



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
ЛУГАНСКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ

ГОУ ВПО ЛНР «ЛУГАНСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ ВЛАДИМИРА ДАЛЯ»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению курсового проекта
по дисциплине
"МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ В
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ", ЧАСТЬ 2

Луганск 2017

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
ЛУГАНСКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ
ГОУ ВПО ЛНР «ЛУГАНСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ ВЛАДИМИРА ДАЛЯ»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению курсового проекта
по дисциплине «МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ В
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ», ЧАСТЬ 2

(для студентов, обучающихся по направлению
«Электроэнергетика и электротехника»,
профиль – «Электроснабжение»)

УТВЕРЖДЕНО
на заседании кафедры
электротехнических систем
электропотребления
Протокол № 91 от 12.09.2017 г.

Луганск 2017

УДК 621.382.

Методические указания к выполнению курсового проекта по дисциплине «Микропроцессорные системы управления в электроэнергетике», часть 2 (для студентов, обучающихся по направлению «Электроэнергетика и электротехника», профиль – «Электроснабжение») / Составил: Д.В. Половинка; – Луганск: Изд-во Луганского национального университета им. В. Даля, 2017. – 65 с.

Приведены материалы к выполнению курсового проекта по дисциплине "Микропроцессорные системы управления в электроэнергетике". Методические указания содержат необходимые сведения для теоретического освоения материалов необходимых для разработки микропроцессорных систем в электроэнергетике, релейной защите и автоматике.

Предназначены для студентов вузов, изучающих дисциплины «Микропроцессорные системы управления в электроэнергетике» и «Микропроцессорные системы релейной защиты и автоматики». Могут быть полезны студентам высших и средних специальных учебных заведений при изучении устройств автоматики и управления энергосистемами, релейной защиты, управления электрическими машинами в курсе электроники, электропривода и др.

Составители:

Д. В. Половинка, доц.

Отв. за выпуск

Д. В. Половинка, доц.

Рецензент

В. В. Яковенко, проф.

5. РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ И ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ СХЕМ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТОМ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ

5.1. Разработка функциональной схемы системы управления объектом электропотребления

Сначала для функциональной схемы системы управления объектом электропотребления следует определить требования к разрабатываемой системе, исходя из выбранного метода управления. Например:

На основе выбранного метода управления объектом электропотребления можно выделить ряд требований, предъявляемых к схеме управления:

- высокое быстродействие элементов схемы, которое могло бы обеспечить стабильную работу объекта (двигателя);
- простота и низкая стоимость элементов схемы;
- наличие устройств, позволяющих контролировать напряжение, ток и температуру двигателя, и визуально наблюдать за этими параметрами;
- наличие устройств автоматической регулировки скорости;
- наличие устройств защиты от заклинивания;
- наличие аналоговых защитных устройств (тепловое реле, предохранители и т.п.).

При разработке функциональной схемы системы управления объектом электропотребления необходимо определить, какие блоки должны входить в состав разрабатываемой системы и указать их назначение. Например:

Исходя из требований, предлагается в функциональную схему управления объектом электропотребления внести следующие блоки:

- блок питания;
- блок аналоговых защит;
- силовой блок;
- блок синхронизации с сетью;
- вычислительно-информационный блок;
- блок фазового управления (или ШИМ, ЧМ, ФИМ, ЧУ и т.д.).
- контрольно-измерительный блок;

Блок питания предназначен для обеспечения необходимым уровнем напряжения электронных устройств. Это стандартный блок, имеющий малые габаритные размеры и необходимую мощность.

Блок аналоговых защит предназначен для обеспечения надежной работы силовой части системы управления. Его основные функции это защита от короткого замыкания и перегрева в случае отказа в работе электронных устройств или выхода за допустимые пределы параметров электрической сети. В его состав входят предохранители и тепловое реле.

Силовой блок состоит из силовых тиристоров или симисторов, а также устройств гальванической развязки. Этот блок предназначен для непосредственного формирования уровня напряжения, определяемого блоком фазового управления, на объекте управления.

Блок синхронизации с сетью предназначен для обеспечения синхронной работы блоков фазового управления с сетью. В его состав должны входить устройство гальванической развязки, устройство формирования прямоугольных импульсов – информационных сигналов.

Вычислительно-информационный блок предназначен для обработки и индикации информации, полученной от контрольно-измерительного блока, выработка сигналов управления. В его состав входят цифровое вычислительное устройство (микропроцессор, ОЗУ, ППЗУ, устройства ввода - вывода и т.д.) и устройство индикации (ЖКИ).

Блок фазового управления предназначен для реализации фазового метода управления силовой частью системы управления в зависимости от управляющего воздействия на блок. В его состав должны входить устройство задержки импульсов в зависимости от уровня напряжения управляющего воздействия, а так же устройство формирования импульсов синхронно с сетью. Для двигателя управляющие сигналы формируются в соответствии с заданным пользователем значением.

Контрольно-измерительный блок предназначен для контроля таких параметров как температура и ток нагревателей, скорость вращения и ток двигателя, а так же передачу данной информации на вычислительно-информационный блок. В его состав входят датчики температуры, скорости вращения, напряжения и тока, вторичные преобразователи, а так же аналого-цифровой преобразователь (АЦП).

Далее необходимо описать взаимодействие блоков в системе между собой, определить их подчиненность и зависимость друг от друга. Например:

Блок питания обеспечивает низковольтным напряжением необходимого номинала вычислительно-информационный блок и контрольно-измерительный блок.

Блок аналоговых защит располагается между силовой сетью и силовым блоком, обеспечивая защиту полупроводникового преобразователя

и управляемого устройства для случаев, когда вычислительно-информационный блок или контрольно-измерительный блок вышли из строя.

Силовой блок обеспечивает преобразование маломощных и низковольтных сигналов управления от вычислительно-информационного блока в изменение формы, амплитуды и частоты питающего напряжения, чем оказывает прямое воздействие на объект управления.

Блок синхронизации с сетью обеспечивает вычислительно-информационный блок информацией о моменте перехода синусоидального напряжения через ноль. От этого момента откладывается фазовый угол α .

Вычислительно-информационный блок осуществляет управление всей системой. Собирает и обрабатывает в соответствии с записанной программой информацию о значении напряжения, тока, температуры и скорости вращения двигателя, о переходе синусоиды напряжения через ноль и.т.д. На основе собранной информации вырабатывает управляющие сигналы, поступающие на силовой блок.

Блок фазового управления предназначен для формирования заданного фазового угла α относительно момента перехода синусоидального напряжения через ноль. Этот угол задается пользователем путем ввода данных через устройства ввода/вывода (матричная клавиатура или кнопки управления, подключенные к одному из портов микроконтроллера). Поэтому блок фазового управления неразрывно связан с вычислительно-информационным блоком и фактически поглощается им.

В состав контрольно-измерительного блока входят датчики тока, напряжения, температуры, и скорости вращения. Сигналы от этих датчиков поступают на вычислительно-информационный блок. Причем практически всегда эти сигналы преобразуются вторичными преобразователями в электрические сигналы приемлемые для вычислительно-информационного блока.

После этого необходимо указать особенности блоков с учетом предположительно-выбираемых устройств.

Реализовать систему управления объектом электропотребления без использования дешевых современных микропроцессорных устройств практически невозможно. Современные микропроцессорные устройства позволяют на одном микроконтроллере частично реализовать блок фазового управления (встроенный аналоговый компаратор и соответствующие выводы портов микроконтроллера подключены к элементам оптической развязки напрямую), контрольно-измерительный

блок (встроенный АЦП) и вычислительно-информационный блок. Причем следует заметить, что к последнему блоку частично относится так же и устройство индикации, поскольку в этом блоке формируются соответствующие сигналы для ЖКИ.

В функциональной схеме блоки изображаются в виде прямоугольников, внутри которых располагается их название. В ней необходимо показать описанные связи между блоками, которые изображаются в виде прямых или изогнутых линий со стрелками, причем стрелка указывает информационное направление.

В этом случае функциональная схема управления системой управления объектом электропотребления будет выглядеть, как показано на рис. 5.1.

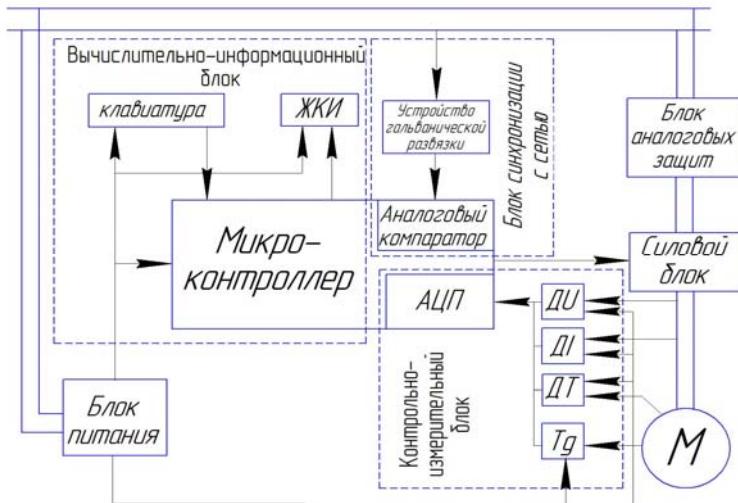


Рис. 5.1. Функциональная схема управления объектом электропотребления

5.2. Разработка принципиальной схемы системы управления объектом электропотребления

В этом разделе необходимо выбрать микроконтроллер, рассчитать датчики и функции преобразования для АЦП, выбрать ЖКИ и сформировать для него информационные сообщения, обосновать выбор устройств ввода информации (кнопки управления или матричная клавиатура), а также произвести расчет элементов гальванической развязки.

5.2.1. Выбор микроконтроллера

Учитывая тот факт, что придется использовать микропроцессорное устройство необходимо произвести анализ современных микропроцессорных устройств (**МПУ**), а именно микроконтроллеров, способных реализовать поставленную задачу.

При выборе микроконтроллера системы управления объектом электропотребления необходимо определить минимальные параметры микроконтроллера.

Определим параметры микроконтроллера исходя из функциональной схемы:

- программируемая память **Flash** не менее 2 кбайт;
- высокое быстродействие;
- наличие прерываний от внешних источников;
- наличие встроенного аналого-цифрового преобразователя с тремя каналами для оцифровки;
- не менее двух портов ввода вывода;
- наличие аналогового компаратора;
- низкая стоимость.

В соответствии с вариантом задания выбрать по прил. 2 для анализа пяти микроконтроллеров. Их основные параметры занести в таблицу и сравнить между собой применительно к поставленной задаче.

В табл. 5.1 приведены основные параметры наиболее часто используемых микроконтроллеров различных производителей. Для анализа были выбраны следующие микроконтроллеры:

- **ATTiny2313** (производитель фирма *Atmel*);
- **ATMega16** (производитель фирма *Atmel*);
- **ATMega103 (ATMega603)** (производитель фирма *Atmel*);
- **PIC16C926** (производитель фирма *Microchip*);
- **PIC18C452** (производитель фирма *Microchip*).

Как видно из табл. 5.1, встроенным **АЦП** обладают все указанные в ней микроконтроллеры кроме **ATTiny2313**. Поэтому при использовании **ATTiny2313** необходимо к нему подключить **АЦП**, а это в свою очередь заберет один из векторов внешнего прерывания. Кроме этого данный микроконтроллер оснащен всего лишь двумя портами, причем один из них семиразрядный.

Иная ситуация с микроконтроллером **ATMega16**, здесь уже имеется встроенный 8-канальный 10-разрядный **АЦП** и аналоговый компаратор и зарезервированные под них вектора прерываний. Данный микроконтроллер

имеет четыре порта ввода-вывода, причем один порт используется для АЦП. Оставшихся трех портов достаточно для подключения к контроллеру остальных устройств.

Табл. 5.1.

Основные технические параметры наиболее часто применяемых микроконтроллеров

Параметр микросхемы	ATTiny2313	ATMega16	ATMega103	PIC16C926	PIC18C452
Предельная тактовая частота, МГц	20	8	6	8	40
Производительность, MIPS	20	8	6	2	10
Объем программного ПЗУ, Кб	2	16	128	32	14
Объем ЭСППЗУ данных, байт	128	1К	4К	Нет	Нет
Объем СОЗУ, байт	512	1К	4К	336	1536
Разрядность АЦП	Нет	10	10	10	10
Количество каналов для АЦП	-	8	8	5	8
Режимы пониженного энергопотребления	есть	есть	есть	есть	есть
Число тактов необходимое для выполнения одной команды (в среднем)	1	1	1	4	4
Количество двухнаправленных портов (однонаправленных)	2(0)	4(0)	5(1)	5(1*)	4(1**)
Тип корпуса	TQFP, PDIP, PLCC	TQFP, PDIP, PLCC	TQFP	TQFP, PDIP, PLCC	TQFP, PDIP, PLCC

* – пятиразрядный порт подключения АЦП.

** – трехразрядный порт подключения АЦП.

Для микроконтроллера **PIC16C926** характерно наличие пяти портов, позволяющих подключить индикатор и устройство ввода, а так же использовать один порт для управления двигателем. Один порт (5-разрядный) используется как входы АЦП для аналоговых сигналов и

опорного напряжения. Имеется так же аналоговый компаратор. Два порта остаётся не задействованными.

Микроконтроллер **PIC18C452** имеет программируемую память 14 Кб, этого более чем достаточно, встроенный АЦП использует трехразрядный и восьмиразрядный порт как входы АЦП для аналоговых сигналов и опорного напряжения. Кроме этого имеется встроенный аналоговый компаратор. Поэтому для подключения индикатора и устройства ввода, а так же для управления двигателем используется четыре порта.

Микроконтроллер **ATMega103** имеет почти в 64 раза большие объем программируемого ПЗУ чем у **ATTiny2313**. Здесь уже имеется встроенный 8-канальный 10-разрядный АЦП и аналоговый компаратор и зарезервированные под них вектора прерываний. Встроенный АЦП использует выводы одного порта для приема аналоговых сигналов. Кроме этого в **ATMega103** при преобразовании АЦП используется технология шумоподавления, как и в остальных AVR-микроконтроллерах фирмы **ATMEL**, которая обеспечивает надежную работу АЦП. Данный микроконтроллер имеет пять двухнаправленных портов ввода-вывода, причем один порт используется для АЦП. Оставшихся четырех портов более чем достаточно для подключения к контроллеру остальных периферийных устройств.

Как видно из табл. 5.1., наибольшую предельную тактовую частоту имеют микроконтроллеры **PIC18C452** и **ATTiny2313**, однако, одна команда в них выполняется за 4 и 1 такт соответственно. Поэтому необходимо сравнивать не тактовые частоты, а производительность микроконтроллеров, которая показывает частоту выполнения команд.

Сравнивая производительность микроконтроллеров можно сказать, что предельная частота выполнения команд **PIC18C452** и **ATTiny2313** будет составлять 10 MIPS и 20 MIPS, а для контроллеров фирмы **ATMEL** она равна тактовой частоте – 6 или 8 MIPS соответственно. **PIC18C452** имеет лучшую производительность относительно **ATMega16** и **ATmega103**, однако, из-за высокой цены **PIC18C452** и **ATmega103**, необходимо отказаться от их использования.

Проанализировав, вышеуказанные микроконтроллеры можно сделать вывод, что наиболее приемлемым вариантом является микроконтроллер **ATMega16**, так как для него не нужны дополнительные устройства и его цена достаточно низкая.

Ниже приведены основные характеристики и описание микроконтроллера **ATMega16**, на рис. 5.2. представлена его архитектура.

ATMega16 – это 8-разрядные КМОП RISC микроконтроллеры с внутрисистемно программируемым Flash ПЗУ

Отличительные особенности:

- AVR RISC архитектура - архитектура высокой производительности и малого потребления.
 - 121 команд, большинство которых выполняется за один машинный цикл
 - 16 Кбайт Flash ПЗУ программ, с возможностью внутрисистемного перепрограммирования и загрузки через SPI последовательный канал, 1000 циклов стирание/запись.
 - 1024 байт ЭСППЗУ данных, с возможностью внутрисистемного перепрограммирования и загрузки через SPI последовательный канал, 100000 циклов стирание/запись.
 - 1024 байтов встроенного СОЗУ.
 - 32 x 8 бит регистра общего назначения.
 - 32 программируемые линии ввода/вывода.
 - 8-канальный 10-разрядный аналого-цифровой преобразователь.
 - 16-разрядный и 32-разрядный формат команд.
 - Программируемый полный дуплексный UART.
 - Диапазон напряжений питания от 2,7 В до 6,0 В (ATMega16L) и от 4,0 В до 6,0 В (ATMega16).
 - Полностью статический прибор – работает при тактовой частоте от 0 Гц до 8 МГц (ATMega16) и при тактовой частоте от 0 Гц до 4 МГц (ATMega16L).
 - Производительность до 8 MIPS при частоте 8 МГц.
 - Два 8-разрядных таймера/счетчика с отдельным предделителем и режимом сравнения.
 - 16-разрядный (с режимами сравнения и захвата) таймер/счетчик с отдельным предделителем.
 - Три ШИМ канала.
 - Внешние и внутренние источники сигналов прерывания.
 - Программируемый сторожевой таймер с собственным встроенным генератором.
 - Встроенный аналоговый компаратор.
 - Встроенные часы реального времени с собственным встроенным генератором и режимом счетчика.
 - Блокировка режима программирования.
 - Режимы энергосбережения: пассивный (idle), экономичный (power save) и пониженного энергопотребления (power down).
 - Встроенная схема сброса по подаче питания.

- Промышленный (-40°C...85°C) и коммерческий (0°C...70°C) диапазоны температур.
- 40-выводной корпус PDIP и 44-выводные PLCC и TQFP (рис. 5.3).

КМОП микроконтроллеры ATMega16 реализованы по AVR-RISC архитектуре (Гарвардская архитектура с раздельной памятью и раздельными шинами для памяти программ и данных). Выполняя команды за один тактовый цикл, приборы обеспечивают производительность, приближающуюся к 1 MIPS/МГц. AVR ядро объединяет мощную систему команд с 32 8-разрядными регистрами общего назначения и конвейерное обращение к памяти программ. Шесть из 32 регистров могут использоваться как три 16-разрядных регистра-указателя при косвенной адресации пространства памяти. Выполнение относительных переходов и команд вызова реализуется с прямой адресацией всего объема (16К) адресного пространства. Адреса периферийных функций содержатся в пространстве памяти ввода/вывода. Архитектура эффективно поддерживает как языки высокого уровня, так и программы на языке ассемблер.

Микроконтроллеры ATMega16 содержат: 16 Кбайт внутрисистемно программируемого Flash ПЗУ (16Kx16), 1024 байтов СОЗУ и 1024 байтов внутрисистемно программируемого ЭСППЗУ (микроконтроллеры), 32 линии ввода/вывода общего назначения, 32 регистра общего назначения, два 8-разрядных таймера/счетчика и один 16-разрядный таймер/счетчик с режимом захвата и сравнения, часы реального времени, 8-канальный 10-разрядный аналого-цифровой преобразователь, систему внутренних и внешних прерываний, программируемый последовательный UART, программируемый сторожевой таймер с внутренним генератором, последовательный порт с интерфейсом SPI для внутрисистемной загрузки и для связи с внешними устройствами. Программно управляются три режима энергосбережения. В пассивном режиме (idle) ЦПУ останавливается, но СОЗУ, таймеры/счетчики, порт SPI, сторожевой таймер и система прерываний остаются активными. В режиме пониженного энергопотребления (power down) останавливается тактовый генератор и, следовательно, останавливаются все функции, пока не поступит сигнал внешнего прерывания или аппаратного сброса, но сохраняется содержимое регистров. В экономичном режиме (power save), при остановленном микроконтроллере, продолжает работать генератор таймера, что обеспечивает сохранность временной базы.

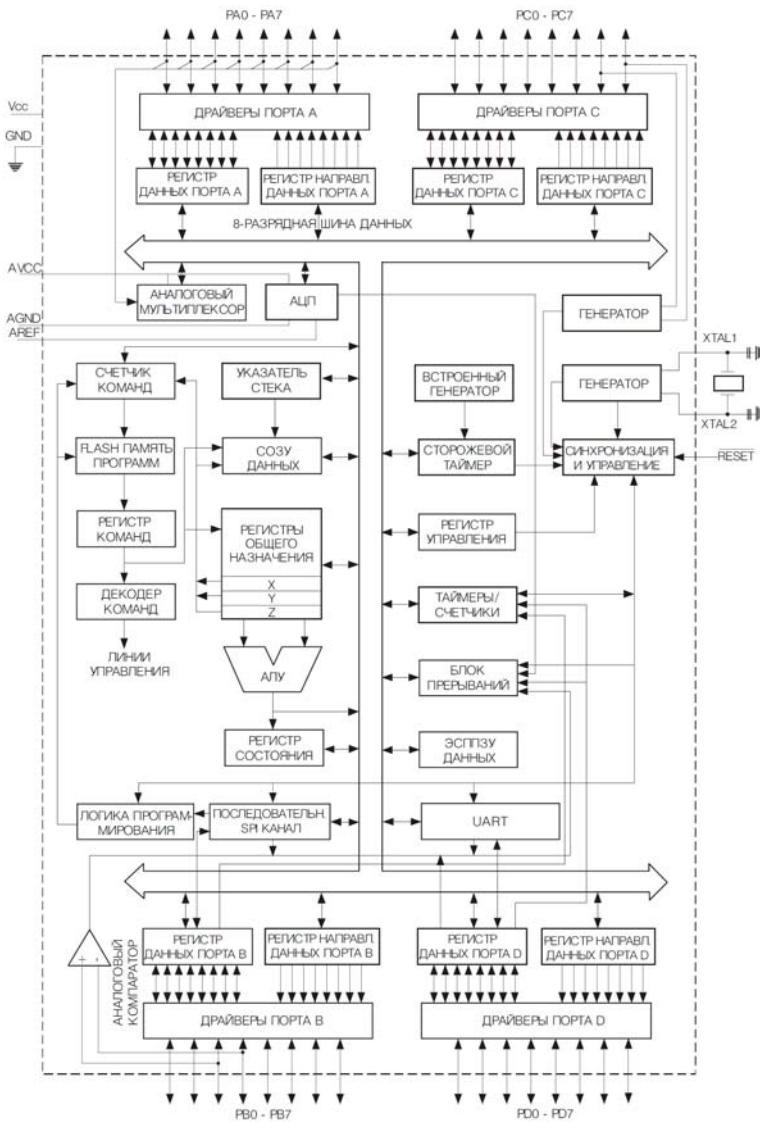


Рис. 5.2. Архитектура микроконтроллера ATmega16

Встроенные Flash память программ и ЭСППЗУ данных могут перепрограммироваться непосредственно в системе посредством интерфейса SPI (в последовательном низковольтном режиме) или программируются стандартными программаторами энергонезависимой памяти (в 12-вольтном параллельном режиме). Программирование микроконтроллеров ведется побайтово.

Максимальное потребление приборов в активном режиме составляет 3,0 мА и в пассивном режиме 1,2 мА (при $V_{CC} = 3$ В и $f = 8$ МГц). В режиме пониженного энергопотребления, при работающем сторожевом таймере, микроконтроллер потребляет 15 мкА.

Объединение на одном кристалле усовершенствованного 8-разрядного RISC ЦПУ с загружаемым Flash ПЗУ позволило создать мощный микроконтроллер, обеспечивающий высокую гибкость и экономичность в его использовании в качестве встраиваемого МК.

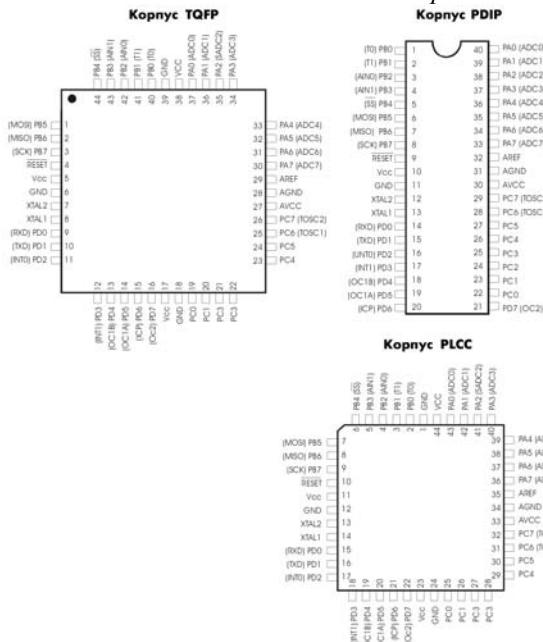
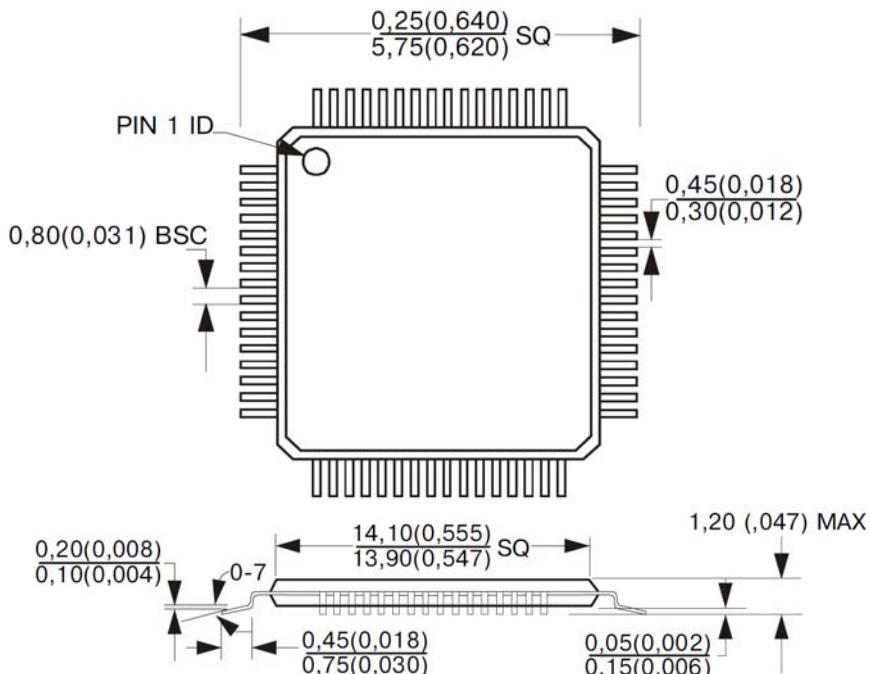


Рис. 5.3. Типы корпусов микроконтроллера ATMegal6.



*Размеры в миллиметрах и (дюймах)

Рис. 5.4. Габаритные размеры корпуса TQFP микроконтроллера ATmega103.

Следует заметить, что установочные размеры для корпуса TQFP микроконтроллера ATmega103 и ATmega16 совпадают, а отличаются только количеством выводов.

5.2.2. Выбор и расчет датчиков

Датчики напряжения, тока, скорости вращения и температуры должны выбираться исходя из рассчитанных параметров двигателя.

5.2.2.1. Расчет датчика напряжения

Зная величину действующего напряжения, например $U = 220\text{ В}$, необходимо определить диапазон и погрешность измерений, рассчитать мощность трансформатора, его коэффициент трансформации исходя из параметров встроенного в AVR-микроконтроллер АЦП.

1. Определим максимальное значение измеряемого напряжения $U_{max\ 1}$ при возможном перенапряжении в 30%:

$$U_{max\ 1} = \sqrt{2} \cdot U \cdot k_U = \sqrt{2} \cdot 220 \cdot 1,3 = 404,47 \text{ В}$$

где k_U – это коэффициент перенапряжения: $k_U = \frac{100\% + 30\%}{100\%} = 1,3$.

Диапазон напряжений, который необходимо контролировать, составляет от 0 В до 404,47 В.

2. Выбираем в качестве датчика напряжения трансформатор напряжения, который понижает максимальное значение на первичной обмотке $U_{max\ 1} = 404,47 \text{ В}$ до максимального значения напряжения на вторичной обмотке, которое способен измерить АЦП, например, $U_{max\ 2} = U_{AREF} = 5 \text{ В}$, где U_{AREF} – это опорное напряжение для АЦП.

3. Определим коэффициент трансформации:

$$k_{TP} = \frac{U_{max\ 1}}{U_{max\ 2}} = \frac{404,47}{5} = 80,89$$

4. Определим действующие значения напряжений:

$$-\text{первичной обмотки } U_1 = \frac{U_{max\ 1}}{\sqrt{2}} = \frac{404,47}{\sqrt{2}} = 286,0 \text{ В}$$

$$-\text{вторичной обмотки } U_2 = \frac{U_{max\ 2}}{\sqrt{2}} = \frac{5}{\sqrt{2}} = 3,54 \text{ В}$$

5. Определим максимально допустимый ток вторичной обмотки трансформатора при входном сопротивлении АЦП $R_{AЦП} = 10 \text{ кОм}$:

$$I_{max\ 2} = \frac{U_{max\ 2}}{R_{max\ 2}} = \frac{5}{10 \cdot 10^3} = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ А}$$

6. По значениям тока и напряжения на вторичной обмотке определим полную мощность трансформатора:

$$S_{max\ 2} = U_{max\ 2} \cdot I_{max\ 2} = 5 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ Вт}$$

7. Выбираем понижающий трансформатор серии ОСМ1-0,4 со следующими параметрами:

Параметр	Расчетный	условие	ОСМ1-0,4
$U_1, В$	286	\leq	380
$U_2, В$	3,54	\leq	5
k_{TP}	80,89	$>$	76
$I_{max\ 2}, мА$	0,5	\leq	80000
$S_{max\ 2}, мВт$	2,5	\leq	400000
U^*_2 при $U_1 = 286$	-	-	3,76

U^*_2 – данный параметр вычисляется с использованием коэффициента трансформации выбранного трансформатора: $U^*_2 = \frac{U_1}{k_{TP}} = \frac{286}{76} = 3,76 В$.

8. Вторичное действующее напряжение получается чуть больше заданного, поэтому в выходную цепь устанавливают резистивный делитель (подстроечный резистор), который согласовывает значения напряжений. При мощности резистора 0,25 Вт (иногда можно брать 0,125 Вт – производители импортных деталей) суммарное сопротивление подстроечных резисторов может составлять не более:

$$R_{подстр} = \frac{U_2}{I_2} = \frac{5}{80} = 0,0625 \text{ Ом}$$

Этот параметр значительно меньше, чем входное сопротивление АЦП $R_{AЦП}$, соответственно можно выбрать $R_{подстр}$ от 0,0625 Ом до значения, сравнимого с $R_{AЦП}$, которое не должно превышать 10% от номинального значения:

$$R^*_{подстр} = R_{AЦП} \cdot 10\% = 10 \cdot 10^3 \cdot 0,1 = 10^3 \text{ Ом} = 1 кОм$$

9. На основании изложенного получаем схему подключения измерительного трансформатора напряжения к однофазной цепи, представленной на рис. 5.5. С вторичной обмотки трансформатора Тр2 напряжение подается на выпрямительный диод VD2(1N4007). Пульсирующее напряжение с катода VD2 сглаживается подсоединененным конденсатором C2 (10μF).

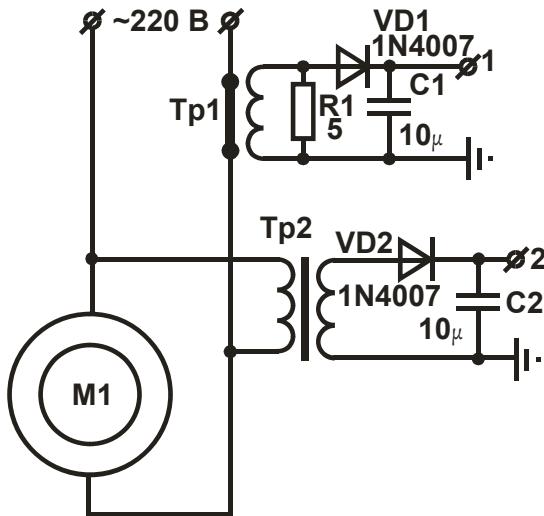


Рис. 5.5. Схема подключения датчиков тока и напряжения к цепи однофазного асинхронного двигателя

5.2.2.2. Расчет датчика тока

Зная величину действующего тока, например $I = 55 \text{ A}$, необходимо определить диапазон и погрешность измерений, рассчитать мощность трансформатора, его коэффициент трансформации исходя из параметров встроенного в AVR-микроконтроллер АЦП.

1. Определим максимальное значение измеряемого тока I_{max1} при возможном перенапряжении в 30%:

$$I_{max1} = \sqrt{2} \cdot I \cdot k_I = \sqrt{2} \cdot 55 \cdot 1,3 = 101,12 \text{ A}$$

где k_I – это коэффициент перегрузки по току: $k_I = \frac{100\% + 30\%}{100\%} = 1,3$.

Диапазон токов, который необходимо контролировать, составляет от 0 В до 101,12 A.

2. Выбираем в качестве датчика тока трансформатор тока, который повышает максимальное значение падения напряжения на первичной обмотке U_{max1} , соответствующее току $I_{max1} = 101,12 \text{ A}$ до

максимального значения напряжения на вторичной обмотке, которое способен измерить АЦП.

Поскольку практически все измерительные трансформаторы тока выпускаются со стандартным действующим значением тока на вторичной обмотке $I_2 = 5 \text{ A}$, то к вторичной обмотке подсоединяют активное сопротивление таким номиналом, чтобы получить на нем падение напряжения, например, равное $U_{max\ 2} = U_{AREF} = 5 \text{ V}$, где U_{AREF} – это опорное напряжение для АЦП. Величина этого сопротивления:

$$R_I = \frac{U_{max\ 2}}{I_{max\ 2}} = \frac{5}{7,07} = 0,707 \text{ Ohm};$$

где $I_{max\ 2}$ – амплитудное значение вторичной обмотки:

$$I_{max\ 2} = \sqrt{2} \cdot I_2 = \sqrt{2} \cdot 5 = 7,07 \text{ A}.$$

3. Определим требуемый коэффициент трансформации:

$$k_{TP} = \frac{I_{max\ 1}}{I_{max\ 2}} = \frac{101,12}{\sqrt{2} \cdot 5} = 14,3.$$

4. Определим действующее значение тока первичной обмотки:

$$I_1 = \frac{I_{max\ 1}}{\sqrt{2}} = \frac{101,12}{\sqrt{2}} = 71,50 \text{ A}.$$

5. По значениям тока и напряжения на вторичной обмотке определим значение полной мощности трансформатора тока с коэффициентом мощности $\cos \varphi = 0,8$:

$$S_{max\ 2} = U_{max\ 2} \cdot I_{max\ 2} = 5 \cdot 5 = 25 \text{ VA}.$$

6. Определим допустимую вторичную нагрузку трансформатора при мощности $S_{max\ 2} = 25 \text{ VA}$, т.е. полное сопротивление его внешней вторичной цепи:

$$Z_{max\ 2} = \frac{S_{max\ 2}}{I_{max\ 2}^2} = \frac{25}{5 \cdot 5} = 1 \text{ Ohm}.$$

7. Выбираем измерительный трансформатор тока серии ТТИ-А 75/5A со следующими параметрами:

Параметр	Расчетный	условие	ТТИ-А 75/5А
I_1, A	71,5	\leq	75
I_2, A	5	\leq	5
k_{TP}	14,3	\leq	15
$U_{max\ 1}, В$	404,47	\leq	660
$U_{max\ 2}, мВт$	5	\leq	5
$S_{max\ 2}, ВА$	25	\geq	5
$Z_{max\ 2}, Ом$	1	\leq	1

8. Как видно из таблицы параметров трансформатора тока ТТИ-А 75/5А, значение полной мощности трансформатора тока оказалось меньше требуемого значения. Это приведет к тому, что для протекания тока 5 А следует уменьшить значение $Z_{max\ 2}$:

$$Z^{*}_{max\ 2} = \frac{S^{*}_{max\ 2}}{I_{max\ 2}^2} = \frac{5}{5 \cdot 5} = 0,2 \text{ Ом}.$$

Тогда вторичное напряжение на нагрузке составит:

$$U_2 = I_{max\ 2} \cdot Z^{*}_{max\ 2} = 5 \cdot 0,2 = 1 В.$$

Поскольку этого значения напряжения недостаточно для точной оцифровки АЦП, то целесообразно уменьшить ток, увеличив сопротивление $Z_{max\ 2}$ так, чтобы $U_2 = 5 В$. При этом вторичный ток определиться как:

$$I^{*}_{max\ 2} = \frac{S^{*}_{max\ 2}}{U_2} = \frac{5}{5} = 1 А;$$

а значение $Z_{max\ 2}$:

$$Z^{*}_{max\ 2} = \frac{S^{*}_{max\ 2}}{I_{max\ 2}^2} = \frac{5}{1 \cdot 1} = 5 \text{ Ом}$$

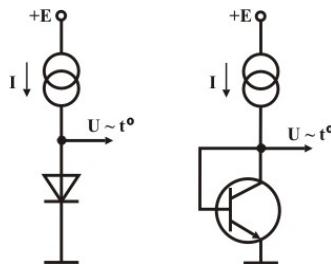
9. На основании изложенного получаем схему подключения измерительного трансформатора напряжения к однофазной цепи, представленной на рис. 5.5. С вторичной обмотки трансформатора Тр1 напряжение подается на параллельно подсоединенное сопротивление $R1(5 \text{ Ом})$ и выпрямительный диод $VD1(1N4007)$. Пульсирующее напряжение с катода $VD1$ сглаживается подсоединененным конденсатором $C1 (10\mu F)$.

5.2.2.3. Выбор датчика температуры

Полупроводниковые датчики температуры предназначены для измерения температуры от -55° до 150°C . В этот диапазон попадает огромное количество задач, как в бытовых, так и в промышленных приложениях. Благодаря высоким характеристикам, простоте применения и низкой стоимости полупроводниковые датчики температуры оказываются очень привлекательными для применения в микропроцессорных устройствах измерения и автоматики.

5.2.2.3.1. Принцип работы

Физический принцип работы полупроводникового термометра основан на зависимости от температуры падения напряжения на р-п-переходе, смещенном в прямом направлении. Данная зависимость близка к линейной, что позволяет создавать датчики, не требующие сложных схем коррекции. В качестве чувствительных элементов на практике используются диоды, либо транзисторы, включенные по схеме диода. Для проведения измерений, необходимо протекание стабильного тока через чувствительный элемент. Выходным сигналом является падение напряжения на датчике.



Rис. 5.6. Полупроводниковые датчики температуры

Схемы, использующие одиночный р-п-переход, отличаются низкой точностью и большим разбросом параметров, связанных с особенностями изготовления и работы полупроводниковых приборов. Поэтому промышленность выпускает множество типов специализированных датчиков, имеющих в своей основе вышеописанный принцип, но дополнительно оснащенных цепями, устраняющими негативные особенности и значительно расширяющими функционал приборов.

5.2.2.3.2. Аналоговые полупроводниковые датчики

Простые аналоговые полупроводниковые датчики практически в чистом виде реализуют идею измерения температуры, с помощью определения падения напряжения на р-п-переходе. Для устранения всех отрицательных явлений, связанных с работой такого перехода, используется специальная схема, содержащая в своем составе два чувствительных элемента (транзистора) с различными характеристиками. Выходной сигнал формируется как разность падений напряжения на каждом чувствительном элементе. При вычитании значительно сокращаются негативные моменты. Дальнейшее повышение точности измерения осуществляется калибровкой датчика с помощью внешних цепей.

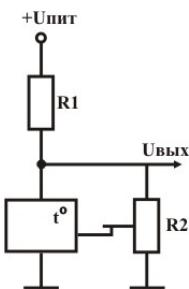


Рис. 5.7. Типовая схема включения полупроводникового термометра с коррекцией

Основной характеристикой датчика температуры является точность измерений. Для полупроводниковых моделей она колеблется от $\pm 1^{\circ}\text{C}$ до $\pm 3,5^{\circ}\text{C}$. Самые точные модели редко обеспечивают точность лучше чем $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$. При этом данный параметр сильно зависит от температуры. Как правило, в суженном диапазоне от -25° до 100°C точность в полтора раза выше, чем в полном диапазоне измерений -40°C до $+125^{\circ}\text{C}$. Большинство аналоговых датчиков температуры, иначе называемых интегральными датчиками, содержит три вывода и включается по схеме диода. Третий вывод обычно используется для целей калибровки. Выходной сигнал датчика представляет собой напряжение, пропорциональное температуре. Величина изменения напряжения различна и, например, составляет $10\text{mV}/\text{градус}$. Для точного определения значения температуры необходимо знать падение напряжения при каком-либо ее фиксированном значении.

Обычно в качестве такового используется значение начала диапазона измерений либо 0°C .

Табл. 5.2.

Примеры аналоговых датчиков температуры

Модель	Диапазон измерений	Точность	Температурный коэффициент	Производитель
LM35	от -55°C до $+150^{\circ}\text{C}$	$\pm 2^{\circ}\text{C}$	$10 \text{ mB}/^{\circ}\text{C}$	National Semiconductor
LM135	от -50°C до $+150^{\circ}\text{C}$	$\pm 1,5^{\circ}\text{C}$	$10 \text{ mB}/^{\circ}\text{C}$	National Semiconductor
LM335	от -40°C до $+100^{\circ}\text{C}$	$\pm 2^{\circ}\text{C}$	$10 \text{ mB}/^{\circ}\text{C}$	National Semiconductor
TC1047	от -40°C до $+125^{\circ}\text{C}$	$\pm 2^{\circ}\text{C}$	$10 \text{ mB}/^{\circ}\text{C}$	Microchip
TMP37	от -40°C до $+125^{\circ}\text{C}$	$\pm 2^{\circ}\text{C}$	$20 \text{ mB}/^{\circ}\text{C}$	Analog Devices

Кроме простых датчиков, производители предлагают также готовые интегральные системы терmostатирования. Подобные микросхемы, например LM56 от National Semiconductor, оснащены выходом для управления нагрузкой. Температура срабатывания выхода задается в виде заводской установки, либо с помощью навесных элементов, подключаемых к специальным входам задания. Невысокое качество регулирования, обеспечиваемое данными элементами, компенсируется их простотой использования и сверхнизкой стоимостью готовых систем управления.

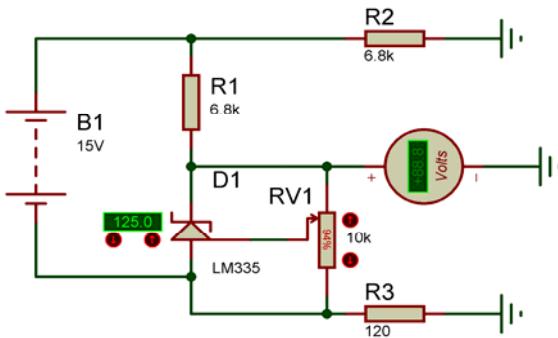


Рис. 5.7. Реализация схемы включения LM335 в программном симуляторе Proteus

5.2.2.4. Расчет и выбор датчика скорости вращения

В качестве датчиков частоты вращения в системах автоматики применяют тахогенераторы - маломощные электрические машины постоянного и переменного тока. Для преобразования частоты вращения электродвигателей в напряжение применяют тахометрические мосты.

5.2.2.4.1. Тахогенераторы постоянного тока

Тахогенераторы постоянного тока в зависимости от способа возбуждения выполняют двух типов: магнитоэлектрические (возбуждаемые от постоянных магнитов) и электромагнитные (возбуждаемые от специальной обмотки) (рис. 5.8 а, б).

Напряжение на выходе тахогенератора при постоянном потоке возбуждения

$$U_{\text{вых}} = E_a - I_a \cdot R_a = C_e \omega - I_a \cdot R_a$$

где E_a – э.д.с. обмотки якоря; I_a – ток обмотки якоря; R_a – активное сопротивление обмотки якоря; $C_e = \frac{U_a - I_a \cdot R_a}{\omega}$ – постоянная машины, определяется из паспортных данных.

На холостом ходу ($I_a = 0$) напряжение $U_{\text{вых}} = E_a = C_e \omega$. Следовательно, статическая характеристика тахогенератора $U_{\text{вых}} = f(\omega)$ на холостом ходу линейна, поскольку $C_e = \text{const}$ (прямая 1, рис. 1, в).

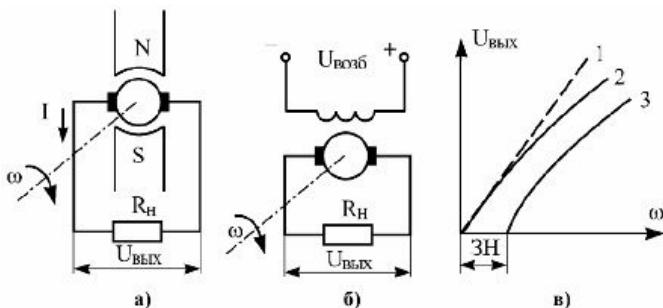


Рис. 5.8. Датчики частоты вращения (тахометрические генераторы постоянного тока): а) с возбуждением от постоянных магнитов; б) с электромагнитным возбуждением, в) статическая характеристика

При нагрузке статическая характеристика становится нелинейной (кривая 2), изменяется ее наклон, что является следствием реакции якоря и падения напряжения в обмотке якоря тахогенератора. В реальных тахогенераторах возникает падение напряжения на щетках, что приводит к появлению зоны нечувствительности (кривая 3).

Для уменьшения искажения статических характеристик тахогенераторов используют при небольших нагрузках ($I_n = 0,01..0,02 \text{ A}$).

Ток в цепи якоря $I_a = \frac{E_a}{R_a + R_h}$, а выходное напряжение

$$U_{\text{вых}} = E_a - I_a \cdot R_a = C_e \omega - I_a \cdot R_a.$$

Тахогенераторы постоянного тока широко применяются в автоматических системах регулирования электроприводов в качестве датчиков частоты вращения. Их достоинства – малая инерционность, высокая точность, малые габариты и масса, а для магнитоэлектрических тахогенераторов еще и отсутствие источника питания. Недостаток – наличие коллектора со щетками.

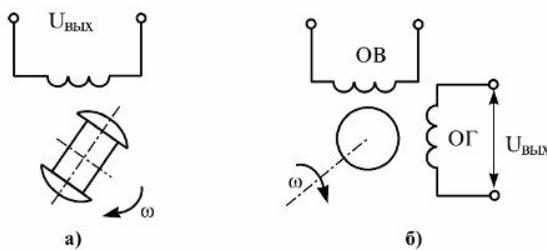


Рис. 5.9. Внешний вид тахогенератора постоянного тока

5.2.2.4.2. Тахогенераторы переменного тока

Синхронные тахогенераторы – однофазная синхронная машина с ротором в виде постоянного магнита (рис. 5.10, а). У синхронных тахогенераторов с изменением угловой скорости вместе с амплитудой изменяется и частота выходного напряжения. Статические характеристики нелинейны. В динамическом отношении синхронные тахогенераторы являются неинерционными элементами.

Асинхронный тахогенератор – это двухфазная асинхронная машина с полым немагнитным ротором (рис. 5.10, б). На статоре асинхронного тахогенератора размещаются две сдвинутые на 90° обмотки (возбуждения ОВ и генератора ОГ). Обмотка ОВ подключается к источнику переменного тока.



*Рис. 5.10. Тахометрические генераторы переменного тока:
а – синхронный, б – асинхронный*

В обмотке ОГ, являющейся выходной, при вращении ротора наводятся э.д.с. трансформации и вращения. Под действием э.д.с. вращения на выходе тахогенератора возникает напряжение $U_{вых}$.

Статическая характеристика асинхронного тахогенератора также нелинейна. При изменении вращения ротора фаза выходного напряжения изменяется на 180° .



Рис. 5.11. Внешний вид тахогенератора переменного тока

Асинхронные тахогенераторы используют как датчики угловой скорости, частоты вращения и ускорений. В последнем случае обмотка возбуждения асинхронного тахогенератора подключается к источнику постоянного тока.

Достоинства асинхронных тахогенераторов – надежность, малая инерционность. Недостатки – наличие на выходе остаточной э.д.с. при неподвижном роторе, относительно большие габариты.

5.2.2.4.3. Тахометрические мосты

Тахометрические мосты постоянного и переменного тока применяют в системах автоматики для создания обратной связи по частоте вращения электрических двигателей. Это позволяет упростить систему, так как отпадает необходимость в дополнительной электрической машине – тахогенераторе. При этом уменьшаются статические и динамические нагрузки на исполнительный двигатель.

Тахометрический мост постоянного тока представляет собой специальную мостовую схему (рис. 5.12, а), в одно из плеч которой включен якорь двигателя R_a , а в другие – резисторы R_1 , R_2 , $R_{\text{н}}$. К диагонали ab подводится напряжение сети U , питающее якорь двигателя, а с диагонали cd снимается напряжение $U_{\text{вых}}$ пропорциональное угловой скорости ω .

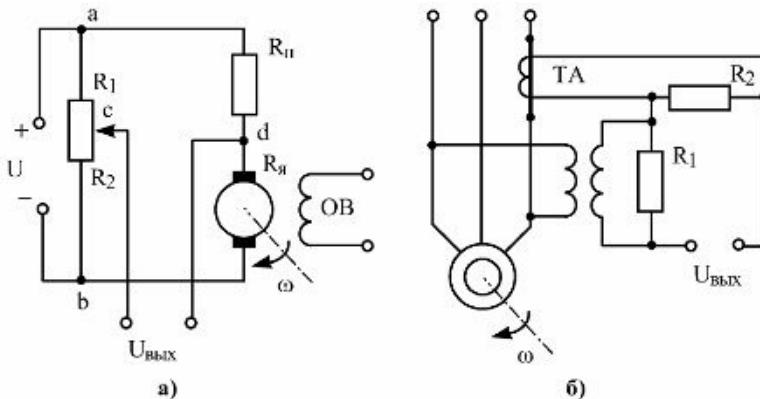


Рис. 5.12. Тахометрический мост постоянного тока (а) и бесконтактное измерительное устройство частоты вращения асинхронного двигателя (б)

Если ток в выходной цепи отсутствует, то

$$U_{\text{вых}} = U_{\text{ac}} - U_{\text{ад}} ; \quad U_{\text{ад}} = I_a R_n ; \quad U_{\text{ac}} = UR_1 / (R_1 + R_2) \\ I_z = (U - E) / (R_a + R_n); \quad E = C_e \omega$$

Решая совместную систему уравнений, получим

$$U_{\text{вых}} = U [R_1 / (R_1 + R_2) - R_n / (R_a + R_n)] + (C_e R_n \omega) / (R_a + R_n)$$

Напряжение на выходе тахометрического моста

$$U_{\text{вых}} = (C_e R_n \omega) / (R_a + R_n) = k_{TM} \omega$$

где K_{TM} – коэффициент передачи тахометрического моста.

Погрешность тахометрического моста составляет $\pm(2-5)\%$. В динамическом отношении тахометрические мосты постоянного тока являются неинерционным звеном.

Для контроля частоты вращения ротора асинхронного электродвигателя применяют бесконтактное измерительное устройство (рис. 5.12, б), содержащее измерительный трансформатор тока ТА и напряжения ТВ.

5.2.2.4.4. Выбор тахогенератора

Тахогенератор выбирается из следующих условий:

a) превышения частоты вращения тахогенератора

$$n_{TG} > n_{dB} ;$$

б) превышения максимального напряжения оцифровки

$$U_{AЦП} > U_{\text{вых}}$$

в) превышения максимального тока над расчетным значением

$$I_{\text{вых}} > I_{\text{вых}}^*$$

1. Определим номинальную крутизну изменения выходного напряжения:

$$S_{\text{ном}} = \frac{U_{AЦП}}{n_{dB}} = \frac{5}{3000} = 1,667 \text{ мВ / мин}$$

Поскольку $S_{\text{ном}}$ меньше чем у любого из представленных в табл. 5.3 тахогенераторов, то необходимо использовать резистивный делитель (рис. 5.13).

Предварительно выбираем (по прил. 2) тахогенератор с наименьшим S :

$$1,6TГП2 \quad n_{TG} = 3000 \text{ об / мин} ; \quad S_{\text{ном}} = 2,5 .$$

2. Определим величину выходного напряжения тахогенератора на максимальной скорости:

$$U_{\text{вых}} = S_{\text{ном}} \cdot n_{\text{ДВ}} = 2,5 \cdot 10^{-3} \cdot 3000 = 7,5 \text{ В}$$

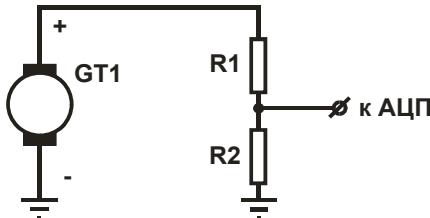


Рис. 5.13. Схема подключения резистивного делителя к тахогенератору постоянного тока.

3. При активном сопротивлении нагрузки тахогенератора $R_n = 10000 \text{ Ом}$ определим ток при максимальной скорости вращения:

$$I_{\text{вых}} = \frac{U_{\text{вых}}}{R_n} = \frac{7,5}{10000} = 0,75 \text{ мА}$$

4. К цепи якоря тахогенератора подключаем резистивный делитель, состоящий из двух сопротивлений R_1 и R_2 , которые соединены последовательно, причем $R_1 + R_2 = R_n$. Точка соединения обмотки якоря тахогенератора и R_2 подключается к общему выводу аналоговой части измерительной схемы (AGND). Точка соединения R_1 и R_2 к входу канала встроенного АЦП в AVR-микроконтроллер. Таким образом, падение напряжения на R_2 должно составить 5 В. Определим R_2 :

$$R_2 = \frac{U_{\text{АЦП}}}{I_{\text{вых}}} = \frac{5}{0,75 \cdot 10^{-3}} = 6,667 \text{ кОм}$$

Принимаем значение $R_2 = 6,8 \text{ кОм}$ из ряда номинальных значений для резисторов.

Определим сопротивление R_1 :

$$R_1 = R_n - R_2 = 10 \cdot 10^3 - 6,8 \cdot 10^3 = 3,2 \cdot 10^3 = 3,2 \text{ кОм}$$

Принимаем значение $R_1 = 3,3 \text{ кОм}$ из ряда номинальных значений для резисторов.

5. Уточненное значение тока тахогенератора при максимальной скорости вращения:

$$I_{\text{вых}}^* = \frac{U_{\text{вых}}}{R_1 + R_2} = \frac{7,5}{3,3 \cdot 10^3 + 6,8 \cdot 10^3} = 0,74257 \text{ mA} < 0,75 \text{ mA}$$

– условие (в) выполняется.

6. Уточненное значение падения напряжения на R_2 при максимальной скорости вращения тахогенератора:

$$\Delta U_{R2} = I_{\text{вых}}^* \cdot R_2 = 0,74257 \cdot 10^{-3} \cdot 6,8 \cdot 10^3 = 5,05 \text{ B} > 5 \text{ B}$$

– условие (б) не выполняется!

7. Поскольку последнее условие не выполняется, то сделаем сопротивление R_1^* составным – из двух последовательно соединенных сопротивлений R_{11} и R_{12} , причем $R_{11} = R_1 = 3,3 \cdot 10^3 \text{ Ом}$. Сначала определим максимальный ток $I_{\text{вых}}^{**}$ при $\Delta U_{R2} = 5 \text{ B}$:

$$I_{\text{вых}}^{**} = \frac{\Delta U_{R2}}{R_2} = \frac{5}{6,8 \cdot 10^3} = 0,73529 \text{ mA} < 0,75 \text{ mA}$$

Теперь определим значение R_1^* :

$$R_1^* = \frac{U_{\text{вых}}}{I_{\text{вых}}^{**}} - R_2 = \frac{7,5}{0,73529 \cdot 10^{-3}} - 6,8 \cdot 10^3 = 3,4 \text{ кОм}$$

В итоге получаем R_{12} :

$$R_{12} = R_1^* - R_{11} = 3,4 \cdot 10^3 - 3,3 \cdot 10^3 = 100 \text{ Ом}$$

Принимаем значение $R_{12} = 100 \text{ Ом}$ из ряда номинальных значений для резисторов.

8. Новое уточненное значение тока тахогенератора при максимальной скорости вращения:

$$I_{\text{вых}}^{**} = \frac{U_{\text{вых}}}{R_{11} + R_{12} + R_2} = \frac{7,5}{3,3 \cdot 10^3 + 100 + 6,8 \cdot 10^3} = 0,7353 \text{ mA} < 0,75 \text{ mA}$$

– условие (в) выполняется.

9. Новое уточненное значение падения напряжения на R_2 при максимальной скорости вращения тахогенератора:

$$\Delta U_{R2} = I_{\text{вых}}^{**} \cdot R_2 = 0,7353 \cdot 10^{-3} \cdot 6,8 \cdot 10^3 = 5,0 \text{ B} = 5 \text{ B}$$

– условие (б) выполняется.

5.2.3. Устройство индикации и ввода данных

5.2.3.1. Индикация контролируемых параметров

Поскольку необходимо не только контролировать параметры объекта электропотребления, но и осуществлять их визуальное отображение, то в состав системы управления вводится жидкокристаллический индикатор (ЖКИ).

Размер ЖКИ (количество строк и символов в строке) выбирается таким образом, чтобы можно было бы на одном экране отобразить все контролируемые параметры. В случае, когда параметров слишком много, то допускается их поочередное (во времени) отображение.

Внешний вид, габаритные размеры и основные характеристики ЖКИ (LCD) типа BC1602 и LM1602 представлены на рис. 5.14. и 5.15.

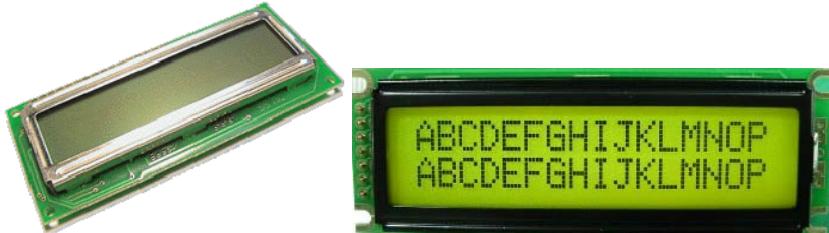


Рис. 5.14. Внешний вид BC1602F и LM016L

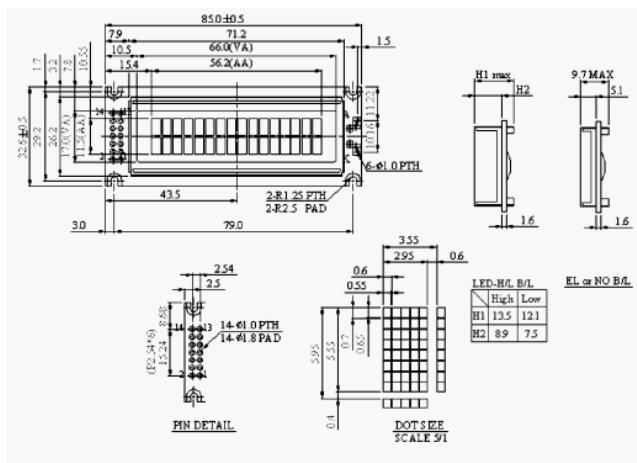


Рис. 5.15. Габаритные размеры ВС 1602F

Назначение выводов LCD BC1602F представлено в табл. 5.3., а схема подключения к AVR-микроконтроллеру представлена на рис. 5.16.

Табл. 5.3.

Назначение выводов

№ вывода	Название	Функция
1	Vss	Общий (GND)
2	Vdd	Напряжение питания
3	Vo	Контрастность
4	RS	Команды/Данные
5	R/W	Чтение/запись
6	E	Выбор модуля
7	DB0	Линия данных 0
8	DB1	Линия данных 1
9	DB2	Линия данных 2
10	DB3	Линия данных 3
11	DB4	Линия данных 4
12	DB5	Линия данных 5
13	DB6	Линия данных 6
14	DB7	Линия данных 7

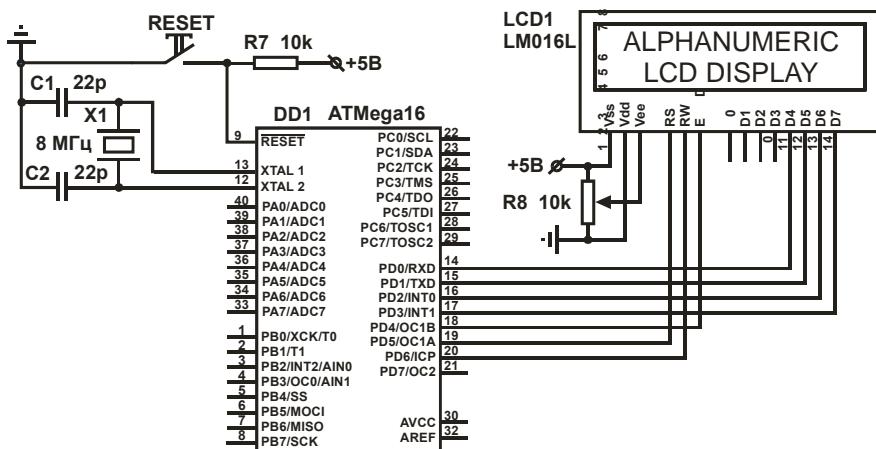


Рис. 5.16. Схема подключения ЖКИ LM016L к порту D AVR-микроконтроллера

Огромный сегмент ЖКИ выпускается различными производителями для постсоветского пространства, в которых предусмотрено наличие символов кириллицы (см. табл. 5.4).

Табл. 5.4.

Таблица русских символов

Символ	Код	Символ	Код
Б	A0	Ф	AA
Г	A1	Ч	AB
Д	E0	Ц	E1
Ё	A2	Ш	AC
Ж	A3	Щ	E2
З	A4	Ђ	AD
И	A5	Ы	AE
Й	A6	Э	AF
Л	A7	Ю	B0
П	A8	Я	B1
У	A9		
б	B2	т	BF
в	B3	у	(y)
г	B4	ф	E4
д	E3	ч	C0
ё	B5	ц	E5
ж	B6	ш	C1
з	B7	щ	E6
и	B8	њ	C2
й	B9	ы	C3
к	BA	ь	C4
л	BB	э	C5
м	BC	ю	C6
н	BD	я	C7
п	BE		

5.2.3.2. Устройство ввода данных

Пользователю микропроцессорной системы управления всегда должна предоставляться возможность настройки системы и коррекция её параметров. Посредством воздействия на кнопки управления пользователь может корректировать (подстраивать) работу системы, как в активном её состоянии, так и в режиме настройки.

Существует два основных способа подключения кнопок управления к микроконтроллеру:

- непосредственное подключение;
- матричная клавиатура.

Выбор способа осуществляется разработчиком системы исходя из поставленной задачи.

Например, при фазовом регулировании оператор отслеживает визуально параметры на ЖКИ и в процессе работы осуществляет

коррекцию параметров системы путем нажатия соответствующих кнопок управления. Поэтому выбирается в данном случае способ непосредственного подключения кнопок управления к порту микроконтроллера, как показано на рис. 5.17.

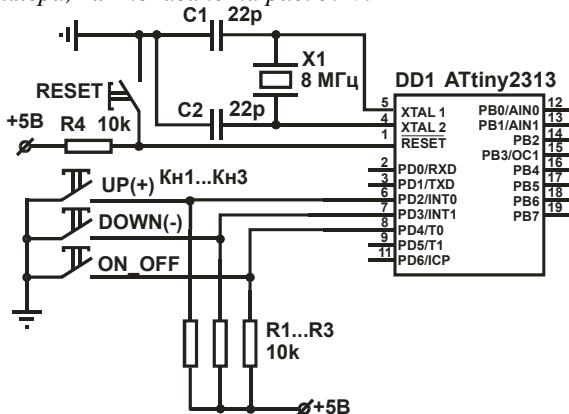


Рис. 5.17. Схема непосредственного подключения кнопок управления к порту D AVR-микроконтроллера

Поскольку изменение параметров системы происходит в процессе работы, то целесообразно использовать внешние прерывания INT0 и INT1. Это позволит избежать в программе наличия опроса состояния кнопок управления.

Рассмотрим второй способ.

Если система работает полностью автономно, оператор только настраивает параметры системы и осуществляет её включение и выключение, то рекомендуется использовать матричную клавиатуру. Основным достоинством матричной клавиатуры является то, что к n выводам порта можно подключить матричную клавиатуру, состоящую из

$\left(\frac{n}{2}\right)^2$ кнопок. Например, к 8-разрядному порту можно подключить

клавиатуру из 16 кнопок, а к 2-м 8-разрядным портам – клавиатуру из 64 кнопок.

В этом случае программа как бы состоит из двух частей: блок настройки параметров системы и блок рабочего режима. Количество используемых клавиш и их назначение в каждом блоке может отличаться друг от друга. Поэтому на условном графическом обозначении матричной

клавиатуры покажем оба функциональных назначения. Схема подключения матричной клавиатуры представлена на рис. 5.18.

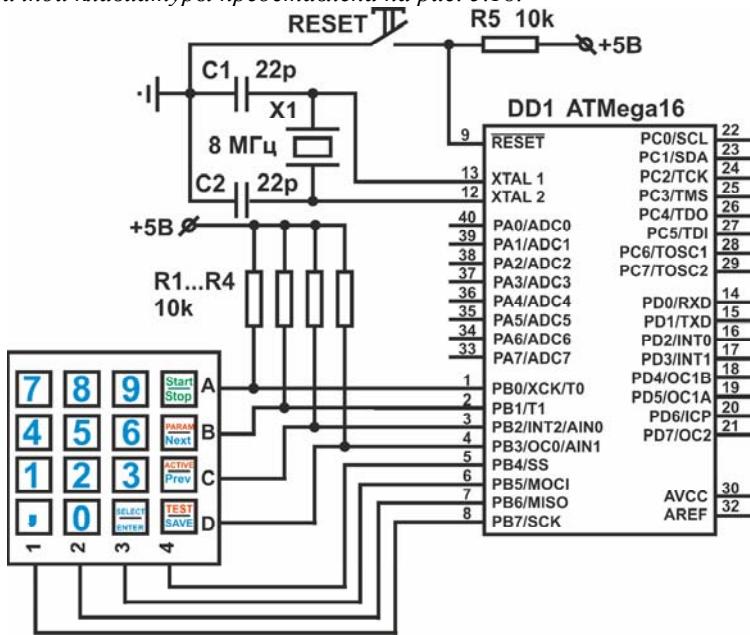


Рис. 5.18. Схема подключения матричной клавиатуры к порту В AVR-микроконтроллера

На рис.5.18 показана матричная клавиатура, посредством которой возможен перевод микропроцессорной системы в три режима работы из режима ожидания: рабочий режим – *ACTIVE*; режим настройки параметров – *PARAM* и режим тестирования – *TEST* (тестируются датчики). Используемые клавиши выделены красным цветом.

При выборе рабочего режима активной будет только одна двуфункциональная клавиша *Start/Stop*, которая запускает и останавливает работу системы. Используемая клавиша выделена зеленым цветом.

При выборе режима настройки параметров активными будут все клавиши, причем клавиша *Start/Stop* будет выполнять функцию удаления последнего символа, если он неправильно набран (*C*lear). Однако эта альтернатива на схеме не показана из-за недостатка места. Используемые клавиши выделены синим цветом.

При выборе режима тестирования тестируется работа датчиков, производится их коррекция и т.д. – активных клавиш нет.

Для возврата в режим ожидания необходимо завершить все процедуры: остановить работу системы клавишией *Stop*, закончить ввод всех параметров и т.д. Нажатие клавиши выбора другого режима осуществит возврат в режим ожидания.

В случае необходимости расширения функциональных возможностей клавиатуры рекомендуется наделить одну из клавиш функцией *Shift*.

5.2.4. Выбор и расчет устройств гальванической развязки

Цифровая часть микропроцессорной системы управления является низковольтной, поэтому необходимо использование устройств гальванической развязки для сопряжения с силовой высоковольтной частью системы. Гальваническую развязку обеспечить два основных вида устройств: трансформаторы напряжения и оптоэлектронные приборы. Причем каждый вид устройств выбирается в зависимости от поставленной задачи.

Например, для синхронизации цифровой части микропроцессорной системы управления с сетью целесообразно использовать понижающий трансформатор напряжения, а для формирования управляющего импульса на управляющем электроде тиристора логично было бы использовать оптоприостор с тем же классом напряжения, но с значительно меньшим током анода.

5.2.4.1. Расчет устройств синхронизации с сетью

Первичную обмотку понижающего трансформатора напряжения подключают к сети, а вторичную к входам встроенного аналогового компаратора (рис. 5.19).

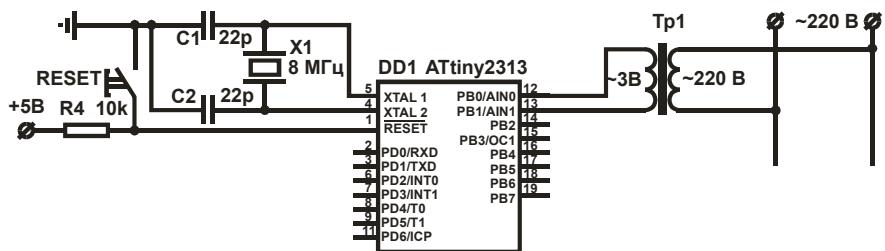


Рис. 5.19. Схема подключения гальванической развязки в виде понижающего трансформатора к входам аналогового компаратора AVR-микроконтроллера

В момент перехода синусоидального напряжения через 0 аналоговый компаратор будет генерировать переход запрос прерывания. Таким образом, в момент перехода синусоидального напряжения через 0 будет вызываться обработчик прерывания по аналоговому компаратору. Теперь можно отложить от этого момента выдержку времени, соответствующую фазовому углу α .

1. Определим максимальное значение напряжения сети U_{max1} при возможном перенапряжении в 30%:

$$U_{max1} = \sqrt{2} \cdot U \cdot k_U = \sqrt{2} \cdot 220 \cdot 1,3 = 404,47 \text{ В}$$

где k_U – это коэффициент перенапряжения: $k_U = \frac{100\% + 30\%}{100\%} = 1,3$.

2. Выбираем трансформатор напряжения, который понижает максимальное значение на первичной обмотке $U_{max1} = 404,47 \text{ В}$ до максимально допустимого значения напряжения на вторичной обмотке, например, $U_{max2} = U_{ACOMP} = 5 \text{ В}$, где U_{ACOMP} – это максимально допустимое напряжение для аналогового компаратора.

3. Определим коэффициент трансформации:

$$k_{TP} = \frac{U_{max1}}{U_{max2}} = \frac{404,47}{5} = 80,89$$

4. Определим действующие значения напряжений:

$$- \text{первичной обмотки } U_1 = \frac{U_{max1}}{\sqrt{2}} = \frac{404,47}{\sqrt{2}} = 286,0 \text{ В}$$

$$- \text{вторичной обмотки } U_2 = \frac{U_{max2}}{\sqrt{2}} = \frac{5}{\sqrt{2}} = 3,54 \text{ В}$$

5. Определим максимально допустимый ток вторичной обмотки трансформатора при входном сопротивлении аналогового компаратора $R_{ACOMP} = 10 \text{ кОм}$:

$$I_{max2} = \frac{U_{max2}}{R_{max2}} = \frac{5}{10 \cdot 10^3} = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ А}$$

6. По значениям тока и напряжения на вторичной обмотке определим полную мощность трансформатора:

$$S_{max\ 2} = U_{max\ 2} \cdot I_{max\ 2} = 5 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ Вт}$$

7. Выбираем понижающий трансформатор серии ОСМ1-0,4 со следующими параметрами:

Параметр	Расчетный	условие	ОСМ1-0,4
$U_1, \text{ В}$	286	\leq	380
$U_2, \text{ В}$	3,54	\leq	5
k_{TP}	80,89	$>$	76
$I_{max\ 2}, \text{ мА}$	0,5	\leq	80000
$S_{max\ 2}, \text{ мВт}$	2,5	\leq	400000
U^*_2 при $U_1 = 286$	-	-	3,76

U^*_2 – данный параметр вычисляется с использованием коэффициента трансформации выбранного трансформатора: $U^*_2 = \frac{U_1}{k_{TP}} = \frac{286}{76} = 3,76 \text{ В}$.

8. Вторичное действующее напряжение получается чуть больше заданного, однако на момент перехода синусоидального напряжения через 0 это не оказывает никакого влияния.

5.2.4.2. Расчет устройств гальванической развязки в цепях управления

Для организации гальванической развязки в цепях управления используются оптотиристоры, оптосимисторы, оптотранзисторы и пр. оптоэлектронные приборы, называемые оптопарами. Поскольку, например, для фазового управления был выбран силовой симистор, то для обеспечения гальванической развязки необходимо выбрать оптосимистор. Выбираем оптосимистор исходя из следующих условий:

- максимально допустимый ток выходного фотосимистора $I_{max.\text{вых.}}$, входящего в состав оптосимистора, должен быть больше тока управления силового симистора $I_{y.\text{max.}}$:

$$I_{max.\text{вых.}} \geq I_{y.\text{max.}}, \text{ т.e.}$$

$I \geq 0,5 \text{ A}$ – условие выполняется.

- максимально допустимое напряжение выходного фотосимистора $U_{max.вых.}$, входящего в состав оптосимистора, должно быть больше напряжения управления силового симистора $U_{y,max} = U_1$:

$$U_{max.вых.} \geq U_{y,max}$$

$600 \geq 286 \text{ В}$ – условие выполняется.

Выбираем по справочным данным оптосимистор типа МОС3021 с параметрами, приведенными в табл. 5.5. Кроме этого необходимо проверить, сможет ли микроконтроллер управлять оптосимистором без дополнительных устройств сопряжения. Выходной ток портов микроконтроллера не должен превышать 20 мА при напряжении 5 В.

Таким образом, проверяем выбранный оптосимистор по входной цепи (светодиод) исходя из следующих условий:

- максимального возможного выходной ток порта микроконтроллера $I_{max.MCU}$ должен быть меньше максимально допустимого тока светодиода $I_{max.вх.}$ входной цепи оптосимистора, но больше минимального $I_{min.вх.}$:

$$I_{min.вх.} \leq I_{max.MCU} \leq I_{max.вх.}, \text{ т.е.}$$

$15 \text{ мА} \leq 20 \text{ мА} \leq 60 \text{ мА}$ – условие выполняется.

- напряжения на выходе порта микроконтроллера $U_{вых.MCU} = U_{cc}$ должно быть больше падения напряжения на светодиоде $U_{max.вх.}$ оптосимистора для обеспечения протекания минимального тока $I_{min.вх.}$:

$$U_{вых.MCU} \geq U_{max.вх.}$$

$5 \text{ В} \geq 1,5 \text{ В}$ – условие выполняется.

Поскольку $U_{вых.MCU} = 5 \text{ В}$, что значительно больше 1,5 В, то необходимо указать на одно особенное свойство портов AVR-микроконтроллеров, а именно, напряжение на выходе порта будет уменьшаться, если при данном напряжении должен будет протекать ток более 20 мА. Таким образом, на выходе порта будет ток 20 мА и напряжение 1,5 В.

Табл. 5.5.

Основные параметры оптосимистора МОС3021

$I_{max.вых.}$, А	$I_{зкр.вых.}$, мА	$U_{max.вых.}$, В	$I_{min.вх.}$, мА	$I_{max.вх.}$, мА	$U_{max.вх.}$, В	$U_{из.}$, кВ	$t_{отп.}$, мкс
1	0,1	600	15	60	1,5	7,5	25

Как видно из таблицы 5.5., выбранный оптосимистор MOC3021 соответствует всем требованиям, предъявляемым к нему.

Однако следует заметить, что выходной ток оптосимистора превышает ток управляющего электрода силового симистора. Поэтому необходимо в цепь управляющего электрода ввести добавочное сопротивление. Пренебрегая падением напряжения на светодиоде силового симистора, величина добавочного сопротивления определиться как:

$$R = \frac{U_{y.\max}}{I_{y.om}} = \frac{286}{150 \cdot 10^{-3}} = 1907 \text{ Ом}$$

Принимаем ближайшее большее из стандартного ряда сопротивлений: сопротивление типа МЛТ-1, $R=2 \text{ кОм}$. Рассеиваемая мощность данного сопротивления определяется:

$$P = I_{y.om}^2 \cdot R = (150 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 2000 \approx 45 \text{ Вт}$$

Поскольку время импульса включения $t_{вкл.}$ составляет чуть более 10 мкс, то необходимо рассчитать мощность сопротивления в импульсном режиме, исходя из того что при сетевой частоте $f_{сети} = 50 \text{ Гц}$ период составляет $T_{сети} = \frac{1}{f_{сети}} = \frac{1}{50} = 0,02 \text{ сек}$ и за этот период формируется два импульса: один для положительной полуволны, а другой для отрицательной.

$$P_{имп.} = P \cdot \frac{2 \cdot t_{вкл.}}{T_{сети}} = 45 \cdot \frac{2 \cdot 10 \cdot 10^{-6}}{0,02} = 0,045 \text{ Вт}$$

Выбираем из стандартного ряда мощностей сопротивление на номинальную рассеиваемую мощность $P=0,125 \text{ Вт}$.

Таким образом, объединив полученные схемные решения и используя выбранные элементы, составим электрическую принципиальную схему, показанную на рис. 5.20.

Безусловно, на рис. 5.20 только пример того, как выглядит схема, для каждого варианта будет получаться своя электрическая принципиальная схема. Причем у различных разработчиков (студентов, выполняющих курсовой проект) могут получиться различные варианты схем, поскольку поставленная задача не накладывает ограничений на использование различных электронных элементов.

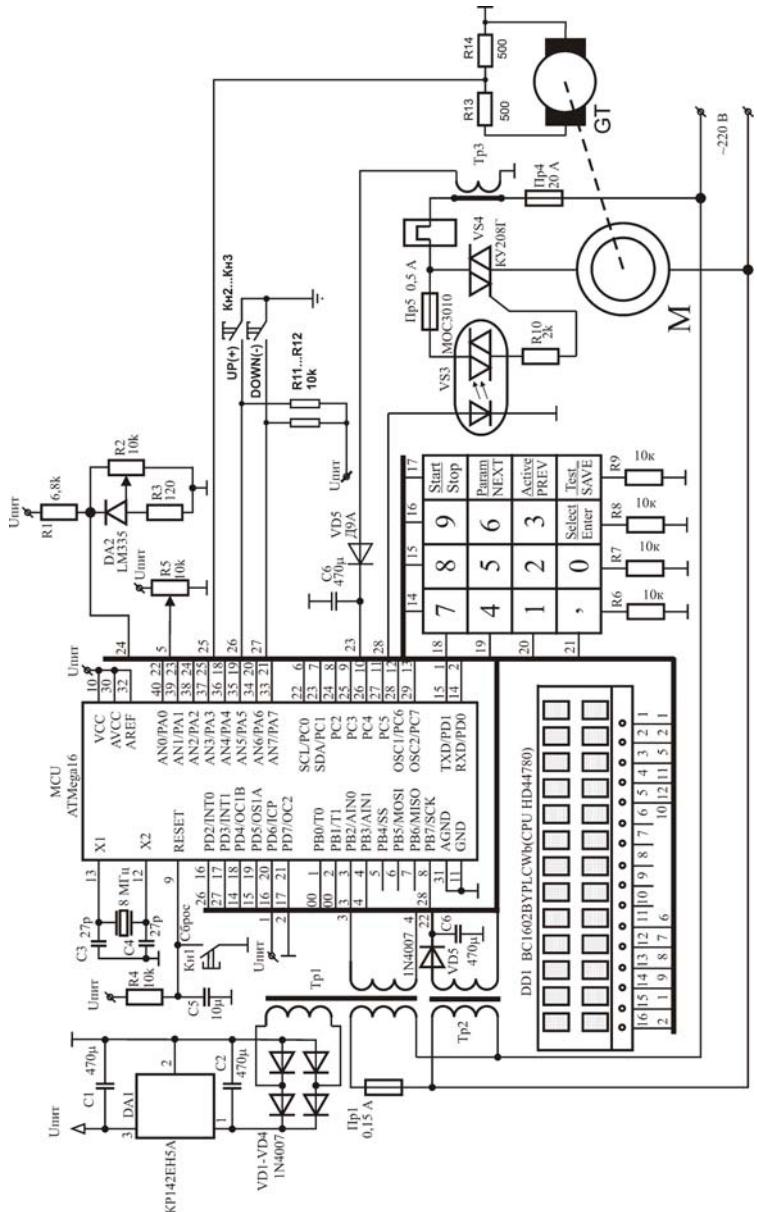


Рис. 6.1. Принципиальная схема системы управления

6. РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА РАБОТЫ И СОСТАВЛЕНИЕ ПРОГРАММНОГО КОДА ДЛЯ МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

6.1. РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА РАБОТЫ МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

6.1.1. Задачи микропроцессорной системы управления

При создании алгоритма работы микропроцессорной системы управления необходимо учесть некоторые особенности в архитектуре микроконтроллера, в частности принципы работы **АЦП** и обработки прерываний. Кроме этого необходимо учесть временные характеристики элементов силовой цепи, а именно время включения симистора и оптосимистора.

Алгоритм работы микропроцессорной системы управления с фазовым управлением необходим для написания управляющей программы микроконтроллера. Поэтому необходимо определить задачи, решение которых будет обеспечивать микроконтроллер:

- автономное фазовое управление, синхронизированное с сетью;
- контроль тока, напряжения, температуры и скорости вращения двигателя;
- индикация контролируемых параметров на жидкокристаллическом индикаторе;
- изменение параметров фазового управления в процессе работы.

Синхронизацию с сетью обеспечивает аналоговый компаратор, на входы которого подается синусоидальное напряжение с вторичной обмотки трансформатора. Для обеспечения автономности фазового управления необходимо использовать в качестве источника прерываний аналоговый компаратор, для которого зарезервирован отдельный вектор прерывания. Для аналогового компаратора необходимо подготовить подпрограмму обработки прерывания (обработчик прерываний).

Для контроля тока, напряжения, температуры и скорости вращения двигателя необходимо использовать **АЦП**. Для индикации контролируемых параметров используется семь выводов одного из незадействованных портов, к которому подключен **ЖКИ**. Это значительно упрощает сопряжение индикатора и микроконтроллера, по сравнению с другими видами индикации.

6.1.2. Алгоритм основной программы

Алгоритм работы основной программы микропроцессорной системы управления представлен на рис. 6.1.

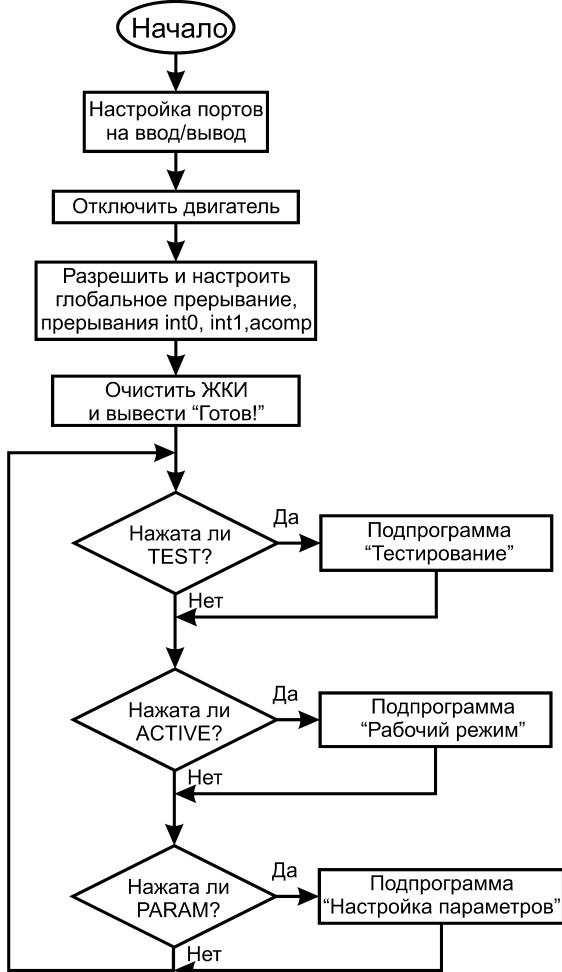


Рис. 6.1. Алгоритм работы основной программы микропроцессорной системы управления

Основная программа состоит из следующих частей:

- инициализация системы (неповторяющаяся часть программы);
- режим циклического опроса кнопок управления (или матричной клавиатуры);
 - режим тестирования;
 - рабочий режим;
 - режим коррекции параметров (только при матричной клавиатуре).

Опрос кнопок проводится до тех пор, пока не будет нажата одна из возможных кнопок. Затем осуществляется переход на соответствующую подпрограмму. Выход из подпрограммы произойдет при нажатии соответствующих кнопок.

6.1.3. Алгоритм рабочего режима программы

Алгоритм подпрограммы рабочего режима микропроцессорной системы управления представлен на рис. 6.2. Подпрограмма рабочего режима состоит из следующих частей:

- блок разрешения прерываний (запуск двигателя с инициализированными параметрами, например, при фазовом управлении АД – значение $\alpha=0^\circ$ или для системы 10-разрядный ШИМ-ДПТ значение кода OCR1=1023 и т.д.);
- блок получения результатов преобразования АЦП и их преобразования в реальные физические значения с выводом на ЖКИ;
- блок проверки условия выхода из рабочего режима;
- блок остановки работы и подготовки к возврату в основную программу;

6.1.4. Алгоритм подпрограммы режима тестирования

Алгоритм подпрограммы режима тестирования микропроцессорной системы управления представлен на рис. 6.3. Подпрограмма режима тестирования состоит из следующих частей:

- блок измерения параметров и получения результатов преобразования АЦП;
- блок преобразования результатов АЦП в реальные физические значения;
- блок вывода результатов тестирования на ЖКИ;
- блок проверки условия выхода из режима тестирования;
- блок подготовки к возврату в основную программу;

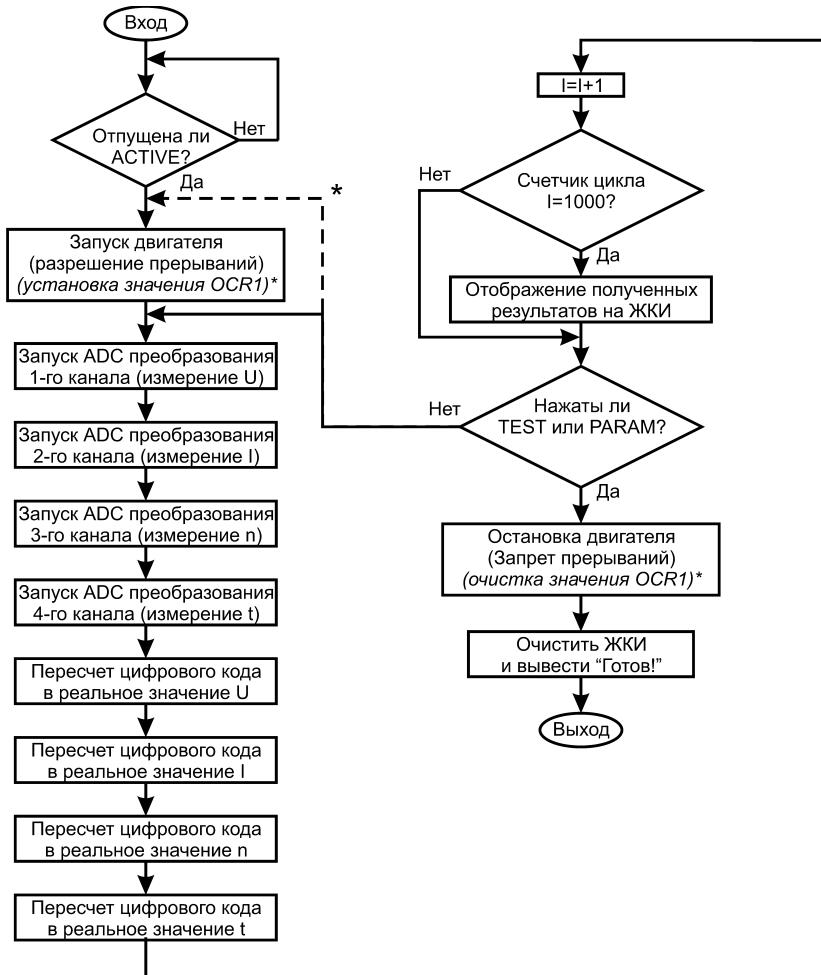


Рис. 6.2. Алгоритм подпрограммы рабочего режима
* - для системы ШИМ-ДПТ

6.1.5. Алгоритм подпрограммы режима коррекции параметров

Алгоритм подпрограммы режима коррекции параметров микропроцессорной системы управления представлен на рис. 6.4.

Подпрограмма режима коррекции параметров состоит из следующих частей:

- блок измерения параметров и получения результатов преобразования АЦП;
- блок преобразования результатов АЦП в реальные физические значения;
- блок вывода результатов тестирования на ЖКИ;

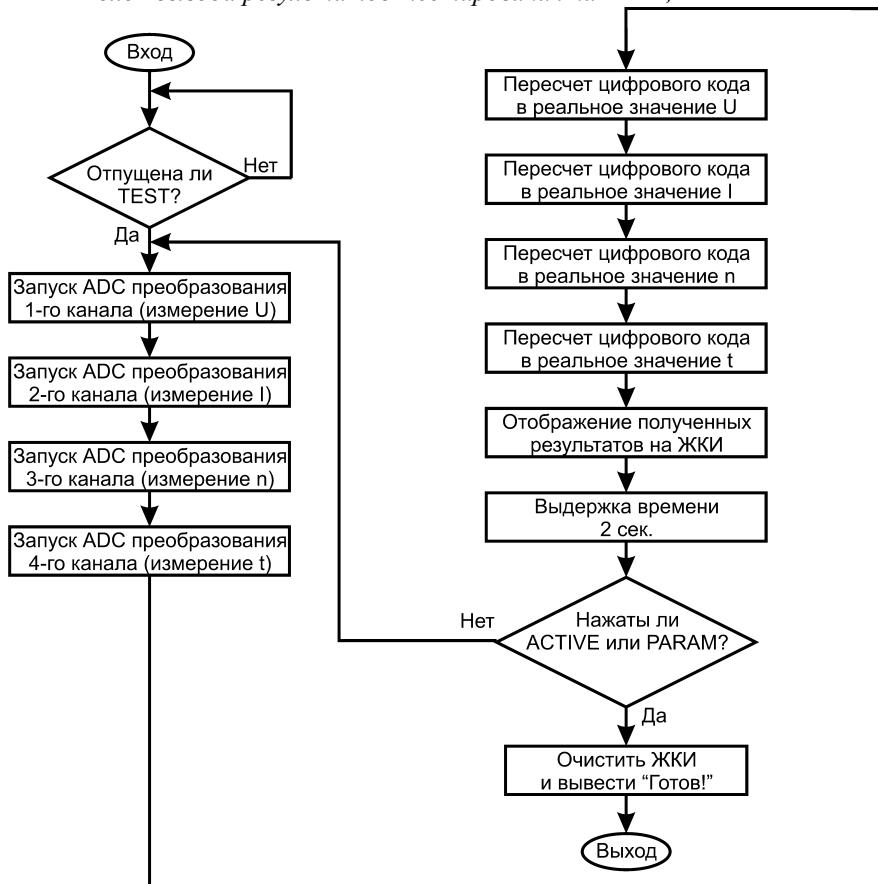


Рис. 6.3. Алгоритм подпрограммы режима тестирования

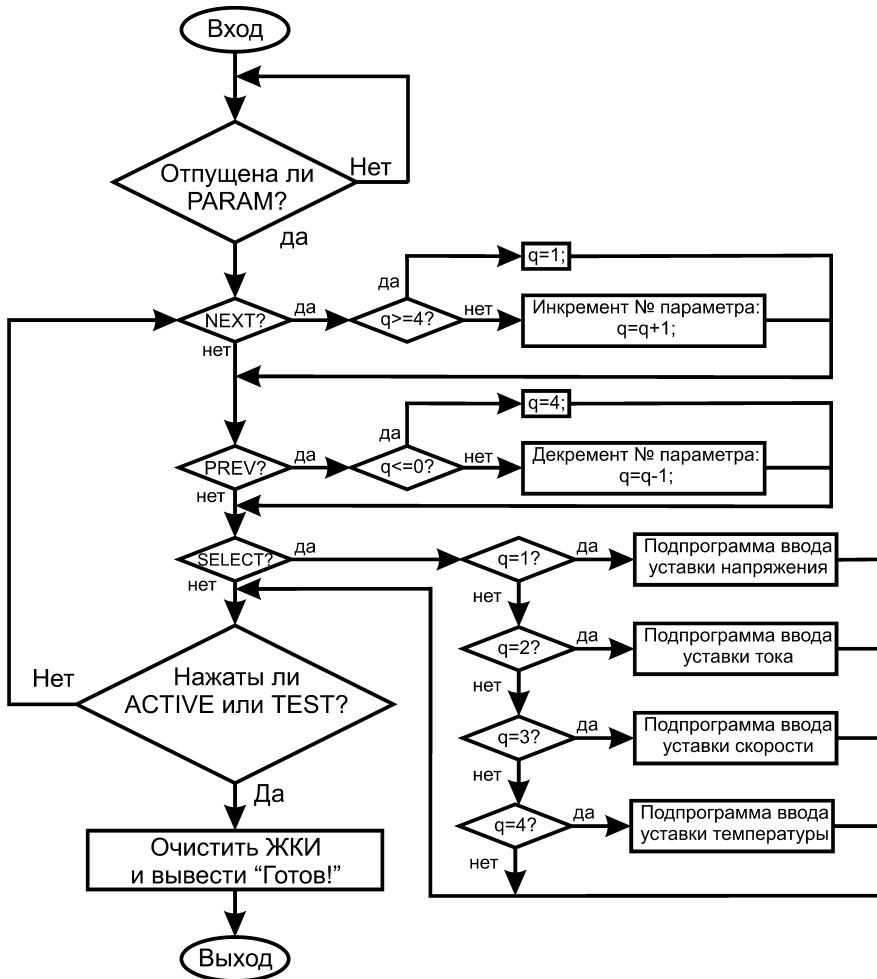


Рис. 6.4. Алгоритм подпрограммы режима коррекции параметров

Алгоритмы подпрограмм ввода уставок тока, скорости вращения и температуры выполнить самостоятельно.

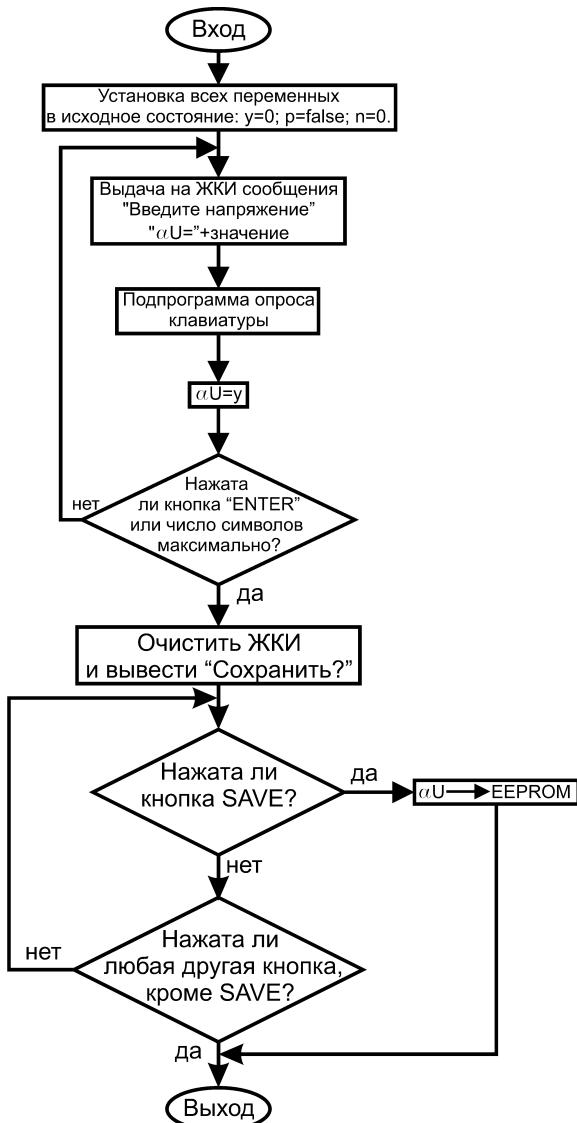


Рис. 6.5. Алгоритм подпрограммы ввода уставки напряжения

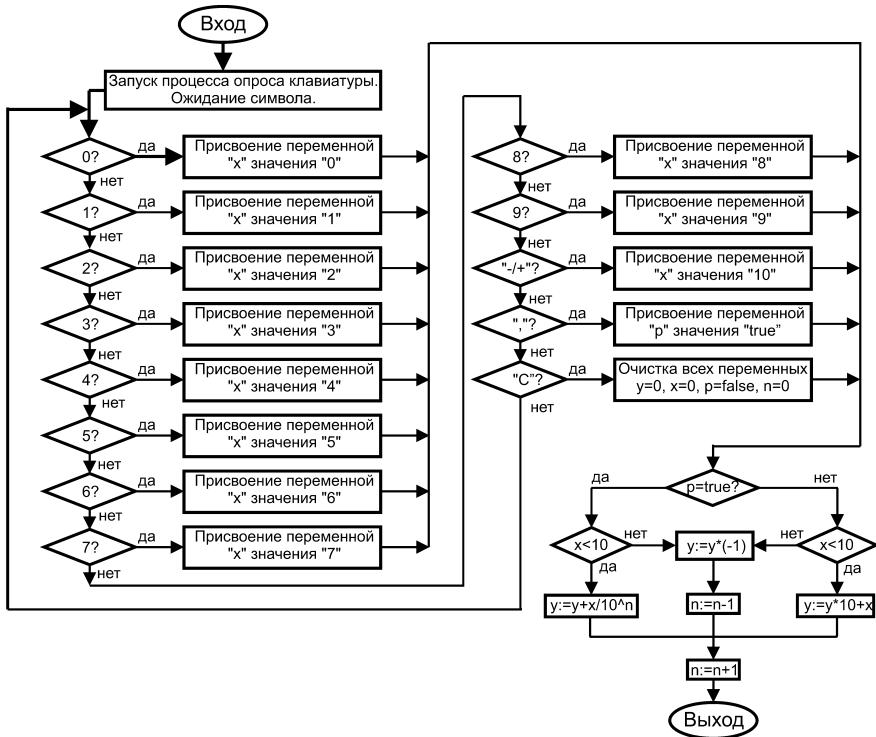


Рис. 6.6. Алгоритм подпрограммы опроса матричной клавиатуры

6.1.6. Алгоритмы подпрограмм обработки прерываний

Алгоритмы подпрограммы обработки прерываний микропроцессорной системы управления представлен на рис. 6.7. Подпрограмма обработки прерываний вызывается как из основной программы, так и из других подпрограмм, в момент возникновения события являющегося источником прерывания. Как только прерывание разрешено, то с этого момента соответствующее событие будет приостанавливать текущее выполнение программы, вызывая обработчик прерываний.

Управление передается на блок обработчика прерываний (на рис. 6.7. – вход). Например, для прерывания по переключению выхода аналогового компаратора вырабатывается задержка времени (угол α) от 0 до 10 мс.

При количестве ступеней $n = 100$, время одной ступени для выработки задержки составит:

$$\Delta\alpha = \frac{T}{n} = \frac{10 \cdot 10^{-3}}{100} = 100 \cdot 10^{-6} \text{ с}$$

Затем формируется управляющий импульс: фронт, выдержка времени ($t_{И}$ - время импульса, см. параметры силовых вентиляй: $t_{И}$ должно быть больше времени отпирания вентиля, иначе вентиль не успеет открыться) и спад импульса (на низкий уровень управляющего сигнала). После этого управление возвращается основной программе (на рис. 6.7. – выход).

Описание обработчиков прерываний на ножках INT0 и INT1 выполнить самостоятельно.

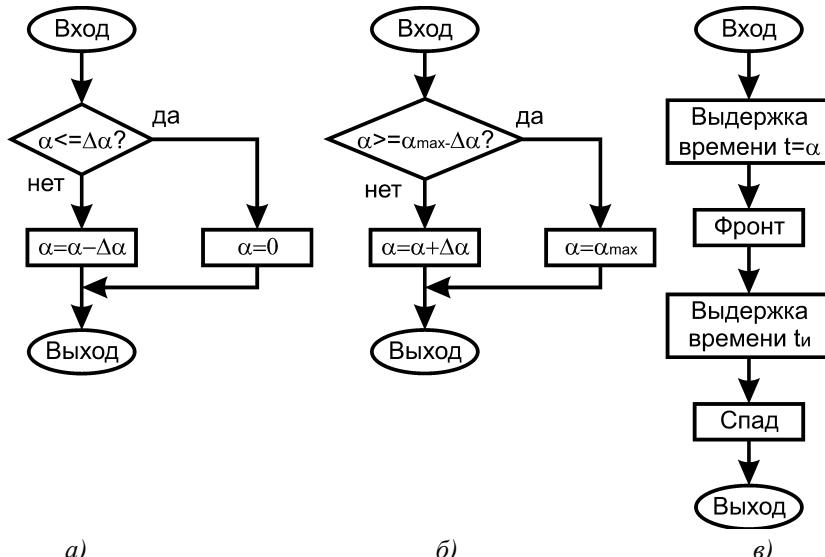


Рис. 6.7. Алгоритм подпрограмм обработки прерывания на ножках
а) INT0, б) INT1 и в) по переключению выхода аналогового компаратора ACOMP

Особенностью работы обработчика прерываний является то, что прерывание и передача управления могут происходить в любой момент выполнения программы, а возврат управления из обработчика прерываний происходит обратно в ту точку программы, откуда было передано управление обработчику прерываний.

Здесь блоки обработчиков прерываний представлены как отдельные алгоритмы работы, не связанные на первый взгляд с основной программой. Однако такая связь существует, но не программно, а аппаратно.

Это связано с тем, что обработчик прерываний работает как автономное устройство. В момент перехода через ноль синусоидального напряжения происходит прерывание в работе тела основной программы.

6.2. РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОДА ДЛЯ МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

6.2.1. Программный код основной программы

Программный код составляется в соответствии с составленным алгоритмом с использованием соответствующих программных ресурсов высоконивневого языка программирования Pascal-SCM.

Например, основная программа для системы фазового управления с кнопками будет иметь следующий вид:

```
{Main Program}
{$IDATA}

begin
  InitPorts;
  LCDclr;
  LCDxy(0,0);
  write(LCDout, 'ГОТОВ!');
  DisableInts;
  GIMSK:=$XX;      //XX - рассчитанный код для GIMSK
  MCUCR:=$YY;      //YY - рассчитанный код для MCUCR
  ACSR:=$ZZ;       //ZZ - рассчитанный код для ACSR
loop
//===== Проверка нажатия кнопок =====/
  If TEST=false then PP_TEST;
  endif;
  If ACTIVE=false then PP_ACTIVE;
  endif;
  If PARAM=false then PP_PARAM;
  endif;
endloop;
end.
```

Основная же программа для системы фазового управления с матричной клавиатурой будет иметь уже такой вид:

```

{Main Program}
{$IDATA}

begin
    EnableInts;
    InitPorts;
    LCDclr;
    LCDxy(0,0);
    write(LCDout, 'ГОТОВ!');
    DisableInts;
    GIMSK:=$XX;
    MCUCR:=$YY;
    ACSR:=$ZZ;
loop
    GetKeyRaised; // запуск процесса опроса клавиатуры
    case GetKey of
        Key1: PP_TEST; |
        Key2: PP_ACTIVE; |
        Key3: PP_PARAM; |
    endcase;
endloop;
end.

```

6.2.2. Программный код подпрограммы рабочего режима

Программный код подпрограммы рабочего режима составляется в соответствии с составленным алгоритмом с использованием соответствующих программных ресурсов высокого уровня языка программирования Pascal-SCM и аппаратных ресурсов микроконтроллера.

Под аппаратными ресурсами микроконтроллера принято считать встроенные автономные устройства, в данном случае, это АЦП, аналоговый компаратор, система прерываний и таймеры/счетчики.

Под программными ресурсами языка Pascal-SCM принято считать программные возможности функций и команд языка, в данном случае, это функция запуска АЦП, которая возвращает результат преобразования, математические команды, система команд для работы с подключаемым ЖКИ, команды выдержек времени, циклы и т.д.

Например, программный код подпрограммы рабочего режима для системы фазового управления будет иметь следующий вид:

```

Procedure PP_ACTIVE;
Begin
repeat until (Active=true);

```

```

    EnableInts;
    repeat
//===== Измерение параметров =====/
        Uc:=GetADC(1);
        Ic:=GetADC(2);
        nc:=GetADC(3);
        tc:=GetADC(4);
//===== Перерасчет параметров =====/
        U:=(275/1023)*float(Uc);
        I:=(50/1023)*float(Ic);
        n:=integer(float(nc)*1500/1023);
        t:=integer(float(tc)*140/1023-40);
//===== Вывод результатов на ЖКИ =====/
        I:=I+1;
        If I=1000 Then
            LCDclr;
            LCDxy(0,0);
            Write (LCDout, 'U=' +floattostr(U:5:1)+ 'В I='
                + floattostr(I:4:1) +'А');
            LCDxy(0,1);
            Write (LCDout, 'n=' +inttostr(n:4)+ 'RPM t='
                + inttostr(t:3) +'С');
            I:=0;
        endif;
        until (TEST=false) or (PARAM=false);
        DisableInts;//запрет прерываний (остановка двигателя)
        LCDclr;
        LCDxy(0,0);
        write(LCDout, 'ГОТОВ!');
    end PP_ACTIVE;

```

6.2.3. Программный код подпрограммы тестирования

Программный код подпрограммы тестирования составляется, так же как и подпрограмма рабочего режима, т.е. в соответствии с составленным алгоритмом с использованием соответствующих программных ресурсов высокого уровня языка программирования Pascal-SCM и аппаратных ресурсов микроконтроллера.

В данном случае используются из аппаратных ресурсов микроконтроллера только устройства ввода/вывода, АЦП и таймеры/счетчики.

Из программных ресурсов языка Pascal-SCM используются функция запуска АЦП, математические команды, система команд для работы с подключаемым ЖКИ и команды выдержек времени.

Например, программный код подпрограммы тестирования для системы фазового управления будет иметь следующий вид:

```
Procedure PP_TEST;
Begin
    repeat until (Test=true);
//===== Измерение параметров =====
    Uc:=GetADC(1);
    Ic:=GetADC(2);
    nc:=GetADC(3);
    tc:=GetADC(4);
//===== Перерасчет параметров =====
    U:=(275/1023)*float(Uc);
    I:=(50/1023)*float(Ic);
    n:=integer(float(nc)*1500/1023);
    t:=integer(float(tc)*140/1023-40);
//===== Вывод результатов на ЖКИ =====
    LCDclr;
    LCDxy(0,0);
    Write (LCDout, 'U=' +floattostr(U:5:1)+ 'B I='
           + floattostr(I:4:1) +'A');
    LCDxy(0,1);
    Write (LCDout, 'n=' +inttostr(n:4) + 'RPM t='
           + inttostr(t:3) +'C');
    mdelay(2000);
until (ACTIVE=false) or (PARAM=false);
LCDclr;
LCDxy(0,0);
write(LCDout, 'ГОТОВ!');
end PP_ACTIVE;
```

6.2.4. Программный код подпрограммы коррекции параметров

Программный код подпрограммы коррекции составляется в соответствии с составленным алгоритмом с использованием соответствующих программных ресурсов высокого уровня языка программирования Pascal-SCM и аппаратных ресурсов микроконтроллера.

В данном случае используются из аппаратных ресурсов микроконтроллера только устройства ввода/вывода.

Из программных ресурсов языка Pascal-SCM используются математические команды, система команд для работы с подключаемым ЖКИ и команды обслуживания матричной клавиатуры.

Например, программный код подпрограммы коррекции параметров для системы фазового управления будет иметь следующий вид:

```
Procedure PP_PARAM;
Begin
    repeat until (Param =true);
        GetKeyRaised; // запуск процесса опроса клавиатуры
        case GetKey of
            Key1: if (q>=4) Then q:=1;           //NEXT
            else
                q:=q+1;
            endif; |
            Key2: if (q<=0) Then q:=4;           //PREV
            else
                q:=q+1;
            endif; |
            Key3:  case q of
                    1: PP_Voltage; |
                    2: PP_Current; |
                    3: PP_Speed; |
                    4: PP_Temperature; |
                endcase; |
            endcase;
        until (ACTIVE=false) or (TEST=false);
        LCDclr;
        LCDxy(0,0);
        write(LCDout, 'ГОТОВ!');
    end PP_PARAM;
```

6.2.5. Программный код подпрограммы коррекции напряжения

Программный код подпрограммы коррекции напряжения, так же как и тока, скорости и температуры, является вспомогательной подпрограммой для общей подпрограммы коррекции параметров.

Составляется код в соответствии с алгоритмом с использованием соответствующих программных ресурсов языка Pascal-SCM и аппаратных ресурсов микроконтроллера.

В данном случае используются из аппаратных ресурсов микроконтроллера только устройства ввода/вывода и встроенное ЭСППЗУ.

Из программных ресурсов языка Pascal-SCM используются математические команды, система команд для работы с подключаемым ЖКИ и команды обслуживания матричной клавиатуры.

Например, программный код подпрограммы коррекции напряжения для системы фазового управления будет иметь следующий вид:

```
Procedure PP_Voltage;
Begin
    y:=0;  p:=false;  n:=0;
    repeat
        LCDclr;
        LCDxy(0,0);
        write(LCDout, 'Введите напряжение!');
        LCDxy(0,1);
        write(LCDout, 'aU=');
        PP_KeyBoard;
        aU:=y;
        GetKeyRaised;
        until (GetKey=Key5);      //Enter
        LCDclr;
        LCDxy(0,0);
        write(LCDout, 'Сохранить?');
        repeat
            GetKeyRaised;
            if (GetKey=Key5) Then aUeprom:=aU;
            LCDclr;
            LCDxy(0,0);
            write(LCDout, 'Сохранено!');
            endif;
        until (GetKey<>Key5);
    end PP_Voltage;
```

6.2.6. Программный код подпрограммы опроса матричной клавиатуры

Программный код подпрограммы опроса матричной клавиатуры, является вспомогательной подпрограммой для группы подпрограмм коррекции параметров.

Составляется код в соответствии с алгоритмом с использованием соответствующих программных ресурсов языка Pascal-SCM.

Из программных ресурсов языка Pascal-SCM используются математические команды, система команд для работы с подключаемым ЖКИ и команды обслуживания матричной клавиатуры.

Например, программный код подпрограммы опроса матричной клавиатуры для системы фазового управления будет иметь следующий вид:

```
procedure PP_KeyBoard;
begin
// _____ Начальные условия _____ //
    j:=1; // счетчик знаков после запятой
    flag1:=false; // флаг ввода дробной части числа
    flag2:=false; // флаг момента нажатия запятой
    y:=0; // начальное значение итогового числа = 0
    x:=0; // начальное значение текущего числа = 0
    i:=1; //счетчик количества используемых символов
// _____ //
repeat
// _____ Опрос клавиатуры _____ //
    GetKeyRaised;
    case GetKey of
        Key1: i:=i-1;
                j:=j-1;
                x:=0; | // кнопка не задействована
        Key2: i:=i-1;
                j:=j-1;
                x:=0; | // кнопка не задействована
        Key3: i:=i-1;
                j:=j-1;
                x:=0; | // кнопка не задействована
        Key4: x:=0;
                y:=0;
                flag1:=false;
                flag2:=false;
                j:=1;
                i:=0; | // Кнопка СБРОС!!!
        Key5: i:=i-1; | // кнопка ENTER!!!
        Key6: x:=3; | //3
        Key7: x:=6; | //6
        Key8: x:=9; | //9
        Key9: x:=0; | //0
        Key10: x:=2; | //2
        Key11: x:=5; | //5
        Key12: x:=8; | //8
        Key13: flag1:=true; //флаг запятой
                flag2:=true; //флаг момента нажатия
                x:=0;
                i:=i-2; | //сброс счета для запятой
```

```

Key14 : x:=1; | //1
Key15 : x:=4; | //4
Key16 : x:=7; | //7
endcase;
// _____ ограничение количества символов _____ //
if i>9 then
    x:=0;
    i:=i-1;
endif;
// _____ формирование набранного числа _____ //
if flag1=true Then //если была нажата запятая, то:
    if flag2=true then
        //если это момент нажатия запятой, то:
        flag2:=false;// восстановление состояния флага
    else
        j:=j+1;
        y:=y+x/pow10(j); //формула дробной части числа
    endif;
else y:=y*10+x; //формула целой части числа
endif;
i:=i+1;
// _____ вывод на ЖКИ _____ //
LCDxy(15-i, 1);
Write(LCDout, floattostr(y:9:6));
// _____ until (GetKey<>Key5);
end PP_KeyBoard;

```

Прил. 2.

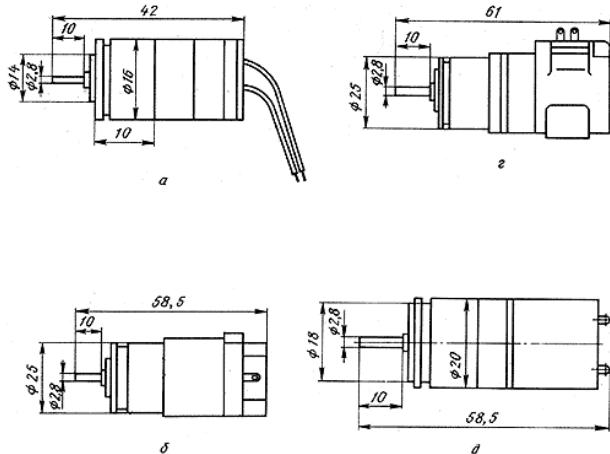
Основные технические данные и характеристики тахогенераторов постоянного тока типов 1,6ТГП-2(а), 2,5ТГП-4 (б), ТГП-5 (в), ТП-20 (д)

Параметр	Тип тахогенератора постоянного тока					
	1,6 ТГП- 2	2,5 ТГП- 4	ТГП- 5	ТП20- 6-0,5	ТП20- 4-0,2	ТП20- 4-1
Возбуждение	От постоянного магнита					
Номинальная крутизна изменения выходного напряжения, мВ*мин	2,5	4,0	4,0	6,0	4,0	4,0
Активное сопротивление нагрузки, Ом	10000	6000	10000	10000	10000	6000
Номинальная частота вращения, мин ⁻¹	3000	3000	6000	3000	6000	3000
Класс точности	0,5	1,0	0,2	0,5	0,2	1,0
Температурный коэффициент выходного напряжения, % на 1 градус С, не более	±0,04	±0,04	±0,04	±0,04	±0,04	±0,04
Пиковое значение пульсации выходного напряжения, %, не более	7,0	7,0	-	5,0	5,0	5,0
Режим работы	Продолжительный					
Масса, кг, не более	0,025	0,09	0,09	0,05	0,05 0,065	0,05 0,065

Серии ТГП-2, ТГП-4, ТГП-5, ТП-20-4-0,2, ТП-20-4-1



Габаритные, установочные и присоединительные размеры тахогенераторов постоянного тока типов 1,6ТГП-2(а), 2,5ТГП-4 (б), ТГП-5 (в), ТП-20 (д)



Прил. 3.

Задания к выполнению курсового проекта при регулировании ШИМ

Вариант	Коэффициент предделителя	Разрядность ШИМ	Шаг ступени регулирования ШИМ	Диапазоны контролируемых параметров				Наличие матричной клавиатуры
				ΔU , B	ΔI , A	Δn , $об / мин$	Δt , A	
1.	1	10	40	5.. U_{max}	1.. I_{max}	0.. n_{max}	-40..100	Да
6.	256	8	10	10.. U_{max}	2.. I_{max}	25.. n_{max}	-35..110	Нет
11.	64	9	20	15.. U_{max}	2,5.. I_{max}	75.. n_{max}	-30..105	Да
16.	8	10	50	25.. U_{max}	3,5.. I_{max}	125.. n_{max}	-25..115	Нет
21.	1024	8	5	30.. U_{max}	4,5.. I_{max}	50.. n_{max}	-20..120	Да
26.	256	9	15	35.. U_{max}	0.. I_{max}	100.. n_{max}	-15..125	Нет

U_{max} , I_{max} , n_{max} – максимальные расчетные значения (см. разд. 5.2.)

Если минимальное значение тока по отношению к I_{max} более 10%, необходимо разделить минимальное значение на 10.

Прил. 4.

Задания к выполнению курсового проекта при регулировании ФИМ

Вариант	Коэффициент предделителя Совпадение/ переполнение	Шаг ступени регулирования ФИМ	Диапазоны контролируемых параметров				Наличие матричной клавиатуры	
			$\Delta U, B$	$\Delta I, A$	$\Delta n, об / мин$	$\Delta t, A$		
2.	1	C	600	7.. U_{max}	1,2.. I_{max}	0.. n_{max}	-40..102	Да
7.	256	П	500	12.. U_{max}	2,2.. I_{max}	27.. n_{max}	-37..112	Нет
12.	64	C	400	17.. U_{max}	2,7.. I_{max}	77.. n_{max}	-32..107	Да
17.	8	П	700	27.. U_{max}	3,7.. I_{max}	127.. n_{max}	-27..117	Нет
22.	1024	C	800	32.. U_{max}	4,7.. I_{max}	52.. n_{max}	-22..120	Да
27.	256	П	900	37.. U_{max}	0.. I_{max}	102.. n_{max}	-17..122	Нет

U_{max} , I_{max} , n_{max} – максимальные расчетные значения (см. разд. 5.2.)

Если минимальное значение тока по отношению к I_{max} более 10%, необходимо разделить минимальное значение на 10.

Прил. 5.

Задания к выполнению курсового проекта при регулировании ЧМ

Вариант	Коэффициент предделителя Совпадение/ переполнение	Шаг ступени регулирования ЧМ	Диапазоны контролируемых параметров				Наличие матричной клавиатуры	
			$\Delta U, B$	$\Delta I, A$	$\Delta n, об / мин$	$\Delta t, A$		
3.	256	П	650	3.. U_{max}	1,1.. I_{max}	0.. n_{max}	-40..105	Да
8.	8	C	550	6.. U_{max}	2,1.. I_{max}	21.. n_{max}	-16..111	Нет
13.	1024	П	450	9.. U_{max}	2,6.. I_{max}	71.. n_{max}	-36..101	Да
18.	256	C	750	12.. U_{max}	3,6.. I_{max}	121.. n_{max}	-31..116	Нет
23.	64	П	850	15.. U_{max}	4,6.. I_{max}	51.. n_{max}	-26..121	Да
28.	1	C	950	20.. U_{max}	0.. I_{max}	101.. n_{max}	-11..119	Нет

U_{max} , I_{max} , n_{max} – максимальные расчетные значения (см. разд. 5.2.)

Если минимальное значение тока по отношению к I_{max} более 10%, необходимо разделить минимальное значение на 10.

Прил. 6.

Задания к выполнению курсового проекта при фазовом регулировании скорости ДПТ выпрямителями

Вариант	Прерывание по INT0	Прерывание по INT0	Количество ступеней регулирования	Диапазоны контролируемых параметров				Наличие матричной клавиатуры
				$\Delta U, V$	$\Delta I, A$	$\Delta n, об / мин$	$\Delta t, A$	
4.	Φ	C	40	9.. U_{max}	1,4.. I_{max}	0.. n_{max}	-40..102	Да
9.	C	Φ	20	14.. U_{max}	2,4.. I_{max}	29.. n_{max}	-39..112	Нет
14.	Φ	Φ	30	19.. U_{max}	2,9.. I_{max}	79.. n_{max}	-34..109	Да
19.	C	C	50	29.. U_{max}	3,9.. I_{max}	129.. n_{max}	-29..119	Нет
24.	Φ	C	25	34.. U_{max}	4,4.. I_{max}	54.. n_{max}	-24..120	Да
29.	C	Φ	45	39.. U_{max}	0.. I_{max}	104.. n_{max}	-19..122	Нет

U_{max} , I_{max} , n_{max} – максимальные расчетные значения (см. разд. 5.2.)

Φ – прерывание по фронту; C – прерывание по спаду.

Прил. 7.

Задания к выполнению курсового проекта при фазовом регулировании скорости асинхронных двигателей

Вариант	Прерывание по INT0	Прерывание по INT0	Количество ступеней регулирования	Диапазоны контролируемых параметров				Наличие матричной клавиатуры
				$\Delta U, V$	$\Delta I, A$	$\Delta n, об / мин$	$\Delta t, A$	
5.	Φ	C	40	8.. U_{max}	1,3.. I_{max}	0.. n_{max}	-40..102	Да
10.	C	Φ	20	13.. U_{max}	2,3.. I_{max}	28.. n_{max}	-38..112	Нет
15.	Φ	Φ	30	18.. U_{max}	2,8.. I_{max}	78.. n_{max}	-33..109	Да
20.	C	C	50	28.. U_{max}	3,8.. I_{max}	128.. n_{max}	-28..119	Нет
25.	Φ	C	25	33.. U_{max}	4,8.. I_{max}	53.. n_{max}	-23..120	Да
30.	C	Φ	45	38.. U_{max}	0.. I_{max}	103.. n_{max}	-18..122	Нет
35.	Φ	Φ	55	48.. U_{max}	4,3.. I_{max}	138.. n_{max}	-27..105	Да
40.	C	C	60	43.. U_{max}	5,3.. I_{max}	63.. n_{max}	-24..123	Нет

Продолжение прил. 7.

Вариант	Прерывание по INT0	Прерывание по INT0	Количество ступеней регулирования	Диапазоны контролируемых параметров				Наличие матричной клавиатуры
				$\Delta U, B$	$\Delta I, A$	$\Delta n, об / мин$	$\Delta t, A$	
45.	Φ	C	65	53.. U_{max}	3,5.. I_{max}	113.. n_{max}	-17..115	Да

$U_{max}, I_{max}, n_{max}$ – максимальные расчетные значения (см. разд. 5.2.)

Φ – прерывание по фронту; С – прерывание по спаду.

Если минимальное значение тока по отношению к I_{max} более 10%, необходимо разделить минимальное значение на 10.

Прил. 8.

Задания к выполнению курсового проекта при частотном регулировании скорости асинхронных двигателей

Вариант	Прерывание по INT0	Прерывание по INT0	Диапазон частот регулирования кГц	Диапазоны контролируемых параметров				Наличие матричной клавиатуры
				$\Delta U, B$	$\Delta I, A$	$\Delta n, об / мин$	$\Delta t, A$	
31.	Φ	C	1..10	2.. U_{max}	0,1.. I_{max}	0.. n_{max}	-40..102	Да
32.	C	Φ	0,5..5	4.. U_{max}	0,2.. I_{max}	11.. n_{max}	-39..103	Нет
33.	Φ	Φ	2..20	6.. U_{max}	0,3.. I_{max}	12.. n_{max}	-38..104	Да
34.	C	C	1,5..15	8.. U_{max}	0,4.. I_{max}	13.. n_{max}	-37..105	Нет
36.	Φ	C	2,5..25	10.. U_{max}	0,5.. I_{max}	14.. n_{max}	-36..120	Да
37.	C	Φ	0,5..9	12.. U_{max}	2.. I_{max}	15.. n_{max}	-35..119	Нет
38.	Φ	Φ	2..11	14.. U_{max}	3.. I_{max}	16.. n_{max}	-34..118	Да
39.	C	C	1,5..12	16.. U_{max}	4.. I_{max}	17.. n_{max}	-33..117	Нет
41.	Φ	C	2,5..13	18.. U_{max}	0,9.. I_{max}	118.. n_{max}	-32..110	Да
42.	C	Φ	5..15	19.. U_{max}	1,3.. I_{max}	119.. n_{max}	-31..111	Нет
43.	Φ	Φ	3..13	20.. U_{max}	1,2.. I_{max}	120.. n_{max}	-30..112	Да
44.	C	C	7..20	22.. U_{max}	1,1.. I_{max}	121.. n_{max}	-29..113	Нет

$U_{max}, I_{max}, n_{max}$ – максимальные расчетные значения (см. разд. 5.2.)

Φ – прерывание по фронту; C – прерывание по спаду.

Если минимальное значение тока по отношению к I_{max} более 10%, необходимо разделить минимальное значение на 10.

Рекомендованная литература

1. Трамперт В. AVR-RISC микроконтроллеры.: Пер. с нем. – К.: «МК-Пресс», 2006. – 464 с.: ил.
2. Евстифеев А.В. Микроконтроллеры AVR семейств Tiny и Mega фирмы «ATMEL» – М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2004. – 560с., ил.
3. Евстифеев А.В. Микроконтроллеры AVR семейства Classic фирмы ATMEL – 6-е изд., стер. – М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2008. – 288 с.: ил.
4. Баранов В.Н. Применение микроконтроллеров AVR: схемы, алгоритмы, программы, 2-е изд. испр. – М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2006. – 288с., ил.
5. Мортон Дж. Микроконтроллеры AVR. Вводный курс./Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2006. – 272 с.
6. Белов А.В. Конструирование устройств на микроконтроллерах. – СПб.: Наука и Техника, 2005. – 256 с., ил.
1. Белов А.В. Самоучитель разработчика устройств на микроконтроллерах AVR. – СПб.: Наука и Техника, 2008. – 544 с., ил.
2. Евстифеев А.В. Микроконтроллеры AVR семейства Tiny. Руководство пользователя. – М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2007. – 432 с.: ил.
3. Голубцов М.С. Микроконтроллеры AVR: от простого к сложного. – М.: СОЛОН-Пресс, 2003. – 288 с.

Учебное издание

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к выполнению курсового проекта
по дисциплине «Микропроцессорные системы управления в электроэнергетике»,
часть 2**

(для студентов, обучающихся по направлению
«Электроэнергетика и электротехника»,
профиль – «Электроснабжение»)

Составитель:

Дмитрий Васильевич Половинка

Авторская редакция
Оригинал-макет Д. В. Половинка

Издательство Луганского национального университета
имени Владимира Даля
Свидетельство о регистрации,
серия ДК №1620 от 18.12.2003

Адрес издательства: 91034, ЛНР, г. Луганск, кв. Молодежный, 20а
Телефон: 8(0642) 41-31-60. Факс: 8(0642) 41-34-12

E-mail dahl.univer@yandex.ru
<http://www.dahluniver.ru>