медленная реакция на возмущающие воздействия. Для настройки ПИ регулятора следует сначала установить постоянную времени интегрирования равной нулю, а коэффициент пропорциональности – максимальным. Затем как при настройке пропорционального регулятора, уменьшением коэффициента пропорциональности нужно добиться появления в системе незатухающих колебаний. Близкое к оптимальному значение коэффициента пропорциональности будет в два раза больше того, при котором возникли колебания, а близкое к оптимальному значение постоянной времени интегрирования – на 20 % меньше периода колебаний. Оптимальным является переходной процесс с 20 % перерегулированием.

ПД-регулятор. Если нагрузка объекта изменяется часто и резко, и при этом объект имеет существенное запаздывание, то ПИ-регулятор дает неудовлетворительное качество регулирования. Тогда целесообразно в закон регулирования вводить дифференцирующую составляющую, т. е. воздействовать

					270304.2017.282 ПЗ	Лис
						40
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дата		

приводит к режиму автоколебаний. Чем больше время дифференцирования, тем больше скачок в перемещении регулирующего органа.

ПИД-регулятор. Это сумма трех регуляторов П, И и Д (Пропорционально-интегрально-дифференцирующий). Выходной сигнал ПИД-регулятора ($u(t)$) зависит от ошибки регулирования ($e(t)$), от интеграла от этой ошибки и от производной от этой ошибки.

Передаточная функция: $W(p) = K_1 + K_0/p + K_2p$.

Усилительные свойства характеризуют три параметра:

1. Предел пропорциональности $d=1/K_1$.
2. Время издрорма $T_i=1/K_0$.
3. Время предварения $T_d=K_2$

Системы регулирования с ПИД-регуляторами сочетают в себе достоинства П-, И-, и ПД- регуляторов. В таких системах отсутствует статическая ошибка и они обладают высоким быстродействием.

3.5 Описание прототипа модуля для лабораторного стенда

Предварительный осмотр стенда показал, что размещение каких-либо датчиков на выходном валу микродвигателя конструктивно невозможно, поэтому предлагается не меняя структуру стенда передавать вращающий момент со шкива ДПТ на ось спроектированного дополнительного модуля стенда. При таком подходе можно варьировать коэффициент передачи по углу вращения или скорости. Так же немаловажным является наличие свободного места для размещения механизмов изменения нагрузки на валу и измерения угла и скорости поворота вала. Варьирование статической нагрузки предлагается выполнять с помощью кольцевых грузов на вторичном валу. Динамически изменяемая нагрузка может быть симитирована закреплением пружины или резинки на шкиве вала. Такое решение позволит в широком диапазоне варьировать выбор датчиков и способы воздействия на вал.

					270304.2017.282 ПЗ	Лис
						42
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дата		

3.6 Описание лабораторной работы

Название работы: Реализация жёсткой обратной связи на микроконтроллере.

Цель работы – Ознакомиться с возможностью реализации регулятора на микроконтроллере.

Ход работы:

1. Настроить ШИМ на выходе микроконтроллера и завести сигнал на микропривод.

2. Завести сигнал обратной связи по скорости вращения в микроконтроллер.

3. Пропорционально сигналу обратной связи программно увеличить скважность ШИМ.

4. Визуально проконтролировать действие обратной связи, нагрузив вторичный вал изменяющейся нагрузкой.

Необходимые методические пояснения:

Таймер T1 микроконтроллера Atmega8535 может работать как в режиме подсчета временных интервалов, так и в режиме широтно-импульсной модуляции (ШИМ).

Поскольку таймер T1 содержит два канала и два регистра сравнения OCR1A и OCR1B, то он может сформировать два ШИМ-сигнала одновременно. Для этого два канала таймера подключены к соответствующим выводам микроконтроллера. Так, к выходу T1A таймера подключен вывод PB5, а к выходу канала T1B таймера T1 подключен вывод PD4 микроконтроллера.

В микроконтроллере Atmega 8535 таймер T1, как и таймеры T0 и T2, работает в двух режимах широтно-импульсной модуляции: быстрый ШИМ и фазовый ШИМ.

В режиме быстрого ШИМ счетный регистр TCNT1 таймера производит формирование пилообразной развертки, инкрементируя свое значение по каждому импульсу с делителя, который устанавливается в регистре управления

					270304.2017.282 ПЗ	Лис
						43
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дата		

TCCR1B таймера. При достижении счетным регистром максимального значения, определяемого в настройках регистров управления TCCR1A, TCCR1B происходит его автоматическое обнуление.

В режиме фазового ШИМ обеспечивается ШИМ с высокой разрешающей способностью. Отличительной особенностью режима является сигнал развертки с двумя пологими фронтами – нарастающим и спадающим. Счетчик непрерывно производит счет импульсов с выхода предделителя таймера от минимального до максимального значения, а затем – от максимального до минимального.

При неинвертирующем ШИМ соответствующий выход микроконтроллера (PD4 – для канала сравнения B, PD5 – для канала сравнения A таймера) очищается при совпадении уставки, записанной в регистрах сравнения OCR1A, OCR1B, с величиной сигнала развертки, формируемой в регистре TCNT1 при счете от минимального до максимального значения и устанавливается при счете от максимального до минимального значения. В случае инвертирующего ШИМ логика переключения вывода микроконтроллера инверсная.

Фазовый ШИМ, реализованный на таймере T1 чрезвычайно полезен при практическом применении микроконтроллера в качестве устройства для управления, например, транзисторными преобразователями напряжения, когда необходимо тщательно выдерживать паузу между выключением одного сигнала и включением другого.

Канал сравнения A таймера инициализируется на неинвертирующий режим ШИМ, а канал сравнения B – на инвертирующий. В этом случае выходы OC1A OC1B микроконтроллера будут работать в противофазе. Для реализации паузы ΔB регистры сравнения OCR1A и OCR1B необходимо занести уставки срабатывания, отличающиеся друг от друга на небольшую величину, соответствующую требуемой временной задержке

Разновидностью фазового ШИМ является частотно-фазовый ШИМ. Отличие от фазового ШИМ в этом режиме заключается в моменте обновления регистров сравнения OCR1A и OCR1B. Если в режиме фазового ШИМ обновление

					270304.2017.282 ПЗ	Лис
						44
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дата		

регистров происходит при достижении счетным регистром TCNT1 максимального значения, то при использовании частотно-фазового ШИМ обновление регистров происходит при достижении счетным регистром минимального значения. Это позволяет получить в пределах периода T ШИМ одинаковые по длительности участки включенного или выключенного состояния выходов OC1A, OC1B микроконтроллера $t1=t3$.

Для управления режимами работы таймера используются регистры управления TCCR1A, TCCR1B.

Регистр управления TCCR1A состоит из управляющих бит.

Биты 7 и 6 COM1A1 и COM1A0. В режиме ШИМ эти биты служат для управления выводом OC1A микроконтроллера (PD5). Комбинацией управляющих бит можно либо отключить вывод от таймера, либо инициализировать инвертирующий или неинвертирующий режим ШИМ.

Биты 5 и 4 COM1B1 и COM1B0. Назначение этих бит аналогично вышеописанному для бит COM1A1, COM1A0. В режиме COM1B1=0, COM1B0=1 вывод отключен от таймера.

Биты 3 и 2 FOC1A и FOC1B. Эти биты действуют только в обычном режиме работы при подсчете временных интервалов. При записи в них логической «1» происходит срабатывание прерывания по совпадению соответствующего канала таймера и изменение выводов таймера OC1A и OC1B в соответствии с настройками бит COM1A1:COM1A0, COM1B1:COM1B0.

Биты 1 и 0 WGM11, WGM10. Эти биты определяют режим работы таймера вместе с управляющими битами регистра TCCR1B.

Регистр управления TCCR1B состоит из управляющих бит

Бит 7 – ICNC1. Этот бит включает функцию фильтрации внешнего сигнала, поступающего на вывод PB1 микроконтроллера, когда таймер используется в качестве счетчика. Установка бита увеличивает надежность работы таймера. При активации этого бита между подачей сигнала на вывод PB1 и срабатыванием схемы счета проходит 4 периода тактовой частоты.

					270304.2017.282 ПЗ	Лис
						45
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дата		

Бит 6 – ICES1. Этот бит определяет активный фронт сигнала на входе PB1.

При ICES1=0 таймер срабатывает по спадающему фронту сигнала, иначе – по нарастающему фронту.

Бит 5. Зарезервирован и не используется.

Биты 4 и 3 – WGM13, WGM12. Эти биты вместе с битами WGM11, WGM 10 регистра TCCR1A определяют режим работы таймера

Биты 3...0 CS12...CS10. Эти биты определяют источник задания частоты таймера T1 и предделитель таймера.

В режиме широтно-импульсной модуляции нет необходимости инициализировать прерывания по совпадению или переполнению таймера T1.

Пример. Перевести таймер T1 в режим 10-битного ШИМ и управлять скоростью вращения электродвигателя постоянного тока модуля «Микроконтроллер».

Предусмотреть 8 скоростей вращения электродвигателя, сигнал задания задавать дискретно с помощью тумблеров, подключенных к порту ввода/вывода А.

Организовать предустановленные скорости необходимо в виде таблицы, хранящейся во FLASH-памяти контроллера.

//-----

;Программа для управления электродвигателем постоянного тока.

;Входы:

;PA0...PA2 – дискретные сигналы задания скорости

;Выходы:PD5 – ШИМ-сигнал на выходе микроконтроллера

.include"m8535def.inc" ;подключение стандартной библиотеки Atmega8535

.cseg ;начало сегмента кода

.org\$0 ;По адресу 0

rjmp reset;осуществляется переход на метку reset

.org\$100;По адресу 100

									Лис
									46
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дата	270304.2017.282 ПЗ				

.db 0x00, 0x7F, 0x00, 0xFE, 0x01, 0x7D, 0x01, 0xFC, 0x02, 0x7B, 0x02, 0xFA,
0x03, 0x79, 0x03, 0xF8;осуществляется запись скоростей

;электродвигателя. Каждая скорость

;занимает 2 байта памяти.

reset:;По метке reset происходит:

ldi r16,low(RAMEND);Запись адреса вершины стека

ldi r17,high(RAMEND);В конце памяти данных

out spl,r16

out sph,r17

ldi r16,0x00;Инициализация портов ввода/вывода

out DDRA,r16;Порт А – на ввод информации

ldi r16,0xFF

out PORTA,r16

out DDRD,r16;Порт D – на вывод информации.

clr r16

out OCR1AH,r16

out OCR1AL,r16

out TCNT1H,r16

out TCNT1L,r16

ldi r16,0xC3

out TCCR1A,r16

ldi r16,0x1A

out TCCR1B,r16 ;Установка в таймере Т1 быстрого ШИМ

;в 10-битном режиме.

main:;по метке main

in r18,PINA;происходит считывание данных, поступающих на

andi r18,0x07;порт А и выделение 3-х младших бит

lsl r18;и формирование в соответствии с комбинацией

					270304.2017.282 ПЗ	Лис 47
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дата		

```

mov r30,r18;этих бит адреса FLASH для считывания данных.
ldi r31,0x02;Передача адреса FLASH в Z-регистр контроллера
lpm r17,Z+;Считывание старшего байта данных из FLASH
lpm r16,Z;Считывание младшего байта данных из FLASH
out OCR1AH,r17;Передача считанных данных в регистр сравнения
out OCR1AL,r16;канала А таймера T1
rjmp main;Возврат на метку main
//-----

```

					270304.2017.282 ПЗ	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дата		48

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения работы были проанализированы проводящиеся на базовой кафедре техники и технологии лабораторные работы по микроконтроллерной технике а так же сами стенды на предмет использования их в проведении занятий по смежным предметам. В результате анализа было предположено, что связка контроллер – ДПТ представляет собой почти полную систему автоматического регулирования скорости вращения вала или угла поворота. Проводить занятия на стендах по теории управления можно при добавлении цифрового чувствительного элемента и замыкании обратной связи через микроконтроллер.

На основании дальнейшего обзора способов измерения углов и скоростей поворота вала было предложено использовать оптопары как простейшие импульсные датчики скорости вращения вала и энкодеры для измерения угла поворота.

Формировать управляющий сигнал на ДПТ было предложено с помощью ШИМ. Этот способ очень легко реализуется на микроконтроллерах. К тому же период сигнала широтно-импульсного преобразователя гораздо меньше электромеханической постоянной ДПТ, что позволяет учитывать импульсную обратную связь как линейную [1].

Дальнейшее изучение опыта использования микроконтроллеров в простых и недорогих решениях с регулированием или управлением величин различных объектов привело к рассмотрению идеи **Arduino** – торговой марки аппаратно-программных средств для построения простых систем автоматике и робототехники, ориентированной на непрофессиональных пользователей. Реализации этого проекта наглядно демонстрируют возможности создания полноценных систем регулирования и управления на основе очень скромного бюджета. Идея недорогой модернизации, приводящей к расширению возможностей лабораторного стенда была принята в качестве опорной при дальнейшем проектировании.

					270304.2017.282 ПЗ	Лис
						49
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дата		

Предварительно выбранные чувствительные элементы рассматривались далее с точки зрения применимости их для реализации звеньев, обладающих заранее известной точностью. Было проведено сравнение энкодеров в целях упрощения выбора элементной базы проекта. Предложены формулы для расчёта чувствительности и точности выбранных чувствительных элементов, которые могут быть в дальнейшем включены в описание лабораторных работ.

Анализ применяемых на сегодняшний день законов регулирования, реализованных на микроконтроллерах, показал широкий спектр возможностей реализации цифро-импульсной обратной связи. В целях создания конечного продукта – методического описания к лабораторной работе, был выбран простейший закон регулирования за счёт жёсткой ООС.

Всё вышеизложенное вылилось в рекомендации по созданию отдельного модуля для модернизации стенда и макета методического пособия к лабораторной работе по реализации жёсткой обратной связи по скорости вращения вала двигателя.

Таким образом, поэтапное решение поставленных задач позволило утверждать, что стенды по микроконтроллерной технике нуждаются лишь в минимальной модернизации для дальнейшего их использования в занятиях по теории управления.

					270304.2017.282 ПЗ	Лис
						50
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дата		

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 Солодовников, В.В. Теория автоматического управления техническими системами / В.В. Солодовников. – М.: МГТУ, 1993. – 492 с.

2 Тиль, Р. Электрические измерения неэлектрических величин / Р. Тиль. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 192 с.: ил.

3 Сопряжение датчиков и устройств ввода данных с компьютером IBM PC: Перевод с английского / под редакцией У. Томкинса и Дж. Уэбстера. – М.: Мир, 1992. – 592 с.: ил.

4 http://www.platan.ru/library/bourns_ems22_brochure_rus.pdf

5 Сташин, В.В. Проектирование цифровых устройств на однокристалльных микроконтроллерах / В.В. Сташин. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 224 с.

6 Александров, А.Г. Оптимальные и адаптивные системы / А.Г. Александров. – М.: Высш.шк., 1989. – 263 с.

7 Бесекерский, В.А. Теория систем автоматического регулирования / В.А. Бесекерский, Е.П. Попов. – М.:Физматгиз, 1975. – 768 с.

8 Сборник задач по теории автоматического регулирования и управления / под ред. В.А. Бесекерского. – М.: Наука, 1978. – 512 с.

9 Генов, А. Бортовые цифровые платформы / А. Генов // Broadcasting, 2002. – № 3.

10 Громкович, Ю. Теретическая информатика. Введение в теорию автоматов, теорию вычислимости, теорию сложности / Ю. Громкович. – М.: BNV, 2010. – 336 с.

11 Заботина, Н.Н. Проектирование информационных систем: учебное пособие / Н.Н. Заботина. – М.: ИНФРА-М, 2011. – 331 с.

12 Каляев, А.В. Однородные управляющие структуры адаптивных роботов / А.В. Каляев и др. – М.: Наука, 1990. – 147 с.

13 Колесов, Ю.Б. Моделирование систем. Практикум по компьютерному моделированию: учебное пособие / Ю.Б. Колесов, Ю.Б. Сениченков. – М.: ВHV, 2007. – 352 с.

					270304.2017.282 ПЗ	Лис
						51
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дата		

14 Лурье, Б.Я. Классические методы автоматического управления: учебное пособие / Б.Я. Лурье, П.Дж. Энрайт. – М.: ВНУ, 2004. – 640 с.

15 Лычкина, Н.Н. Современные тенденции в имитационном моделировании / Н.Н. Лычкина // Вестник университета, серия Информационные системы управления. – М.: ГУУ, 2000. – № 2.

16 Макконнелл, С. Совершенный код. Практическое руководство по разработке ПО / С. Макконнелл. – М.: ВНУ, 2011. – 896 с.

17 Огастин, Л. Разработка программных проектов / Л. Огастин, К. Лоу, Д. Мадхар. – М.: Бином, 2011. – 256 с.

18 Пилон, Д. Управление разработкой ПО / Д. Пилон, Р. Майлз; пер. с англ. Н. Шрага. – СПб.: Питер, 2011. – 484 с.

19 Ту, Ю.Т. Цифровые и импульсные системы автоматического управления / Ю.Т. Ту. – М.: Машиностроение, 1964. – 703 с.

20 Яшин, В.Н. Информатика. Аппаратные средства персонального компьютера / В.Н. Яшин. – М.: Кнорус, 2010. – 254 с.

					270304.2017.282 ПЗ	Лис
						52
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дата		