

ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

Хусаинов Р.З., Качалов А.В.

***МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ СИСТЕМЫ  
УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ***

Учебное пособие к курсовому проектированию

Челябинск  
Издательство ЮУрГУ  
2018 г.

Хусаинов Р.З., Качалов А.В. Микропроцессорные системы управления электроприводов. Учебное пособие к курсовому проектированию. Челябинск, Изд-во ЮУрГУ, 2018. – 48 с.

Рассматривается порядок выполнения курсового проекта по разработке микропроцессорной системы управления шагового электропривода, включающего в себя выбор двигателя, разработку и выбор элементов цифрового управляющего устройства, силовой части электропривода, элементов индикации и коммутации. Цифровое управляющее устройство должно быть выполнено на базе 8-ми разрядных микроконтроллеров AVR. Составной частью проекта является синтез программы для управления электроприводом, написанной на Ассемблере.

Учебное пособие предназначено для обучения студентов электротехнических специальностей, изучающих дисциплины по архитектуре и программированию микропроцессорных устройств и систем, а также дисциплине по цифровому управлению электромеханических систем.

Ил. 7., табл. 16, список лит. – 13 назв.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

1 ЦЕЛЬ КУРСОВОГО ПРОЕКТА .....	4
2 СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА.....	4
3 ВАРИАНТЫ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ЗАДАНИЙ НА ПРОЕКТ .....	5
4 УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАЗДЕЛОВ ПРОЕКТА .....	8
4.1 Введение .....	8
4.2 Исходные данные на проект.....	8
4.3 Разработка функциональной схемы системы.....	8
4.4 Выбор элементов силовой части электропривода .....	10
4.4.1 Выбор электродвигателя.....	10
4.4.2 Выбор силовых ключей .....	12
4.4.3 Выбор обратных диодов .....	13
4.4.4 Выбор силового источника питания.....	14
4.4.5 Выбор элементов защиты системы.....	16
4.5 Выбор элементов системы управления электропривода.....	16
4.5.1 Выбор управляющего устройства.....	16
4.5.2 Выбор драйверов для управления силовыми транзисторами и устройств гальванической развязки .....	18
4.5.3 Выбор элементов управления и индикации.....	21
4.5.4 Выбор источника питания системы управления.....	24
4.6 Разработка и описание принципиальной схемы системы управления .....	24
4.7 Расчет временных диаграмм работы элементов системы .....	25
4.8 Разработка программы управляющего устройства системы управления .....	27
4.8.1 Выбор периферийных устройств .....	27
4.8.2 Разработка блок-схемы алгоритма прерываний системы .....	29
4.8.3 Листинг программы с комментариями .....	30
ЛИТЕРАТУРА .....	31
ПРИЛОЖЕНИЕ 1 Варианты индивидуальных заданий по системам ШИП-ДПТ и ВД .....	32
ПРИЛОЖЕНИЕ 2 Параметры шаговых двигателей.....	34
ПРИЛОЖЕНИЕ 3 Полевые транзисторы с n-каналом .....	36
ПРИЛОЖЕНИЕ 4 Диоды Шоттки.....	38
ПРИЛОЖЕНИЕ 5 Импульсные источники электропитания .....	39
ПРИЛОЖЕНИЕ 6 Драйверы управления полевыми транзисторами.....	42
ПРИЛОЖЕНИЕ 7 Описание оптопары H11L1 .....	43
ПРИЛОЖЕНИЕ 8 Примеры оформления отдельных частей курсового проекта.....	45
ПРИЛОЖЕНИЕ 9 Пример составления листинга программы .....	48

## ***1 ЦЕЛЬ КУРСОВОГО ПРОЕКТА***

Целями курсового проекта являются:

- закрепление знаний по микропроцессорным элементам и системам управления электроприводов, выполненных на базе микроконтроллеров;
- приобретение навыков проектирования, выбора элементов и составления электрических схем систем электроприводов;
- знакомство с составом электрооборудования, последовательностью выбора элементов современного электропривода;
- практическая реализация программного обеспечения и проверка работоспособности микропроцессорной системы управления, выполненной на базе 8-ми разрядных микроконтроллеров AVR.

## ***2 СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА***

Курсовой проект содержит:

- пояснительную записку, объемом 15...20 страниц, с приложениями, которые включают схему электрическую принципиальную системы электропривода, перечень элементов, необходимую техническую документацию по основным элементам системы;
- программу, полученную в результате проектирования и апробированную на лабораторном стенде.

**Пояснительная записка** курсового проекта состоит из следующих разделов:

1. Введение.
2. Аннотация.
3. Исходные данные на проект.
4. Разработка функциональной схемы системы.
5. Выбор элементов силовой части электропривода.
6. Выбор элементов цепей управления электропривода.
7. Описание схемы электрической принципиальной электропривода.
8. Временные диаграммы работы элементов системы.
9. Листинг программы управляющего устройства и его апробация на лабораторном стенде.
10. Список использованной литературы.

Приложение 1: Схема электрическая принципиальная системы управления шагового электропривода.

Приложение 2: Перечень элементов системы управления шагового электропривода.

Приложение 3: Характеристики элементов системы управления шагового электропривода.

Пояснительная записка должна быть выполнена с учетом стандарта предприятия ЮУрГУ, оформлена на листах формата А4, должна содержать титульный лист, оглавление, задание на курсовое проектирование, основную часть, список литературы, а также приложения. Образец титульного листа приведен в прил. 8.

**Программа** должна быть набрана на Ассемблере, выполнена для микроконтроллеров AVR серии MEGA фирмы Atmel, а ее работоспособность продемонстрирована преподавателю. Общие сведения по AVR-контроллерам можно получить в литературе [1, 2], по Ассемблеру для этих контроллеров в [3], а также на официальном сайте фирмы Atmel [4]. Программа должна обеспечивать требования, предъявляемые к заданному варианту исполнения.

### ***3 ВАРИАНТЫ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ЗАДАНИЙ НА ПРОЕКТ***

В задании на проектирование предусмотрен расчет микропроцессорной системы управления шагового электропривода подачи станка с ЧПУ с управляющим устройством, выполненным на микроконтроллерах AVR. Для выбора исходных параметров системы для своего варианта проектирования используются персональные данные каждого студента, а именно: дата, месяц и год рождения, первые буквы фамилии, имени и отчества. Выбор выполняется по табл. 1...5, а именно:

– по табл. 1 выполняется выбор значения момента статического сопротивления в системе, относительно которого рассчитывается значение момента шагового двигателя;

Таблица 1

День рождения	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16
Мст, кг·см	1,5	1,8	2,2	2,7	3,3	3,9	4,7	5,6	6,8	8,2	10	12	15	18	22	27
День рождения	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
Мст, кг·см	33	39	47	56	68	82	100	110	130	150	180	220	270	330	390	

– по табл. 2 выполняется выбор схемы управления шагового электропривода и выбор количества требуемых скоростей в шаговом электроприводе;

Таблица 2

Месяц рождения	Тип схемы управления *	Количество скоростей, n	Месяц рождения	Тип схемы управления *	Количество скоростей, n
Январь	Униполярное, Симметричное, 1 фаза	8	Июль	Униполярное, Симметричное, 1 фаза	10
Февраль	Биполярное Симметричное, 2 фазы	7	Август	Биполярное Симметричное, 2 фазы	4
Март	Униполярное, Несимметричное	4	Сентябрь	Униполярное, Несимметричное	6
Апрель	Биполярное, Несимметричное	3	Октябрь	Биполярное, Несимметричное	3
Май	Униполярное, Симметричное, 2 фазы	6	Ноябрь	Униполярное, Симметричное, 2 фазы	9
Июнь	Биполярное Симметричное, 1 фаза	5	Декабрь	Биполярное Симметричное, 1 фаза	8

\* – выражение «симметричное, 1 фаза» означает, что в каждом такте управления двигателем включена 1 фаза статора, а выражение «симметричное, 2 фазы» – в каждом такте управления двигателем включены 2 фазы статора;

– по табл. 3 выполняется расчет значений требуемых скоростей в шаговом электроприводе по задаваемому начальному значению и шагу изменения скорости;

Таблица 3

Первая буква фамилии	Начальная скорость, об/мин	Шаг изменения скорости, об/мин		
		при количество скоростей n		
		$n \leq 4$	$4 < n \leq 8$	$n > 8$
А, П	40	40	20	10
Б, Р	35	35	25	15
В, С	30	30	20	10
Г, Т	25	25	15	5
Д, У	20	20	10	5
Е, Ф	15	15	10	7,5
Ж, Х	10	20	15	10
З, Ц	5	25	15	5
И, Ч	6	12	9	6
К, Ш	8	16	12	8
Л, Щ	12	24	12	6
М, Э	16	16	8	4,5
Н, Ю	24	24	16	12
О, Я	36	36	18	9

– по табл. 4 выполняется выбор схемы с реверсом или без него;

Таблица 4

Наличие реверса двигателя

Первая буква имени А...О	Есть реверс
Первая буква имени П...Я	Нет реверса

– по табл. 5 выполняется выбор типа параметра, который выводится на индикацию;

Таблица 5

Индикация скорости регулирования

Первая буква отчества	Единица измерения при выводе на индикацию скорости
А, Г, Ж, К, Н, Р, У, Ц, Щ, Я	об/мин
Б, Д, З, Л, О, С, Ф, Ч, Э	об/с
В, Е, И, М, П, Т, Х, Ш, Ю	Гц

– по прил. 1 преподаватель может назначить индивидуальное задание с расчетом микропроцессорной системы иного типа привода (с двигателем постоянного тока или вентильным двигателем).

**Пример выбора исходных параметров для проектирования:**

Выбираются параметры для студента Сидорова Ивана Сергеевича с датой рождения 15.06.1990:

1. Выбор момента статического сопротивления: по табл. 1 для соответствующего дня рождения (число «15») выбирается значение  $M_{ст}=22$  кг·см.

2. Выбор схемы управления и количества требуемых скоростей: по табл. 2 в соответствии с месяцем рождения «Июнь» выбираются: тип схемы – биполярное, симметричное управление, 1 фаза и количество скоростей регулирования  $n=5$ .

3. Расчет требуемых скоростей производится в соответствии с табл. 3 по первой букве фамилии (в данном случае по букве «С») начальная скорость равна 30 об/мин и, поскольку количество скоростей по заданию  $4 < n=5 \leq 8$ , шаг изменения скоростей равен 20 об/мин. Получаем следующие значения 5 скоростей:

- 30 об/мин;
- 50 об/мин;
- 70 об/мин;
- 90 об/мин;
- 110 об/мин.

4. По табл. 4 определяется возможность реверса: поскольку первая буква имени «И», выбирается реверсивный привод.

5. По табл. 5 и первой букве отчества выбираются данные для индикации (первая буква отчества «С»), на индикацию выводится скорость вращения двигателя в об/с.

## **4 УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАЗДЕЛОВ ПРОЕКТА**

### **4.1 Введение**

Во введении студентом должна быть сформулирована поставленная задача – спроектировать микропроцессорную систему управления шагового привода подачи станка с ЧПУ на основании заданных технических требований, указаны принятые методика и последовательность решения этой задачи, дана краткая характеристика основных решений, принятых в проекте.

### **4.2 Исходные данные на проект**

В этом разделе необходимо привести для своего варианта индивидуального задания все исходные данные для курсового проектирования в соответствии с табл. 1...5 с приведением своих персональных данных и последовательным выбором всех исходных параметров системы.

### **4.3 Разработка функциональной схемы системы**

На начальном этапе проектирования необходимо определиться, какие основные элементы электропривода должны входить в состав системы, а также требуют проведения расчета и выбора. Для этого составляется перечень основных элементов системы и на базе него рисуется функциональная схема микропроцессорной системы. На этом этапе еще неизвестны параметры двигателя, тип контроллера, характеристики других элементов системы, поэтому схема составляется в общем виде с учетом общих требований к системе без указания портов контроллера,

Перечень основных элементов зависит от решаемой задачи, в данном случае от исходного задания на проектирование. Поэтому перед прорисовкой функциональной схемы необходимо выбрать и словесно описать требуемые основные элементы системы:

1. Исполнительное электромеханическое устройство системы – шаговый двигатель с указанием требуемого режима управления двигателем.

2. Силовые ключи. В шаговом электроприводе в качестве силовых ключей практически всегда используются полевые транзисторы, так как уровень рабочих силовых напряжений и токов относительно невелик ( $U_H < 200V$ ,  $I_H < 100A$ ).

Количество силовых ключей зависит от типа схемы привода и типа управления двигателем: униполярная/биполярная схемы.

3. В целях улучшения характеристик управления, повышения надежности работы системы в целом схемы управления силовыми ключами независимо от типа управления должны содержать драйверы и устройства гальванической развязки. Если управление униполярное, то каждый силовой ключ должен управляться от драйвера верхнего или нижнего ключа (зависит от выбранной схемы). Если управление задано биполярное, то для управления каждой обмоткой двигателя должен выбираться мостовой усилитель мощности и система управления должна содержать драйверы верхних и нижних ключей. Между каждым управляющим сигналом контроллера и силовым ключом должна быть установлена отпозволенный ключ.

4. К основным выбираемым элементам системы относятся блоки питания, запитывающие основные элементы системы. В курсовом проекте рекомендуется использовать готовые промышленные источники питания. В функциональной схеме должны быть отражены 3 источника питания: силовой источник для питания двигателя, источник питания слаботочной части системы (контроллера, цепей управления и индикации), а также источник питания драйверов силовых ключей.

5. К питающей сети система в целом должна быть подключена через автоматический выключатель, который выполняет защитные функции при перегрузках и коротких замыканиях в электроприводе.

6. Элементы индикации, среди которых:

- индикатор наличия напряжения в системе или включения блоков питания;
- индикатор наличия разрешения работы системы;
- индикатор реверса двигателя;
- индикатор текущей скорости, выполненный на светодиодных семисегментных индикаторах. Количество разрядов индикаторов должно быть не менее 3. При наличии реверса в системе это должно быть отражено в индикации.

7. Элементы коммутации и регулирования (тумблеры, кнопки, потенциометры). Эти элементы должны обеспечивать:

- подачу разрешения работы системы;
- дискретное регулирование скорости;
- выполнять реверс двигателя (если это необходимо);
- задавать положение позиционной системы (если это требуется по заданию), что лучше выполнять с помощью потенциометра и аналоговыми входами микроконтроллера;

8. На функциональной схеме должно быть отражено цифровое управляющее устройство. В данном курсовом проекте в качестве управляющего устройства

должны быть использованы 8-ми разрядные микроконтроллеры фирмы Atmel серии AVR ATmegaXX. Для выбора конкретного типа управляющего устройства требуется знать, какое количество входов/выходов требуется от контроллера. Для этого при разработке функциональной схемы необходимо рассчитать:

- количество дискретных входных сигналов, подаваемых на вход контроллера для задания требуемых скоростей, реверса и разрешения работы;
- количество аналоговых сигналов, подаваемых на вход контроллера (если они требуются);
- количество дискретных выходных сигналов для управления силовыми ключами;
- количество дискретных выходных сигналов для требуемой индикации в системе.

После выбора и описания основных элементов системы прорисовывается схема электрическая функциональная.

#### **4.4 Выбор элементов силовой части электропривода**

Этот раздел проекта предполагает выбор следующих элементов системы:

- выбор двигателя;
- выбор силовых ключей;
- выбор обратных диодов;
- выбор силового источника питания;
- выбор элементов защиты системы.

Рассмотрим эти пункты отдельно.

##### **4.4.1 Выбор электродвигателя**

В данном проекте выполняется упрощенный выбор шагового двигателя. По заданному в задании на курсовой проект значению момента статического сопротивления, а также схеме управления двигателем (униполярная / биполярная, симметричная / несимметричная) из существующего перечня шаговых двигателей [7, 8] или по данным прил. 2 выбирается тип шагового двигателя. При выборе двигателя динамическая составляющая момента не учитывается.

При выборе двигателя по моменту учитываются следующие требования:

1. В каталожных данных на шаговые двигатели указывается значение максимального синхронизирующего момента. При выборе двигателя необходимо учитывать, что статический момент сопротивления не должен превышать значения максимального синхронизирующего момента, уменьшенного в  $\sqrt{2}$  раз [1, 2], т.е. должно соблюдаться неравенство:

$$M_{CT} \leq M_{MAX} / 1,41, \quad (1)$$

в противном случае работа системы будет неустойчивой, что приведет к потере шагов и нарушению работы системы.

Таким образом, максимальный синхронизирующий момент двигателя по условиям устойчивой работы должен удовлетворять условию

$$M_{MAX} \geq K_{зд} \cdot 1,41 \cdot M_{СТ} . \quad (2)$$

где  $K_{зд}$  – коэффициент запаса двигателя, выбираемый в диапазоне 1,1...1,2;  
 $M_{MAX}$  – максимальный синхронизирующий момент шагового двигателя;  
 $M_{СТ}$  – момента статического сопротивления.

2. При выборе типа двигателя по моменту должен быть учтен тип схемы управления обмотками – униполярный или биполярный. Для этого в формулу расчета момента вводится коэффициент схемы управления  $K_{СХ}$ :

– при униполярном управлении необходимо учитывать, что максимальный синхронизирующий момент  $M_{MAX}$  задается в каталожных данных двигателя для биполярного управления, т.е. для выбранного двигателя значение максимального синхронизирующего момента при униполярном управлении будет в 2 раза меньше каталожного значения. Поэтому при униполярном управлении  $K_{СХ}=2$ .

– при биполярном управлении коэффициент схемы  $K_{СХ}$  равен единице.

3. Кроме этого, на требуемое значение момента  $M_{MAX}$  шагового двигателя также влияет способ переключения обмоток:

- симметричный, 1 фаза;
- симметричный, 2 фазы;
- несимметричный.

Для учета способа переключения обмоток введем коэффициент  $K_{СП}$ . Требуемый момент должен быть обеспечен для любого такта переключения обмоток. В случае симметричного способа переключения обмоток и включенных в каждый момент времени 2 фаз момент двигателя будет иметь повышенное значение относительно каталожного значения в  $\sqrt{2}$  раз, таким образом,  $K_{СП} = 1/\sqrt{2}$ . В остальных вариантах переключения обмоток (симметричный, 1 фаза и несимметричный) значение момента  $M_{MAX}$  равно каталожному.

Учитывая все эти условия требуемое значение максимального синхронизирующего момента шагового двигателя должно удовлетворять условию:

$$M_{MAX} \geq K_{зд} \cdot K_{СХ} \cdot K_{СП} \cdot 1,41 \cdot M_{СТ} , \quad (3)$$

где  $K_{СХ}$  – коэффициент схемы управления (униполярная / биполярная);

$K_{СП}$  – коэффициент способа переключения обмоток (симметричный 1 фаза, несимметричный / симметричный 2 фазы).

Если максимальный синхронизирующий момент выбранного двигателя удовлетворяет условию (3), то делается вывод, что данный двигатель удовлетворяет всем критериям отбора по моменту. В противном случае необходимо выбрать другой двигатель.

После выбора типа двигателя в пояснительной записке необходимо привести в табличной форме каталожные параметры двигателя.

#### 4.4.2 Выбор силовых ключей

В качестве силовых ключей для управления шаговым двигателем выбираются полевые транзисторы с изолированным затвором – MOSFET-транзисторы. Они обеспечивают максимальное быстродействие при включении и выключении, требуют малых токов управления и обеспечивают необходимые силовые токи. Их недостаток (относительное небольшое максимальное напряжение сток-исток) при управлении шаговыми двигателями не сказывается.

Выбор силовых транзисторов можно выполнить по каталогам и сайтам фирм-производителей «*International Rectifier*» [10], *Vishay*, *Fairchild*, *Infineon*, *ST Microelectronics* [9] или по прил. 3. В прил. 3 приведены основные характеристики полевых транзисторов с n-каналом и максимальным коммутируемым напряжением сток-исток до 100В.

Силовые ключи выбираются в следующем порядке:

а) в зависимости от схемы включения определяется тип транзистора (n-канал или p-канал), чаще всего используется естественно n-канальные транзисторы, так как они открываются положительным напряжением на затворе;

б) рассчитывается максимальный ток, который должен коммутировать транзистор. Номинальный ток транзистора должен быть больше в коэффициент запаса по току  $K_{3H} = 2 \dots 5$  раз, чем требуемое значение номинального тока двигателя:

$$I_C^{MAX} = K_{3T} \cdot I_H ;$$

в) анализируется коммутируемое напряжение. Максимально допустимое напряжение сток-исток выбираемого транзистора  $U_{СИ}^{MAX}$  должно быть больше с коэффициентом запаса  $K_{3H}$  амплитуды коммутируемого напряжения  $U_{КОМ}$ :

$$U_{СИ}^{MAX} = K_{3H} \cdot U_{КОМ} .$$

Коэффициент запаса по напряжению обычно выбирают в диапазоне  $K_{3H} = 5 \dots 10$ . При выборе больших коэффициентов запаса необходимо учитывать тот факт, что транзисторы с большим значением допустимого напряжения «сток-исток» имеют большое значение сопротивления открытого канала, что чревато повышенным нагревом транзисторов при прохождении через них силового тока.

Рассчитав необходимые значения параметров полевых транзисторов по каталогам фирм-производителей или прил. 3, выбирают конкретный тип ключей. Далее по каталогам или сайтам (в файлах характеристик «datasheet») уточняют все остальные характеристики выбранных транзисторов и в табличной форме приводятся все основные характеристик, а именно:

- тип транзистора;
- тип канала;
- максимальное напряжение сток-исток;
- максимальный продолжительный ток стока;
- максимальная рассеиваемая мощность;
- максимальное значение сопротивление сток-исток в открытом состоянии;
- время включения;
- время выключения;
- тип корпуса.

#### **4.4.3 Выбор обратных диодов**

Обратные диоды предназначены для увеличения приемистости шагового электропривода (т.е. быстрого обнуления токов через обмотки управления), а также для защиты силовых транзисторов от перенапряжений при их коммутации. Так как силовое напряжение шаговых двигателей обычно не велико и требуется максимальная частота при работе диодов, то выбираются диоды Шоттки.

Выбор можно выполнить по каталогам фирмы «*International Rectifier*» [10] или [9] по следующим параметрам:

– максимальному обратному напряжению  $U_{OBR}$ . При этом учитывается амплитуда коммутируемого напряжения  $U_{КОМ}$ . Максимальное обратное напряжения диода должно  $U_{OBR}$  превышать коммутируемого напряжения не менее чем в 2...5 раз;

– максимальному допустимому прямому току  $I_{ПР}$ . При этом учитывается номинальный ток двигателя. Максимальный допустимый прямой ток диода должен превышать номинальный ток двигателя с коэффициентов запаса в 2...10 раз;

– времени восстановления запирающих свойств. Чем время меньше, тем быстрее диод закрывается и тем меньше динамические потери, возникающие в нем при коммутации обмоток. У диодов Шоттки время восстановления обычно должно находиться на уровне десятков наносекунд.

Для выбранного типа диода в табличной форме приводятся основные характеристики:

- тип;
- корпус;

- максимальное обратное напряжение;
- максимальный допустимый прямой ток;
- время восстановления.

Диоды Шоттки с основными техническими характеристиками приведены в прил. 4.

#### 4.4.4 Выбор силового источника питания

Источник питания выбирается после выбора основных элементов силовой части системы, так как только после их выбора становятся известными требуемые уровни напряжений и мощности нагрузок.

Расчеты нагрузок по каждому каналу источника питания необходимо привести в пояснительной записке.

Выбор силового источника питания выполняется в следующем порядке:

1. Рассчитываются характеристики требуемого источника питания, а именно:

– зная номинальный ток двигателя и его сопротивление, рассчитывается номинальное напряжение источника питания. На самом деле в схемах с шаговыми двигателями требуется не источник напряжения, а источник тока. В курсовом проекте выполняется выбор готового оборудования, а фирмы – производители выпускают в основном источники напряжения, поэтому для питания шаговых двигателей в проекте используются источники напряжения.

$$U_{ИП} = K_3 \cdot I_H \cdot R_D,$$

где  $K_3$  – коэффициент запаса. Этот коэффициент следует выбирать на уровне 1,05...1,2, так как большие коэффициент приведут к повышению тока, проходящего через обмотки двигателя, и, соответственно, к его перегреву;

$I_H$  – номинальный ток фазы электродвигателя;

$R_D$  – активное сопротивление фазы электродвигателя.

2. Зная напряжение источника электропитания и суммарный ток, потребляемый нагрузкой, рассчитывается мощность источника электропитания с учетом коэффициента запаса:

$$P_{ИП} = K_3 \cdot I_{НС} \cdot U_{ИП}.$$

Коэффициент запаса принимается равным 1,5...2, что обеспечивает стабильную работу источника электропитания без перегрузок и перегрева.

3. По полученным данным – напряжению и мощности выбирается источник питания.

Выбор источника питания можно выполнить по каталогам нерегулируемых импульсных источников питания фирм «Mean Well» [11], Aimtec, Power-One, Chinfa

и др. В прил. 5 приведены некоторые сведения по сериям импульсных источников питания фирмы «Mean Well».

В курсовом проекте при выборе источников питания необходимо учитывать следующие факторы:

– должны присутствовать уровни напряжений (токов), необходимые для работы оборудования системы (двигателя). Так, для работы шагового двигателя необходимо обеспечить номинальный ток обмотки двигателя;

– если двигатель работает в несимметричном режиме или симметричном 2 фазы, то при расчете тока и мощности необходимо учитывать одновременную работу 2 обмоток двигателя;

– если напряжение выбранного источника питания значительно превышает требуемое значение напряжения для получения заданного тока двигателя (более чем в 1,5 раза), то необходимо после источника питания устанавливать схему источника тока;

– в качестве силового источника питания предпочтительнее использовать преобразователи закрытого исполнения (в корпусе) с принудительной вентиляцией, для питания системы управления можно использовать преобразователи открытого исполнения;

– при недостатке мощности источника для питания двигателя использовать модульные преобразователи, т.е. серии, которые позволяют соединять преобразователи параллельно;

– источник должен иметь защиту от короткого замыкания на выходе и гальваническое разделение первичной и вторичной цепей.

В пояснительной записке к проекту необходимо привести основные технические характеристики преобразователей, а в приложении к ней – полные технические характеристики (*datasheet* на серию). Для примера в табл. 6 приведены основные характеристики блока питания RS-100-12. Особо необходимо отметить, что в приведенной таблице должна присутствовать характеристика «ток потребления», которая необходима для расчета тока перегрузки автоматического выключателя.

Таблица 6

Основные технические характеристики силового блока питания

№	Наименование характеристики	Значение
1	Тип	RS-100-12
2	Диапазон входных напряжений, В – переменного тока – постоянного тока	88...264 125...373
3	Номинальное выходное напряжение, В	12
4	Максимальный выходной ток, А	8,5

№	Наименование характеристики	Значение
5	Максимальная выходная мощность, Вт	102
6	Отклонение выходного напряжения, %	+/- 1
7	Диапазон регулирования выходного напряжения, В	10,8...13,2
8	К.п.д., %	81
9	Защиты	к.з., перегрузка
10	Ток потребления, А	0,96
11	Вентиляция	Естественная
12	Габариты, мм	159x97x38
13	Масса, кг	0,6

#### 4.4.5 Выбор элементов защиты системы

Элементы защиты должны обеспечивать защиту системы при перегрузках по току и коротких замыканиях в ее элементах. В схеме системы электропривода защиту проще всего выполнить автоматическим выключателем, выбранным по длительному рабочему току элементов системы. Основным фактором здесь выступают токи потребления источников питания. В проекте необходимо выполнить расчет суммарного тока потребления элементов электропривода, выбор типа автоматического выключателя и привести основные характеристики выбранного элемента защиты.

#### 4.5 Выбор элементов системы управления электропривода

В этом разделе производится выбор основных элементов микропроцессорной системы управления разрабатываемого электропривода. Необходимо выбрать следующие элементы:

- управляющее устройство;
- драйверы для управления силовыми транзисторами;
- элементы управления и индикации;
- источник питания системы управления.

##### 4.5.1 Выбор управляющего устройства

В качестве управляющего устройства в курсовом проекте предлагается использовать 8-разрядные микроконтроллеры ATmega семейства AVR фирмы «Atmel» [6]. Микроконтроллер является центральным элементом системы управления и отвечает за прием сигналов управления, формирование импульсов управления силовыми транзисторами, индикацию необходимых величин на светодиодном индикаторе.

Выбор микроконтроллера производится по требованиям, сформированным к нему исходя из составленной функциональной схемы. Правильно прорисованная

функциональная схема дает точное количество входов и выходов микроконтроллера, необходимых для реализации функционала, заложенного в задании на курсовой проект. При этом важно не только количество выводов микросхемы, но и их функция. Например, для реализации системы электропривода требуется использовать 2 таймера (первый 16-ти разрядный – для управления скоростью двигателя, второй 8-ми разрядный для индикации). Или, к примеру, если в проекте планируется использовать аналого-цифровой преобразователь, необходимо учитывать, что он жестко привязан к определенным выводам микроконтроллера, а в некоторых микроконтроллерах отсутствует вообще. Также важно указать, если некоторые выводы микроконтроллера используются в режиме широтно-импульсной модуляции (ШИМ), так как ШИМ в контроллерах AVR реализуется исключительно на таймерах, и количество выводов ШИМ ограничено.

При выборе микроконтроллера также необходимо учитывать, что если какой-либо его вывод используется в альтернативном режиме (АЦП, ШИМ и т.д.), то количество свободных выводов микроконтроллера уменьшается.

Результатом выбора управляющего устройства должна быть таблица, в которой приведено сопоставление требуемых характеристик микроконтроллера с характеристиками выбранного микроконтроллера AVR. В табл. 7 приведено такое сравнение на примере микроконтроллера ATmega88.

Таблица 7

Характеристики управляющего устройства

Параметр	Характеристики	
	Требуется контроллер	Выбран Atmega88-8PU
Напряжение электропитания	5 В	2,7...5,5 В
Частота кварцевого генератора	8 МГц	0...16 МГц
8-ми разрядные таймеры	1	2
16-ти разрядные таймеры	1	1
Выводы ШИМ	–	4
Цифровые входы/выходы	13	23
из них: входы	6	
выходы	7	
Аналоговые входы	–	8

В приложении необходимо привести полную таблицу с техническими характеристиками выбранного микроконтроллера на русском языке.

После выбора микроконтроллера необходимо выбрать также источник тактового сигнала – кварцевый резонатор. Резонатор выбирается исходя из допустимого диапазона рабочих частот микроконтроллера, однако в целях увеличения быстродействия, а также надежности работы схемы в целом частоту

резонатора желательно выбирать в диапазоне 4...12 МГц. Для надежности запуска в работу микроконтроллера необходимо правильно выбрать конденсаторы кварцевого резонатора.

#### **4.5.2 Выбор драйверов для управления силовыми транзисторами и устройств гальванической развязки**

Для формирования сигнала управления силовыми транзисторами в ряде случаев необходимо использовать следующие элементы:

- драйверы ключей, которые представляют собой специализированные микросхемы, предназначенные для формирования сигналов управления транзисторами;

- устройства гальванической развязки, необходимые для разделения цепей управления и силовых цепей.

**Выбор драйверов.** Несмотря на усложнение электрической схемы устройства, достигается ряд преимуществ, которые обеспечивает использование драйверов:

- формирование необходимых уровней сигналов управления транзисторами;
- защита транзисторов от превышения тока;
- защита транзисторных полумостов от сквозных токов;
- выдерживание временной задержки между выключением верхнего и включением нижнего транзисторов полумоста;
- блокировка неправильных команд управления.

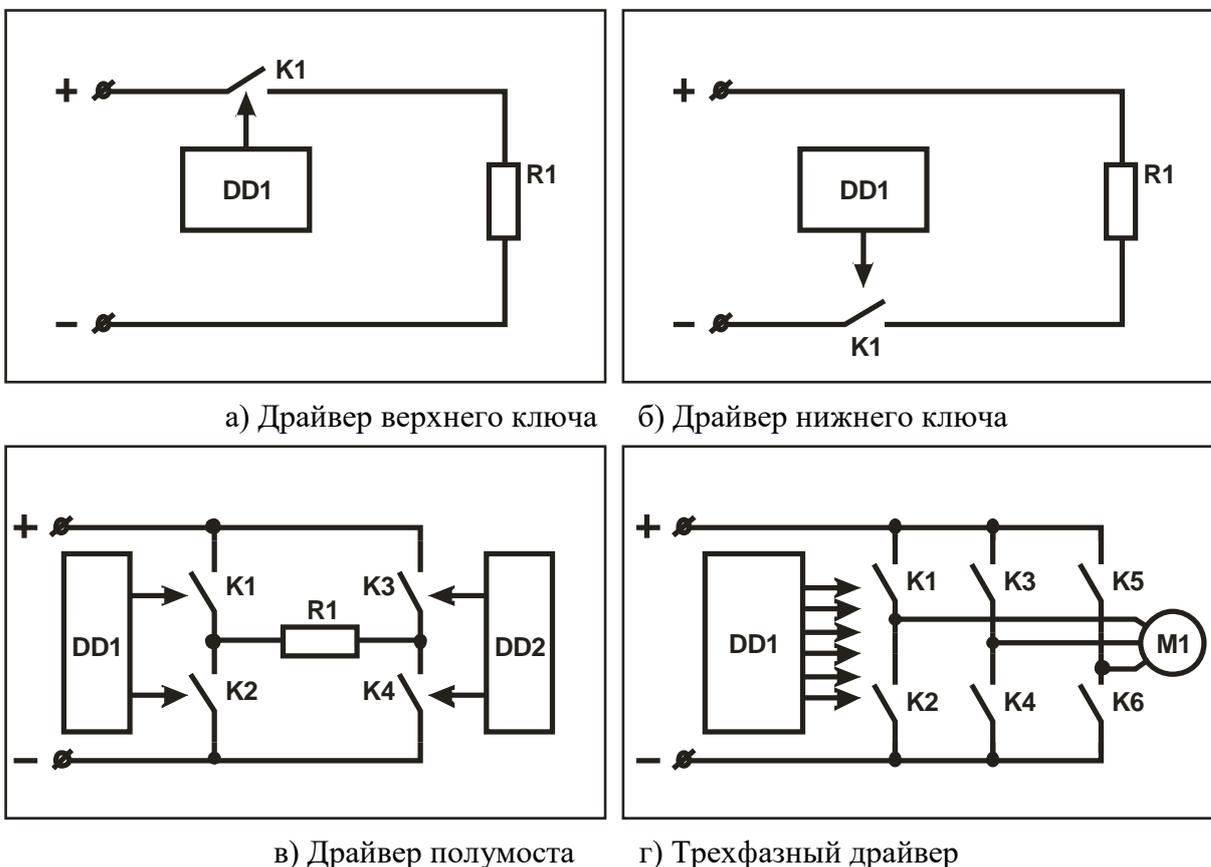
Перечень производителей микросхем драйверов достаточно широко представлен на современном рынке электроники, однако в целях упрощения поиска необходимого драйвера в курсовом проекте рекомендуется выбирать микросхемы фирмы «*International Rectifier*» [9, 10].

Возможны следующие типы драйверов:

- драйвер верхнего ключа (рис. 1, а);
- драйвер нижнего ключа (рис. 1, б);
- драйвер полумоста (рис. 1, в);
- трехфазный драйвер (рис. 1, г).

В курсовом проекте необходимо определить, какой тип драйвера следует использовать, обосновать выбор. После этого, руководствуясь каталогом фирмы «*International Rectifier*» [10], выбрать драйвер, исходя из следующих положений:

- импульсы управления с выхода микроконтроллера должны иметь амплитуду, достаточную для срабатывания драйвера;



а) Драйвер верхнего ключа

б) Драйвер нижнего ключа

в) Драйвер полумоста

г) Трехфазный драйвер

Рисунок 1 – Возможные типы драйверов для управления транзисторами

– максимальная частота входного сигнала драйвера должна быть больше несущей частоты, указанной в задании на курсовое проектирование, и выдаваемой микроконтроллером;

– выходное напряжение драйвера должно быть достаточным для включения силовых транзисторов;

– если используемый драйвер – драйвер полумоста или трехфазный, необходимо, чтобы он обеспечивал так называемое мертвое время, то есть время задержки между выключением верхнего и включением нижнего ключей;

– желательно наличие блокировки от неправильной комбинации входных сигналов (при попытке включить верхний и нижний ключи одновременно драйвер блокирует выдачу сигналов управления);

– необходимо обратить внимание на логику работы драйвера. В некоторых случаях управление верхним и нижним ключами осуществляется инверсными сигналами.

Драйверы также можно выбрать, исходя из данных, указанных в прил. 6.

После выбора драйвера необходимо привести его основные характеристики в отдельной таблице. Типовую схему подключения драйвера привести в приложении к пояснительной записке. В основных характеристиках драйверов привести следующие величины:

- максимальное рабочее напряжение, В;
- выходное напряжение, В;
- время включения/время выключения, нс;
- мертвое время, нс;
- величина входных сигналов, В.

**Выбор элементов гальванической развязки.** Наиболее простым способом разделения цепей при управлении транзисторами, работающими в ключевом режиме, является использование оптопар. В качестве таковых могут выступать микросхемы с максимальным допустимым напряжением между первичной и вторичной частями на уровне 1,5...8 кВ. Эти оптопары удобнее всего располагать между микроконтроллером и драйвером, развязывая, таким образом, высокочастотные сигналы управления силовыми транзисторами.

Оптопары удобно выбирать, руководствуясь, например, электронным каталогом [9], раздел «Оптоэлектроника», подраздел «Оптопары». При выборе оптопары необходимо обращать внимание на следующие параметры:

- тип выходного каскада. Здесь возможны следующие варианты: биполярный транзистор, схема Дарлингтона, триггер Шмитта, оптрон с логическим выходом, полевой транзистор, фототранзистор. Каждая из этих схем имеет свои достоинства и недостатки, связанные в первую очередь с типом выходного элемента (например, при использовании биполярного транзистора спадающий фронт выходного сигнала будет более пологим, чем нарастающий);

- напряжение изоляции ( $U_{ИЗ}$ ). Если оптопара выбирается с целью развязки, напряжение изоляции должно выбираться в диапазоне 1,5...8 кВ. Слишком малые значения напряжения изоляции не дают надежной развязки, большие значения напряжения дают увеличение габаритов микросхемы, а также ее стоимости;

- максимальный прямой ток  $I_{ПР}$  показывает, какой максимальный ток можно пропускать через светодиод оптопары для того, чтобы она включилась. Следует выбирать оптопары с максимальным током не более 50 мА, так как выбор микросхем с большим током потребует усложнения схемы электрической принципиальной.

- время включения / время выключения  $t_{ON}/t_{OFF}$ . Данный параметр характеризует динамические свойства оптопары и показывает, насколько быстро выходной сигнал переключается из выключенного состояния во включенное, и наоборот. Выбор времени включения/выключения зависит от частоты сигнала, который необходимо передать через эту оптопару.

В качестве примера рассмотрим характеристики оптопары H11L1 фирмы «Motorola»:

- количество каналов: 1;

- максимальный входной ток: 60 мА;
- тип выхода: триггер Шмитта;
- максимальный выходной ток: 50 мА;
- время включения: 1,2 мкс, время выключения: 1,2 мкс;
- максимальное напряжение изоляции: 7500 В;
- корпус: PDIP6;
- напряжение электропитания: +3...+16 В.

Подробное описание микросхемы H11L1 на английском языке представлено в прил. 7. При выборе оптопары необходимо привести в приложении ее описание, а в пояснительной записке – основные параметры на русском языке.

Поскольку выбор элементов развязки влечет за собой установку дополнительного источника электропитания, в случае необходимости установки развязки следует обратиться за подробной консультацией к преподавателю.

### **4.5.3 Выбор элементов управления и индикации**

Элементы управления, которые необходимо выбрать в курсовом проекте, представляют собой двухпозиционные тумблеры или кнопки, с помощью которых необходимо подавать на микроконтроллер сигналы управления, а также потенциометры, предназначенные для плавного задания сигнала управления.

При выборе элементов управления необходимо руководствоваться следующими рекомендациями:

- кнопки и тумблеры необходимо выбирать не с замыкающими или размыкающими контактами, а с переключающимся двухпозиционным контактом. В этом случае высокоомный вход микроконтроллера никогда не «висит» в воздухе, ловя помехи, а остается жестко притянутым к общей точке или к напряжению электропитания контроллера;

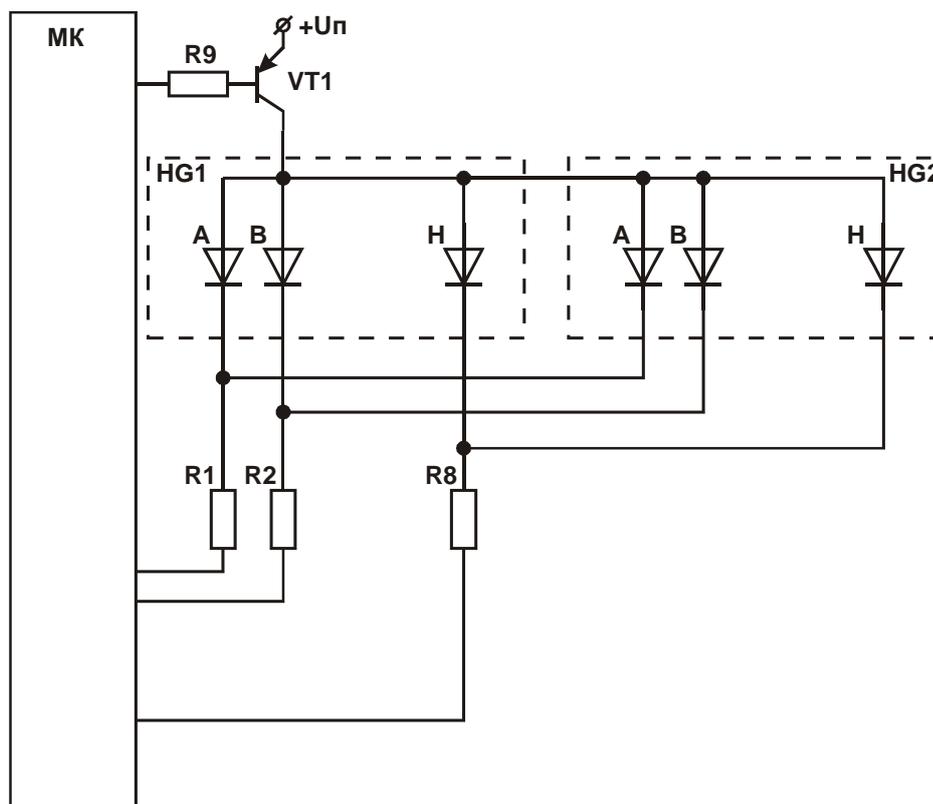
- каждое электромеханическое устройство имеет минимальное значение коммутируемого напряжения и тока, при которых производителем гарантируется надежный контакт. При выборе коммутационной аппаратуры необходимо обращать внимание на эти параметры – если они будут выше, чем уровни напряжений и токов в проектируемой системе, контакта может не быть, несмотря на то, что визуально все будет в порядке.

В качестве индикатора в курсовом проекте используется светодиодный четырехразрядный семисегментный индикатор. Индикатор необходимо выбирать по каталогам фирмы «Kingbright» [11] или [9]. Светодиодные индикаторы выпускаются двух видов:

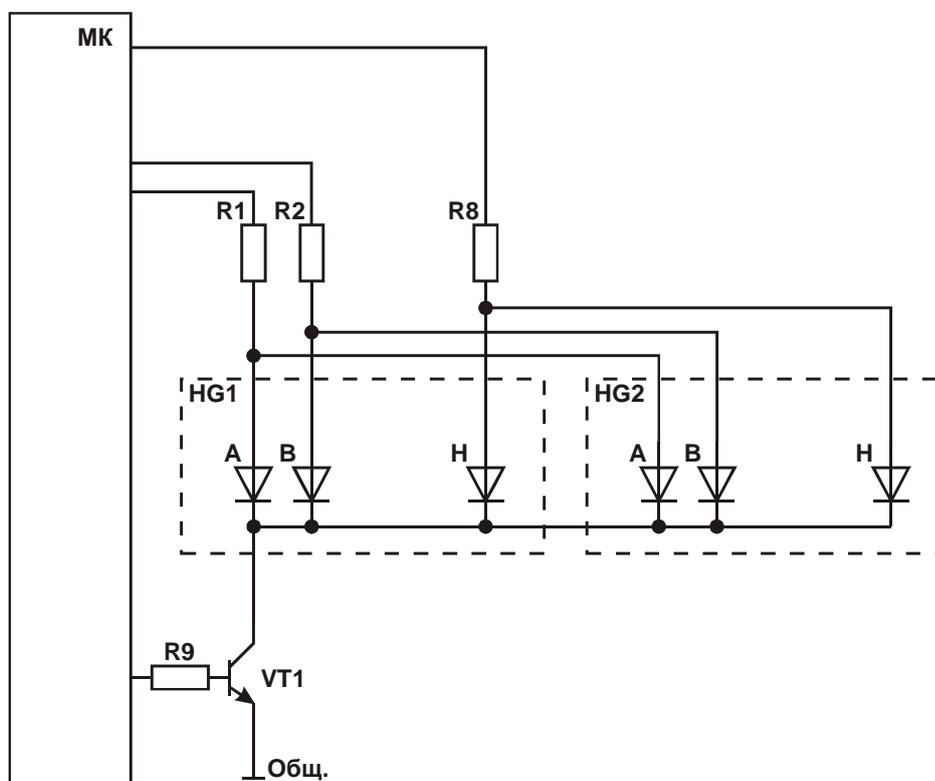
- индикаторы с общим анодом (СА). В данных индикаторах аноды всех светодиодов сегментов соединены вместе;

– индикаторы с общим катодом (СС). В данных индикаторах катоды всех светодиодов сегментов соединены вместе.

Тип индикатора определяет схему его включения. Схемы включения индикаторов указаны на рис. 2.



а) Схема с общим анодом



б) Схема с общим катодом

Рисунок 2 – Схемы включения семисегментных индикаторов

В качестве транзисторов VT1 используются маломощные биполярные транзисторы. В случае с общим анодом выбираются транзисторы типа «р-п-р», во втором варианте – транзисторы «п-р-п». Транзисторы выбираются следующим образом:

– в зависимости от схемы включения определяется тип транзистора (р-п-р или п-р-п);

– анализируется коммутируемое напряжение. Допустимое напряжение коллектора выбираемого транзистора  $U_{КЭ}^{MAX}$  должно быть больше с коэффициентом запаса  $K_3$  амплитуды коммутируемого напряжения  $U_{КОМ}$ :

$$U_{КЭ}^{MAX} = K_3 \cdot U_{КОМ}.$$

Коэффициент запаса обычно выбирают в диапазоне  $K_3 = 2...10$ , при этом большие значения коэффициента выбирают для малых коммутируемых напряжений, меньшие – для больших (более 100В). При этом слишком большой запас делать нельзя – это приводит к увеличению стоимости;

– рассчитывается максимальный ток, который должен коммутировать транзистор. Номинальный ток транзистора должен быть не менее, чем в 2 раза больше расчетного;

– анализируется коэффициент передачи по току транзистора  $h_{FE}$ . Он показывает, какой ток базы  $I_B$  необходимо задать, чтобы получить необходимый ток коллектора  $I_K$ :

$$I_B = \frac{I_K}{h_{FE}};$$

– чтобы перевести транзистор в ключевой режим работы, необходимо подать ток базы, превышающий расчетный. Однако он не должен превышать максимально допустимого тока базы, указанного в описании транзистора. Ток базы определяется резистором, установленным в цепь базы.

Резисторы R1...R8 определяют ток, проходящий через сегменты индикатора, и выбираются исходя из паспортных данных индикатора. Номинальное значение сопротивлений рассчитываются по формуле:

$$R = \frac{U_{П} - U_{VD}}{I_{VD}},$$

где  $U_{П}$  – напряжение электропитания индикатора, В;

$U_{VD}$  – прямое падение напряжения светодиодов индикатора, В;

$I_{VD}$  – номинальный ток светодиодов индикатора, А.

Рассчитав значение сопротивлений R1...R8 необходимо выбрать ближайшее по значению сопротивление, соответствующее рядом сопротивлений E6, E12 или E24. После выбора номинального значения сопротивлений необходимо рассчитать

требуемую мощность резисторов. Мощность рассчитывается по известным значениям тока и сопротивлений резисторов. Установленная мощность резисторов должна быть выбрана из ряда 0,125; 0,25; 0,5; 1; 2 Вт, и должна быть больше расчетной мощности не менее чем в 2 раза. Это позволит избежать перегрева резисторов при работе системы.

После выбора индикатора необходимо указать его основные параметры в отдельной таблице. Описание индикатора привести в приложении к пояснительной записке.

#### **4.5.4 Выбор источника питания системы управления**

Источник питания выбирается после выбора основных элементов системы управления, так как только после их выбора становятся известными требуемые уровни напряжений (для питания микроконтроллера, драйверов, индикатора), а также мощности нагрузок.

Источник выбирается по следующим критериям:

- должны присутствовать уровни напряжений, необходимые для работы оборудования системы управления;
- мощность каждого канала источника питания должна быть достаточной для питания подключенных к нему потребителей;
- должна присутствовать защита источника от короткого замыкания на выходе;
- источник должен иметь гальваническое разделение первичной и вторичной цепей.

Расчеты нагрузок по каждому каналу источника питания необходимо привести в пояснительной записке.

Выбор источника питания можно выполнить по каталогам фирмы «*MeanWell*» [9]. Параметры выбранного источника привести в отдельной таблице. Перечень блоков питания «*MeanWell*» с краткими техническими характеристиками приведен в прил. 5.

#### **4.6 Разработка и описание принципиальной схемы системы управления**

В данной главе необходимо нарисовать электрическую принципиальную схему, собрав на ней все выбранные элементы и соединив их согласно типовым схемам подключения, указанным в описании к ним, или согласно разработанным ранее узлам (например, семисегментный индикатор). Схема электрическая изображается на листе формата А3 и выполняется в виде отдельного приложения к пояснительной записке к курсовому проекту.

На схеме электрической необходимо наличие следующих элементов:

- все выбранные устройства силовой и низковольтной частей электропривода, в т.ч. источники питания силовой части и системы управления;
- разъемы для подачи напряжения на схему. Разъемы должны быть выбраны в данном пункте;
- фильтрующие конденсаторы. Обычно принято ставить большие электролитические конденсаторы на выход источников питания или в промежуточные точки схемы при наличии большого числа потребителей. Также необходимо ставить керамические конденсаторы номиналом  $0,1 \dots 1$  мкФ на выходах источников питания и на входе питания каждой микросхемы, являющейся потенциальным источником помех;
- LC-фильтр по питанию микроконтроллера. Данный фильтр помогает убрать помехи, которые могут привести к сбою в работе микроконтроллера. С этой целью промышленность специально выпускает индуктивности номиналом  $10 \dots 100$  мкГн с максимальным током не более 500 мА;
- дополнительные пассивные элементы, которые не были предусмотрены при выборе основного оборудования (токоограничивающие и подтягивающие резисторы, защитные диоды, пассивные фильтры, светодиоды). Все эти элементы должны быть выбраны, выбор должен быть обоснован. При этом можно использовать каталог [6].

При необходимости для облегчения выбора элементов в данном разделе пояснительной записки можно привести часть электрической схемы, указать все элементы и привести расчеты указанных элементов.

После прорисовки схемы электрической принципиальной необходимо составить перечень элементов и привести его в отдельном приложении к пояснительной записке.

Пример оформления элементов схемы электрической принципиальной приведен в прил. 8.

#### **4.7 Расчет временных диаграмм работы элементов системы**

В данном разделе необходимо привести временные диаграммы работы электропривода, по крайней мере, для 2 скоростей с приведенными на них значениями временных интервалов, периодов, частот.

Диаграммы должны быть связаны друг с другом, взаимосвязь или смена режимов должны быть четко обозначены. На каждой диаграмме должны быть указаны уровни сигналов в вольтах и время, соответствующее выбранным скоростям вращения.

Должны быть приведены следующие временные диаграммы:

- сигнал «Разрешение», блокирующий или разрешающий работу системы;

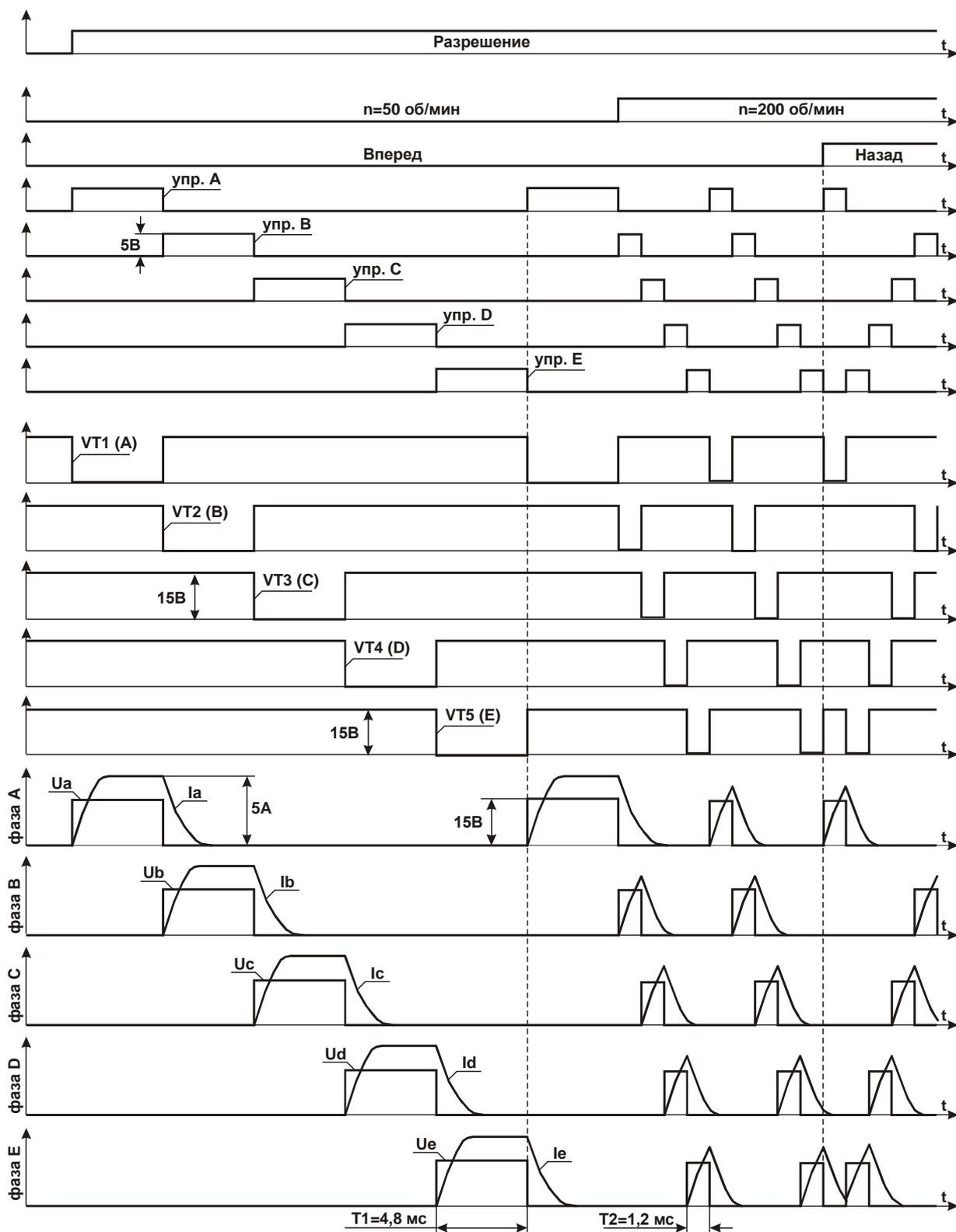


Рисунок 3 – Временные диаграммы работы электропривода  
(на примере 5-фазного шагового двигателя с симметричным  
униполярным управлением)

– сигнал «Направление» (если он предусмотрен заданием). В случае, если сигнал присутствует, необходимо показать работу системы в направлении «Вперед», после чего инвертировать сигнал и показать диаграммы работы системы в направлении «Назад»;

– сигнал задания. Если предусмотрено изменение скорости вращения электродвигателя, необходимо показать, по крайней мере, две уставки по скорости и отразить изменения на временных диаграммах;

- сигналы управления транзисторами, выходящие с микроконтроллера;
- напряжение на транзисторах;
- напряжение на обмотках двигателя;
- ток через обмотки двигателя.

Временные диаграммы можно выполнить на листах миллиметровой бумаги или перенести в приложение, изобразив диаграммы на листе формата А4.

## **4.8 Разработка программы управляющего устройства системы управления**

В данном разделе пояснительной записки необходимо привести этапы разработки программы управления, предназначенной для создаваемого электропривода.

**Важно:** программу необходимо написать для микроконтроллеров Atmega8535 или ATmega32, поскольку только в этом случае будет возможность отладить ее на учебном лабораторном стенде.

Если микроконтроллер, выбранный ранее в пункте 4.5.1, не является микроконтроллером Atmega8535 (ATmega32), необходимо привести таблицу соответствия, в которой требуется указать соответствие входов и выходов выбранного контроллера и микроконтроллера Atmega8535 (ATmega32).

### **4.8.1 Выбор периферийных устройств**

Поскольку микроконтроллер Atmega8535 (ATmega32) имеет развитую систему периферийных устройств, перед написанием программы необходимо определиться, какие устройства будут использоваться при решении поставленной задачи. Также необходимо указать и рассчитать режимы работы выбранных периферийных устройств.

Могут быть использованы следующие устройства:

**1. Порты ввода/вывода.** Назначение портов ввода/вывода становится ясным после прорисовки функциональной схемы разрабатываемого электропривода. Используемые порты необходимо определить на соответствующую функцию. Неиспользуемые ножки портов необходимо определить на вывод информации и вывести на них нулевой сигнал. В этом случае сопротивление неподключенных выводов микроконтроллера становится минимальным, что делает их невосприимчивыми к помехам. Однако при данной инициализации портов необходимо внимательно подключать микроконтроллер, чтобы не допустить короткого замыкания на какую-либо ножку порта ввода/вывода.

**2. Таймеры/счетчики T0 и T2.** Данные таймеры могут быть использованы как для подсчета временных интервалов, так и для вывода ШИМ-сигналов, предназначенных для управления силовыми транзисторами.

При использовании таймеров в режиме ШИМ необходимо обращать внимание на тип ШИМ – фазовый или быстрый, прямой или инверсный.

При использовании таймеров для формирования сигнала несущей частоты (отсчет одинаковых интервалов времени) очень удобно использовать режим CTC (Clear To Compare).

Необходимо обратить внимание, что ввиду ограниченной разрядности таймеров T0 и T2 их удобно использовать при отсчете небольших интервалов времени (до 20...30 мс). При больших временных задержках удобно использовать 16-разрядный таймер T1.

**3. Таймер-счетчик T1.** Данный таймер выполняется 16-разрядным, при этом он имеет возможность отсчитывать большие интервалы времени, получать инфранизкие частоты работы и работать в режиме ШИМ разной разрядности с двумя выходными каналами. Необходимо учитывать, что это позволяет получать более точные значения скважности выходного сигнала ШИМ.

**4. Аналого-цифровой преобразователь.** При использовании АЦП необходимо настроить следующие его параметры:

- выбрать источник сигнала опорного напряжения (регистр ADMUX);
- выбрать используемый вход АЦП (регистр ADMUX);
- выбрать скорость работы АЦП (регистр ADCSRA);
- инициализировать прерывания по АЦП (регистр ADCSRA);
- определиться с разрядностью результата преобразования. Если разрядность 8 бит удовлетворяет поставленным требованиям, для облегчения задачи следует использовать левое выравнивание результата преобразования АЦП (регистр ADMUX).

**5. Внешние прерывания INT0, INT1, INT2.** Использование системы внешних прерываний позволяет четко фиксировать изменение фронта сигналов, благодаря чему появляется возможность мгновенной реакции системы на определенные события (например, на изменение сигналов, поступающих с датчиков Холла вентильного двигателя).

При использовании внешних прерываний необходимо помнить, что прерывания INT0 и INT1 могут срабатывать как по спадающему и нарастающему фронтам сигналов отдельно, так и по обоим фронтам сигналов одновременно. Прерывание INT2 может быть настроено одновременно только на один фронт входного сигнала и в случае необходимости оно должно быть переопределено в процессе выполнения программы.

После выбора периферийных устройств необходимо составить таблицу, в которой необходимо указать используемые периферийные устройства и функции, возлагаемые на них. Пример такой таблицы представлен ниже.

Таблица 8

Используемые периферийные устройства

Устройство	Решаемая задача
Порт ввода/вывода А	– ввод аналоговых сигналов в микроконтроллер (РА0); – выходы РА1-РА7 не используются.
Порт ввода/вывода В	– подача сигнала «Разрешение» (РВ0); – подача сигнала «Направление» (РВ1); – управление разрядами индикатора (РВ4-РВ7); – выходы РВ2, РВ3 не используются
Порт ввода/вывода С	– управление сегментами индикатора (РС0-РС7).
Порт ввода/вывода D	– выдача управляющих импульсов на широтно-импульсный преобразователь, из них два сигнала ШИМ с таймера Т1 (PD2-DP5); – выходы PD0, PD1, PD6, PD7 не используются.
Таймер/счетчик Т0	– отсчет временных интервалов несущей частоты 2 кГц (режим СТС, предделитель 64); – обновление данных, направляемых на индикацию, расчет скважности ШИМ (прерывание по совпадению).
Таймер/счетчик Т2	Не используется
Таймер/счетчик Т1	Работа в режиме двухканального ШИМ (10 бит, быстрый, прямой).
Аналого-цифровой преобразователь	– преобразование сигнала управления в цифровой код разрядностью 8 бит (предделитель 64, левое выравнивание результата).
Внешние прерывания	Не используются.

#### 4.8.2 Разработка блок-схемы алгоритма прерываний системы

В пояснительной записке курсового проекта необходимо привести блок-схему алгоритма не всей программы, а только алгоритмы элементов микроконтроллера, работающих по прерываниям.

При написании программы важно понимать, какая функция будет возложена на конкретное периферийное устройство микроконтроллера. Каждое периферийное

устройство имеет одно или несколько прерываний. К примеру, таймер T0 имеет прерывание как по совпадению, так и по переполнению. В данном пункте необходимо для каждого прерывания:

- привести словесное описание назначения данного прерывания и последовательность работы этой части программы;

- привести блок-схемы алгоритма данного прерывания.

### **4.8.3 Листинг программы с комментариями**

В данном пункте пояснительной записки необходимо привести полный листинг программы, написанной на Ассемблере, в удобной форме для анализа его работы, а именно:

- в «шапке» (верхней части программы) привести назначение программы, дату написания программы, фамилию и инициалы автора, используемые входы/выходы, используемые периферийные устройства и их настройку (таймеры, АЦП и т.п.);

- привести комментарии по назначению групп команд, а также по узловым местам программы;

- метки условных и безусловных переходов должны быть выделены и смещены по горизонтали;

- обработчики прерываний и подпрограммы также должны быть выделены в программе.

Пример листинга программы приведен в прил. 9.

## *ЛИТЕРАТУРА*

1. Арменский Е.В., Фалк Г.Б. Электрические машины: Учеб. пособие для студ. электротехн. спец. вузов. – М.: Высш. шк., 1985.-231 с.
2. Юферов Ф.М. Электрические машины автоматических устройств: Учеб. Для студентов вузов. – М.: Высш. шк., 1988.–479 с.
3. Белов А.В. Самоучитель разработчика устройств на микроконтроллерах AVR. – СПб.: Наука и техника, 2008.– 544 с.
4. Мортон Дж. Микроконтроллеры AVR. Вводный курс. / Пер. с англ. – М. : «Додэка-XXI», 2006.–272 с.
5. Трамперт В. AVR-RISC микроконтроллеры. / Пер. с нем.–К.: «МК-Пресс», 2006.– 464 с.
6. [www.atmel.com](http://www.atmel.com) – микроконтроллеры AVR
7. [www.stepmotor.ru](http://www.stepmotor.ru) – каталог по шаговым двигателям
8. [www.electroprivod.ru](http://www.electroprivod.ru) – каталог по шаговым двигателям
9. [www.promelec.ru](http://www.promelec.ru) – каталог «Промышленная электроника»
10. [www.irf.com](http://www.irf.com) – каталог по силовым транзисторам, диодам и драйверам
11. [www.kingbright.com](http://www.kingbright.com) – каталог по индикаторам.
12. [www.meanwell.com](http://www.meanwell.com) – каталог по источникам питания.
13. [www.chipdip.ru/catalog](http://www.chipdip.ru/catalog) – каталог фирмы «Чип и Дип».

## **ПРИЛОЖЕНИЕ 1**

### **Варианты индивидуальных заданий по системам ШИП-ДПТ и ВД**

#### **Вариант 1**

##### **Регулирование скорости в нереверсивном электроприводе ШИП-ДПТ**

Основные характеристики системы:

- мощность двигателя постоянного тока – в диапазоне 100...300 Вт;
- напряжение питания – 110...220В;
- возбуждение параллельное и независимое;
- регулирование скорости – потенциометром в диапазоне  $(0,1 \dots 1,0)n_H$  об/мин;
- индикация: наличие сигнала разрешения, текущее задание скорости на семисегментных индикаторах в об/мин;
- входы управления – сигнал разрешения, кнопки «Пуск» и «Стоп», потенциометр задания скорости.

#### **Вариант 2**

##### **Система дискретного регулирования скорости реверсивного электропривода ШИП-ДПТ с несимметричным управлением**

Основные характеристики системы:

- мощность двигателя постоянного тока – в диапазоне 200...500 Вт;
- напряжение питания – 48...100В;
- возбуждение параллельное и независимое;
- управление несимметричное;
- задание скорости – дискретное 8 скоростей:  $\pm(0,1, 0,2 \dots 0,8) n_H$  об/мин;
- индикация: наличие сигнала разрешения и реверс, текущее задание скорости на семисегментных индикаторах в об/мин;
- входы управления – сигнал разрешения, сигнал направления вращения, биты задания скорости.

#### **Вариант 3**

##### **Система аналогового регулирования скорости реверсивного электропривода ШИП-ДПТ с симметричным управлением**

Основные характеристики системы:

- мощность двигателя постоянного тока – в диапазоне 50...250 Вт;
- напряжение питания – 110...220В;
- возбуждение параллельное и независимое;
- управление симметричное;
- регулирование скорости – потенциометром в диапазоне  $\pm(0,2 \dots 0,9)n_H$  об/мин;
- индикация: текущее задания скорости на семисегментных индикаторах в об/мин;
- входы управления – сигнал разрешения, сигнал направления вращения, потенциометр задания скорости.

#### **Вариант 4**

##### **Система плавного пуска нереверсивного электропривода ШИП-ДПТ**

Основные характеристики системы:

- мощность двигателя постоянного тока – в диапазоне 500...1000 Вт;
- напряжение питания – 48...96В;
- возбуждение – от постоянных магнитов или электромагнитное;
- задание скорости –  $0,5n_H$  или  $1,0n_H$  об/мин;

- плавное регулирование потенциометром темпа нарастания сигнала до заданной скорости в диапазоне 1,0...60,0 сек;
- индикация текущей постоянной времени задатчика интенсивности на семисегментных индикаторах в секундах;
- входы управления – сигнал разрешения, кнопки «Пуск» и «Стоп», потенциометр задания темпа.

### **Вариант 5**

#### **Система плавного пуска реверсивного электропривода ШИП-ДПТ**

Основные характеристики системы:

- мощность двигателя постоянного тока – в диапазоне 150...600 Вт;
- напряжение питания – 110...220В;
- управление симметричное;
- 4 фиксированных значения скорости с реверсом  $\pm(0,25; 0,5; 0,75; 1,0)n_H$  об/мин;
- 2 фиксированных значения темпа нарастания задания скорости – 2,0 с и 10,0 с;
- индикация: текущее значение скорости со знаком или текущее значение постоянной времени задатчика интенсивности (выбирается тумблером);
- входы управления – входы разрешения, задания скорости, реверса и темпа.

### **Вариант 6**

#### **Система дискретного регулирования скорости электропривода с вентильным двигателем**

Основные характеристики системы:

- тип вентильного двигателя FL42BLS01;
- задание скорости – дискретное, 10 различных значений  $\pm (0,1; 0,2; \dots 1,0)$  об/мин);
- индикация текущей скорости на семисегментных индикаторах в об/мин;
- входы управления – сигналы разрешения, направления вращения и скорости.

### **Вариант 7**

#### **Система аналогового регулирования скорости реверсивного электропривода с вентильным двигателем**

Основные характеристики системы:

- тип вентильного двигателя FL57BL04;
- задание скорости – плавное, потенциометром:  $\pm (0,1 \dots 1,0) n_H$  об/мин;
- вывод на семисегментные индикаторы – задание скорости;
- входы управления – разрешение, направление вращения и потенциометр.

### **Вариант 8**

#### **Система плавного пуска электропривода с вентильным двигателем**

Основные характеристики системы:

- тип вентильного двигателя FL86BLS58;
- задание скорости – 2 фиксированных значения  $\pm(0,25; 0,75) n_H$  об/мин;
- дискретное задание темпа нарастания скорости 1,0 сек и 10,0 сек;
- индикация: задание скорости с учетом знака или текущей постоянной времени задатчика на 7-сегментных индикаторах;
- входы управления – сигнал разрешения, сигнал направления вращения, входы задания скорости и темпа.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2

### Параметры шаговых двигателей

Таблица П1

№	Тип двигателя	Рабочий ток / фаза, А	Сопротивление / фаза, Ом	Индуктивность / фаза, мГн	Крутящий момент, кг-см <sup>1</sup>	Эл. схема
	<b>Ø=20 мм</b>					
1	FL20STH30-0604A	0,6	6,5	1,7	0,18	2
2	FL20STH42-0804A	0,8	5,4	1,5	0,3	2
	<b>Ø=28 мм</b>					
3	FL28STH32-0956A	0,95	2,8	1	0,43	1
4	FL28STH45-0956A	0,95	3,4	1,2	0,75	1
5	FL28STH51-0956A	0,95	4,6	1,8	0,9	1
6	FL28STH51-0674A	0,67	9,2	7,2	1,2	2
	<b>Ø=35 мм</b>					
7	FL35ST28-0406A	0,4	28	7,51	0,85	1
	<b>Ø=39 мм</b>					
8	FL39ST20-0506A	0,5	13	7,5	0,8	1
9	FL39ST34-0306A <sup>2</sup>	0,3	40	20	1,3	1
10	FL39ST38-0504A <sup>2</sup>	0,5	24	45	2,9	2
	<b>Ø=42 мм</b>					
11	FL42STH25-0404A	0,4	24	36	1,7	1
14	FL42STH38-0406A <sup>2</sup>	0,4	30	30	2,6	1
15	FL42STH38-1684A	1,68	1,65	3,2	3,6	2
16	FL42STH47-0406A <sup>2</sup>	0,4	30	25	3,17	1
17	FL42STH47-1684A	1,68	1,65	2,8	4,4	2
18	FL42STH60-1206A	1,2	6	7	6,5	1
	<b>Ø=57 мм</b>					
19	FL57ST41-0406A <sup>2</sup>	0,4	30	30	2,88	1
20	FL57ST41-1564A	1,56	1,8	3,6	4	2
21	FL57ST51-0426A <sup>2</sup>	0,42	29	36	4,97	1
22	FL57ST56-0606 <sup>2</sup>	0,6	20	32	6,05	1
23	FL57ST76-0686A <sup>2</sup>	0,68	17,7	30	9	1
24	FL57STH41-1006A <sup>3</sup>	1	5,7	5,4	3,9	1
25	FL57STH41-2804A <sup>3</sup>	2,8	0,7	1,4	5,5	2
26	FL57STH51-1006A	1	6,6	8,2	7,2	1
27	FL57STH51-2804A	2,8	0,83	2,2	10,1	2
28	FL57STH56-1006A <sup>3</sup>	1	7,4	10	9	1
29	FL57STH56-2804A <sup>3</sup>	2,8	0,9	2,5	12,6	2
30	FL57STH76-1006A <sup>3</sup>	1	8,6	14	13,5	1
31	FL57STH76-2804A <sup>3</sup>	2,8	1,13	3,6	18,9	2
	<b>Ø=86 мм</b>					
32	FL86ST62 - 4506A	4,5	0,4	1,4	13	1
33	FL86ST94 - 4006A	4	0,75	4,5	26	1
34	FL86ST94 - 1006A <sup>2</sup>	1	12	72	26	1
34	FL86ST94-5606B	5.6	0.38	3.9	35	1
35	FL86ST134-1806B	1,8	6.5	41	36	1
36	FL86ST134 - 4006A	4	1,25	6,6	36	1
37	FL86ST134-6706B	6,7	0.45	2	36	1
38	FL86ST134-5606B	5,6	0.63	6.6	50	1
39	FL86STH65-2808A	2,8	1,4	3,9	34	1

№	Тип двигателя	Рабочий ток / фаза, А	Сопротивление / фаза, Ом	Индуктивность / фаза, мГн	Крутящий момент, кг-см <sup>1</sup>	Эл. схема
40	FL86STH80-4208A	4,2	0,75	3,4	46	1
41	FL86STH118-6004A	6	0,6	6,5	87	2
42	FL86STH156-6204A	6,2	0,75	9	122	2
43	FL86STH156-4208A	4,2	1,25	8	122	1
	<b>Ø=110 мм</b>					
44	FL110STH99-5504A	5,5	0,9	12	112	2
45	FL110STH150-6504A	6,5	0,8	15	210	2
46	FL110STH201-8004A	8	0,67	12	280	2
	<b>Ø=130 мм</b>					
47	FL130BYG-2501	6	0,7	14	275	2
48	FL130BYG-2502	7	0,8	17	407	2
49	FL130BYG-2503	7	0,95	17	509	2

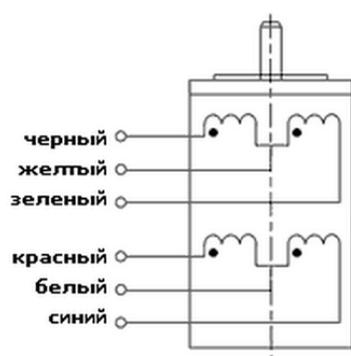


Схема №1

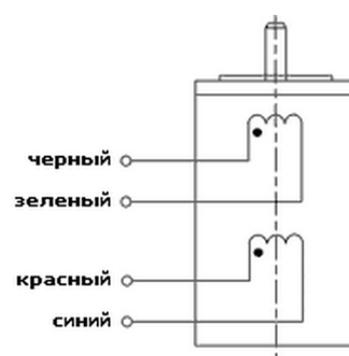


Схема №2

Рисунок П1 – Схемы включения шаговых электродвигателей

Таблица П2

Общие технические характеристики шаговых двигателей серии FL

Наименование	Значение
Тип	гибридный
Угловой шаг	1.8°
Погрешность углового шага (полный шаг, без нагрузки)	±5%
Погрешность сопротивления	±10%
Погрешность индуктивности	±20%
Максимальный нагрев двигателя (при номинальном токе, 2 фазы)	80°C
Диапазон рабочих температур	-20°C...+50°C
Сопротивление изоляции (при напряжении 500В DC)	100 МОм

**ПРИЛОЖЕНИЕ 3**  
**Полевые транзисторы с n-каналом**

Марка полевого транзистора	Максимальное напряжение сток-исток, В	Максимальный ток стока, А	Сопротивление канала, Ом	Мощность, Вт	Тип корпуса
1	2	4	3	5	6
SGS150MA010D1	100	75,0	0,009	150	TO-240
TSD4M150V	100	70,0	0,014	135	ISOTOP
SGS100MA010D1	100	50,0	0,014	120	TO-240
IRF150	100	40,0	0,055	150	TO-3
IRFP152	100	34,0	0,08	150	TO-218
BUZ24	100	32,0	0,6	125	TO-3
IRF540	100	28,0	0,077	125	TO-220
IRF542	100	25,0	0,10	125	TO-220
IRFP152FI	100	21,0	0,08	65	ISOWATT218
BUZ21	100	19,0	0,10	75	TO-220
IRF540FI	100	15,0	0,077	40	ISOWATT220
BUZ20	100	12,0	0,20	75	TO-220
IRL520	100	9,2	0,27	60	TO-220AB
IRF522	100	8,0	0,36	60	TO-220
IRF520FI	100	7,0	0,27	30	ISOWATT220
SGSP351	100	6,0	0,60	50	TO-220
IRF510	100	5,6	0,54	43	TO-220
IRF512	100	4,9	0,74	43	TO-220
SGSP301	100	2,5	1,40	18	TO-220
IRFD120	100	1,3	0,27	1,3	4-DIP
IRFD110	100	1,0	0,54	1,3	4-DIP
SGSP472	80	35,0	0,05	150	TO-218
IRF541	80	28,0	0,077	125	TO-220
IRF143	80	25,0	0,10	125	TO-3
SGSP362	80	22,0	0,10	100	TO-220
IRF541	80	15,0	0,077	40	ISOWATT220
IRF543FI	80	14,0	0,10	40	SOWATT220
IRF533	80	12,0	0,23	79	TO-220
IRF521	80	9,2	0,27	60	TO-220
IRF523	80	8,0	0,36	60	TO-220
IRF521FI	80	7,0	0,27	30	ISOWATT220
IRF523FI	80	6,0	0,36	30	ISOWATT220
IRF511	80	5,6	0,54	43	TO-220
IRF513	80	4,9	0,74	43	TO-220
MTH40N06	60	40,0	0,028	150	TO-218
IRFP153	60	34,0	0,08	150	TO-218
BUZ11S2	60	30,0	0,04	75	TO-220
SGSP381	60	28,0	0,06	100	TO-220
MTH40N06FI	60	26,0	0,028	65	ISOWATT218
IRFP153FI	60	21,0	0,08	65	ISOWATT218
BUZ11S2FI	60	20,0	0,04	35	ISOWATT220
SGSP321	60	16,0	0,13	75	TO-220
MTP3055E	60	12,0	0,15	40	TO-220
MTP3055EFI	60	10,0	0,15	30	ISOWATT220
TSD200N05V	50	200,0	0,006	600	Isotop
STH60N05	50	60,0	0,023	150	TO-218

1	2	4	3	5	6
IRFZ46	50	50,0	0,024	150	TO-220AB
BUZ15	50	45,0	0,03	125	TO-3
STH60N0SFI	50	40,0	0,023	65	ISOWATT218
BUZ14	50	39,0	0,04	125	TO-3
IRFZ40	50	35,0	0,028	125	TO-220
BUZ11	50	30,0	0,04	75	TO-220
BUZ11A	50	25,0	0,06	75	TO-220
BUZ10	50	20,0	0,08	70	TO-220
BUZ10A	50	17,0	0,12	75	TO-220
IRFZ20	50	15,0	0,10	40	TO-220
BUZ71A	50	13,0	0,12	40	TO-220
BUZ71FI	50	12,0	0,10	30	ISOWATT220
BUZ71AFI	50	11,0	0,12	30	ISOWATT220
SGSP358	50	7,0	0,30	50	TO-220
IRFD020	50	2,4	0,01	1	4-DIP
IRLBA3803P	30	179	0,005	270	Super220
IRL3803	30	140	0,006	200	TO220AB
IRL2203N	30	116	0,007	180	TO-220AB
IRL3103	30	64	0,012	94	TO220AB
IRL3303	30	38	0,026	68	TO220AB
IRF7413	30	18	0,011	2,5	SO-8
IRF7807	30	8,3	0,025	2,5	SO-8
IRF7353	30	6,5	0,029	2,5	SO-8
IRF7523D1	30	2,7	0,11	1,25	Micro8
IRLML2803TR	30	1,2	0,25	0,54	Micro3
IRL3502	20	110	0,007	140	TO220AB
IRL3202	20	48	0,016	69	TO220AB
IRF7521D1	20	2,4	0,135	1,3	Micro8
IRLML2402TR	20	1,22	0,25	0,54	Micro3

# ПРИЛОЖЕНИЕ 4

## Диоды Шоттки

Наиболее важными характеристиками диодов Шоттки, определяющими их использование, являются низкое прямое падение напряжения, высокое быстродействие, фактическое отсутствие заряда обратного восстановления. Чаще всего они применяются в мощных выпрямителях на высоких скоростях переключения, могут быть также использованы в импульсных источниках питания, конверторах, устройствах заряда батарей. Температурный диапазон зависит от корпуса и составляет обычно  $\pm 55 + 150$  °C для пластмассовых и  $-65 + 150$  °C для металлических корпусов.

	0.77A до 1.5 A	1A	3A	3A до 5A	6A	5A до 10A	6A до 12A	15A до 20A	10A до 20A	25A до 30A	30A	40A	20A до 30A	40A до 60A	50A до 95A	
<b>Макс.обр. напр., В</b>	<b>D-64</b> 15MQ040	<b>DO-204AL</b>	<b>C-16</b>	<b>D-PAK</b>	<b>D-PAK</b>	<b>DO-204AR</b>	<b>TO-220AC</b>	<b>TO-220AB</b>	<b>TO-247AC</b>	<b>TO-247AC</b>	<b>DO-4</b>	<b>TO-3</b>	<b>DO-5</b>			
<b>15В</b>																
<b>30В</b>								30CTQ030								
<b>40В</b>		11DQ04	31DQ04	30WQ04F 50WQ04F	6CWQ04F						1N6096					
<b>45В</b>						90SQ045	12TQ045	20TQ045	15CTQ045	25CTQ045	30CPRQ045 MBR3045PT	40CPRQ045	20FQ045 21FQ045			
<b>45В высок.темп.</b>						80SQ045	6TQ045 10TQ045 MBR745 MBR1045	18TQ045 MBR1645	12CTQ045 20CTQ045 MBR1545CT MBR2045CT	30CTQ045 MBR2545CT	30FQ045 1N6391	40CDDQ045 60CDDQ045 MBR3045CT				
<b>60В</b>		11DQ06	31DQ06	30WQ06F 50WQ06F	6CWQ06F											
<b>100В</b>		11DQ10	31DQ10	30WQ10F 50WQ10F	6CWQ10F	50SQ100	8TQ100		16CTQ100 MBR20100CT		30CPRQ100	40CPRQ100			60HQ100	
<b>150В</b>									10CTQ150		30CPRQ150					

### Модули на диодах Шоттки

	60A	80A	150A	160A	120A	180A	240A	200A	300A	400A
<b>Макс.обр. напр., В</b>	<b>D-61-6</b>	<b>D-61-8</b>	<b>D-60</b>	<b>TO-249</b>	<b>HALF-PAK</b>	<b>HALF-PAK</b>	<b>TO-244</b>			
<b>15В</b>		85CNC015	62CNC030 152CNC030	16CMQ030	125NQ015 122NQ030	185NQ015 182NQ030	245NQ015 242NQ030	225CNC015 220CNC030		
<b>30В</b>	62CNC030	82CNC030	152CNC030	16CMQ030	124NQ045	180NQ045	244NQ045	200CNC045	440CNC030	444CNC045
<b>45В низк.темп.</b>		84CNC045		160CMQ045	120NQ045	180NQ045	240NQ045	200CNC045		
<b>45В</b>	60CNC045	80CNC045	60CMQ045 150CMQ045	160CMQ045	121NQ045	181NQ045	241NQ045	201CNC045	400CNC045	401CNC045
<b>45В высок.темп.</b>	61CNC045	81CNC045	61CMQ045 151CMQ045	161CMQ045	122NQ045	182NQ045	242NQ045	202CNC045	400CNC045	401CNC045
<b>100В</b>	63CNC100	83CNC100	63CMQ100 153CMQ100	163CMQ100	123NQ100	183NQ100	243NQ100	203CNC100	403CNC100	403CNC100

**ПЛАТАН** продает со склада и поставляет на заказ весь ассортимент компонентов **IR**. Более подробную техническую информацию можно получить по адресу [www.irf.com](http://www.irf.com) или у менеджера в головном офисе **ПЛАТАН**.



## **ПРИЛОЖЕНИЕ 5**

### ***Импульсные источники электропитания***

Выбор блока питания рассматривается на примере AC/DC преобразователей фирмы «MEAN WELL». Фирма разрабатывает и производит широкую номенклатуру импульсных источников электропитания и преобразователей напряжения:

- DC/DC преобразователи с выходной мощностью от 0,5 Вт до 350 Вт;
- AC/DC преобразователи с выходной мощностью от 5 Вт до 2400 Вт;
- AC/DC преобразователи с зарядным устройством и функцией источника бесперебойного питания;
- DC/AC преобразователи с модифицированной синусоидой, с нормальной синусоидой.

AC/DC преобразователи (импульсные источники питания постоянного тока) выпускаются с выходной мощностью от 5 Вт до 2400 Вт. Все AC/DC преобразователи производства «Mean Well» можно условно разделить по следующим признакам:

- преобразователи открытого исполнения;
- преобразователи закрытого исполнения;
- модульные преобразователи с возможностью параллельного включения;
- преобразователи с функцией источника бесперебойного питания;
- преобразователи с функцией АТХ, для питания компьютерной техники;
- преобразователи для монтажа на DIN рейку;
- сетевые адаптеры для питания радиоаппаратуры;
- драйверы светодиодов.

Широкая номенклатура и высокие технические характеристики импульсных источников питания компании «Mean Well» дает возможность выбрать оптимальный вариант электропитания разрабатываемой радиоаппаратуры:

- выходные напряжения постоянного тока могут быть выбраны в диапазоне 3,3...48 В;
- мощности источников питания от 5Вт до 2400 Вт;
- источники выполняются как без защитного корпуса, так и с ним;
- выходные напряжения имеют высокое качество;
- наличие защитных функций и диагностических выходов.

Общая информация по некоторым сериям источников питания постоянного тока фирмы «Mean Well» приведена в табл. ПЗ и П4.

## AC/DC преобразователи «Mean Well»

Серия	Мощность, Вт	Входное напряжение, В	Выходные напряжения, В	Особенности исполнения	Внешний вид
PS 1 выход	5; 15; 25; 35; 45; 65	AC: 85...264 В 47...440 ГЦ  DC: 127...370 В	3,3; 5; 7,5; 12; 13,5; 15; 24; 27; 48; ±5; ±12; ±15	Универсальный вход естественное охлаждение	
PD 2 выхода	25; 45; 65				
PT 3 выхода	45; 65				
RS 1 выход	15; 25; 35; 50; 75; 100; 150	AC: 85...264 В 47...63 ГЦ  DC: 120...375 В	3,3; 5; 12; 15; 24; 48 ±5; ±12; ±13,5; ±15; ±24	Перфорированный корпус, 2 изолированных выхода (опция RID)	
RD 1 выхода	35; 50; 65; 85; 125				
RT 3 выхода	50; 65; 85; 125				
RQ 4 выхода	50; 65; 85; 125				
NES 1 выход	15; 25; 35; 50; 75; 100; 150; 200; 350	AC: 85...264 В 47...63 ГЦ  DC: 120...375 В	3,3; 5; 7,5; 9; 12; 15; 24; 27; 36; 48; ±5; ±12; ±15	Перфорированный корпус	
NED 2 выхода	35; 50; 75; 100				
NET 3 выхода	35; 50; 75				
SE	100; 200; 350; 450; 600; 1000; 1500	AC: 90...132 В или 180...264 В 47...63 ГЦ DC: 254...370 В	3,3; 5; 7,5; 9; 12; 15; 24; 27; 36; 48	Режим ограничения тока, охлаждение встроенным вентилятором	
SP	75; 100; 150; 200; 240; 320; 480; 500; 700	AC: 85...264 В 47...63 ГЦ DC: 120...375 В	3,3; 5; 7,5; 12; 13,5; 15; 24; 27; 36; 48	ККМ, режим ограничения тока; дистанционное вкл/выкл, охлаждение вентилятором	
PSP	600	AC: 88...264 В 47...63 ГЦ DC: 120...370 В	5; 12; 13,5; 15; 24; 27; 48	ККМ, режим ограничения тока; дистанционное вкл/выкл, охлаждение вентилятором, параллельная работа до 2400 Вт	

## Параметры импульсных источников Mean Well

Тип	P, Вт	U <sub>н</sub> , В	I, А
<b>Серия PS</b>			
PS-05-5	5	5	1
PS-05-7,5	5	12	0,45
PS-05-12	5	15	0,35
PS-05-13,5	5	24	0,22
PS-05-15	5	48	0,11
PS-15-5	15	5	3
PS-15-7,5	15	12	1,25
PS-15-12	15	15	1
PS-15-13,5	15	24	0,625
PS-15-15	15	48	0,313
PS-25-3,3	25	3,3	5
PS-25-5	25	5	5
PS-25-7,5	25	7,5	3,3
PS-25-12	25	12	2,1
PS-25-13,5	25	13,5	1,9
PS-25-15	25	15	1,7
PS-25-24	25	24	1
PS-25-27	25	27	0,9
PS-25-48	25	48	0,5
PS-35-3,3	35	3,3	6
PS-35-5	35	5	6
PS-35-7,5	35	7,5	4,7
PS-35-12	35	12	3
PS-35-13,5	35	13,5	2,6
PS-35-15	35	15	2,4
PS-35-24	35	24	1,5
PS-35-48	35	48	0,75
PS-45-3,3	45	3,3	8
PS-45-5	45	5	8
PS-45-7,5	45	7,5	5,4
PS-45-12	45	12	3,7
PS-45-13,5	45	13,5	3,3
PS-45-15	45	15	3
PS-45-24	45	24	1,9
PS-45-27	45	27	1,7
PS-45-48	45	48	1
PS-65-3,3	65	3,3	12
PS-65-5	65	5	12
PS-65-7,5	65	7,5	8
PS-65-12	65	12	5,2
PS-65-13,5	65	13,5	4,7
PS-65-15	65	15	4,2
PS-65-24	65	24	2,7
PS-65-27	65	27	2,4
PS-65-48	65	48	1,35

Тип	P, Вт	U <sub>н</sub> , В	I, А
<b>Серия SE</b>			
SE-100-5	100	5	20
SE-100-7,5	100	7,5	13,6
SE-100-9	100	9	11,2
SE-100-12	100	12	8,5
SE-100-15	100	15	7
SE-100-24	100	24	4,5
SE-100-48	100	48	2,3
SE-200-3,3	200	3,3	40
SE-200-5	200	5	40
SE-200-7,5	200	7,5	27
SE-200-9	200	9	17
SE-200-12	200	12	14
SE-200-15	200	15	8,8
SE-200-24	200	24	7,8
SE-200-36	200	36	5,9
SE-200-48	200	48	4,4
SE-350-3,3	350	3,3	60
SE-350-5	350	5	60
SE-350-7,5	350	7,5	46
SE-350-9	350	9	29
SE-350-12	350	12	23,2
SE-350-15	350	15	14,6
SE-350-24	350	24	13
SE-350-36	350	36	9,7
SE-350-48	350	48	7,3
SE-450-3,3	450	3,3	75
SE-450-5	450	5	75
SE-450-12	450	12	37,5
SE-450-15	450	15	30
SE-450-24	450	24	18,8
SE-450-36	450	36	12,5
SE-450-48	450	48	9,4
SE-600-5	600	5	100
SE-600-12	600	12	50
SE-600-15	600	15	40
SE-600-24	600	24	25
SE-600-27	600	27	22,2
SE-600-36	600	36	16,6
SE-600-48	600	48	12,5
SE-1000-5	1000	5	150
SE-1000-9	1000	9	100
SE-1000-12	1000	12	83,3
SE-1000-15	1000	15	66,7
...			
SE-1500-24	1500	24	62,5
SE-1500-27	1500	27	55,6
SE-1500-48	1500	48	31,3

# ПРИЛОЖЕНИЕ 6

## Драйверы управления полевыми транзисторами



### Основные области применения:

аналогово-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи, источники бесперебойного питания, приборы для зарядки батарей, импульсные источники питания, балласты для флуоресцентных ламп, схемы управления двигателями.

### ПЛАТАН продает

со склада и поставляет на заказ весь ассортимент компонентов IR.

Более подробную техническую информацию можно получить по адресу

**www.irf.com**

или у менеджера в головном офисе ПЛАТАН.

Функциональное назначение	Дополнительные функциональные возможности	Ушияны	Io +/-	Vвых	t вкл./выкл. t паузы		Тип корпуса						Схе-ма					
					HC	HC	Dip 8	Dip 14	Dip 28	SOIC 8	SOIC 14	SOIC 16		SOIC 28	PLCC 44			
Драйвер одиночного ключа	Отключение нагрузки по максимальному току	B	A	B	125 / 105	10 - 20	0,2 / 0,42	IR2117	IR2110S	IR210S	3							
								IR2118	IR2117S	IR2101S	3							
								IR2127	IR2127S	IR2102S								
Драйвер верхнего и нижнего ключей	Ограничение тока в нагрузке	600	1 / 2	10 - 20	150 / 100	10 - 20	0,2 / 0,42	IR2128	IR2128S									
								IR2121	IR2121S	1								
								IR2125	IR2125S	1								
Драйвер полумоста	Внешнее отключение	1200	2 / 2	12 - 20	120 / 94	12 - 20	0,2 / 0,4	IR2110	IR2110S	2								
								IR2112	IR2112S	2								
								IR2113	IR2113S	2								
3 драйвера верхнего ключа и 3 драйвера нижнего ключа	Внешнее отключение	600	0,1 / 0,21	1300 / 600	600 / 90	700	0,2 / 0,42	IR2111	IR2111S	2								
								IR2104	IR2104S	5								
								IR2105	IR2105S	5								
Драйвер 3-х фазного моста	Автогенераторный режим работы	1200	0,2 / 0,4	675 / 425	700 / 700	2000	0,21 / 0,42	IR2151	IR2151S	5								
								IR2152	IR2152S	5								
								IR2153	IR2153S	5								
Драйвер 3-х фазного моста	Отключение нагрузки по максимальному току	600	0,5 / 0,5	1300 / 600	600 / 90	700	0,21 / 0,42	IR2154	IR2154S	5								
								IR2155	IR2155S	5								
								IR2157	IR2157S	5								
Драйвер 3-х фазного моста	Отключение нагрузки по максимальному току	1200	0,2 / 0,42	675 / 425	700 / 700	2000	0,21 / 0,42	IR2131	IR2131S	4								
								IR2130	IR2130S	4								
								IR2132	IR2132S	4								
Драйвер 3-х фазного моста	Отключение нагрузки по максимальному току	1200	0,2 / 0,42	675 / 425	700 / 700	2000	0,21 / 0,42	IR2133	IR2133S	4								
								IR2135	IR2135S	4								
								IR2136	IR2136S	4								
Драйвер 3-х фазного моста	Отключение нагрузки по максимальному току	1200	0,2 / 0,42	675 / 425	700 / 700	2000	0,21 / 0,42	IR2233	IR2233S	4								
								IR2235	IR2235S	4								
								IR2235J	IR2235JS	4								

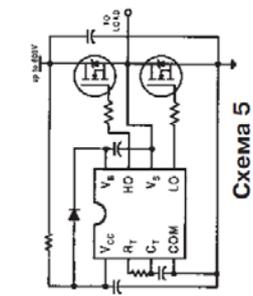


Схема 1

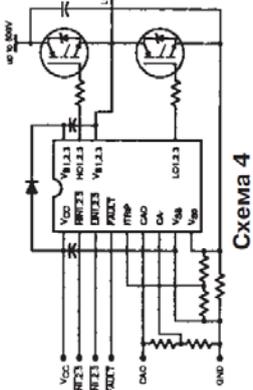


Схема 2

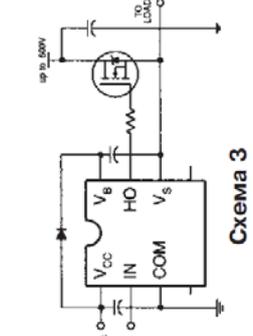


Схема 3

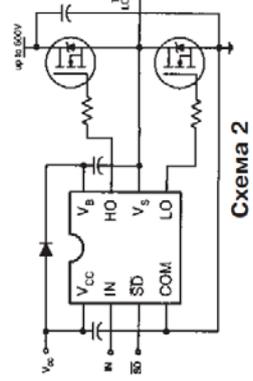


Схема 4

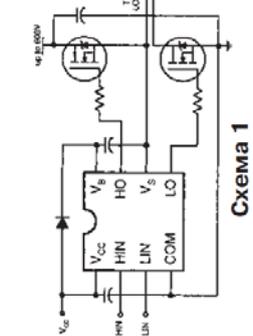


Схема 5

# ПРИЛОЖЕНИЕ 7

## Описание оптопары H11L1

**MOTOROLA**  
SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA

Order this document  
by H11L1/D



### 6-Pin DIP Optoisolators Logic Output

The H11L1 and H11L2 have a gallium arsenide IRED optically coupled to a high-speed integrated detector with Schmitt trigger output. Designed for applications requiring electrical isolation, fast response time, noise immunity and digital logic compatibility.

- Guaranteed Switching Times —  $t_{on}, t_{off} < 4 \mu s$
- Built-In On/Off Threshold Hysteresis
- High Data Rate, 1 MHz Typical (NRZ)
- Wide Supply Voltage Capability
- Microprocessor Compatible Drive
- **To order devices that are tested and marked per VDE 0884 requirements, the suffix "V" must be included at end of part number. VDE 0884 is a test option.**

#### Applications

- Interfacing Computer Terminals to Peripheral Equipment
- Digital Control of Power Supplies
- Line Receiver — Eliminates Noise
- Digital Control of Motors and Other Servo Machine Applications
- Logic to Logic Isolator
- Logic Level Shifter — Couples TTL to CMOS

**MAXIMUM RATINGS** ( $T_A = 25^\circ C$  unless otherwise noted)

Rating	Symbol	Value	Unit
<b>INPUT LED</b>			
Reverse Voltage	$V_R$	6	Volts
Forward Current — Continuous — Peak Pulse Width = 300 $\mu s$ , 2% Duty Cycle	$I_F$	60 1.2	mA Amp
LED Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ C$ Derate above $25^\circ C$	$P_D$	120 1.41	mW mW/ $^\circ C$
<b>OUTPUT DETECTOR</b>			
Output Voltage Range	$V_O$	0–16	Volts
Supply Voltage Range	$V_{CC}$	3–16	Volts
Output Current	$I_O$	50	mA
Detector Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ C$ Derate above $25^\circ C$	$P_D$	150 1.76	mW mW/ $^\circ C$
<b>TOTAL DEVICE</b>			
Total Device Dissipation @ $T_A = 25^\circ C$ Derate above $25^\circ C$	$P_D$	250 2.94	mW mW/ $^\circ C$
Maximum Operating Temperature(2)	$T_A$	–40 to +85	$^\circ C$
Storage Temperature Range(2)	$T_{stg}$	–55 to +150	$^\circ C$
Soldering Temperature (10 s)	$T_L$	260	$^\circ C$
Isolation Surge Voltage (Pk ac Voltage, 60 Hz, 1 Second Duration)(1)	$V_{ISO}$	7500	Vac(pk)

1. Isolation surge voltage is an internal device dielectric breakdown rating. For this test, Pins 1 and 2 are common, and Pins 4, 5 and 6 are common.
  2. Refer to Quality and Reliability Section in Opto Data Book for information on test conditions.
- Preferred** devices are Motorola recommended choices for future use and best overall value.  
GlobalOptoisolator is a trademark of Motorola, Inc.

**H11L1\***

[ $I_F(\text{on}) = 1.6 \text{ mA Max}$ ]

**H11L2**

[ $I_F(\text{on}) = 10 \text{ mA Max}$ ]

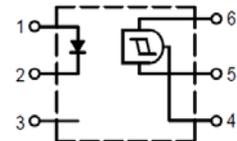
\*Motorola Preferred Device

STYLE 5 PLASTIC



STANDARD THRU HOLE  
CASE 730A-04

SCHEMATIC



- PIN 1. ANODE  
2. CATHODE  
3. NC  
4. OPEN COLLECTOR OUTPUT  
5. GND  
6.  $V_{CC}$

REV 1

© Motorola, Inc. 1995



# H11L1 H11L2

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS ( $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)<sup>(1)</sup>

Characteristic	Symbol	Min	Typ <sup>(1)</sup>	Max	Unit
<b>INPUT LED</b>					
Reverse Leakage Current ( $V_R = 3\text{ V}$ , $R_L = 1\text{ M}\Omega$ )	$I_R$	—	0.05	10	$\mu\text{A}$
Forward Voltage ( $I_F = 10\text{ mA}$ ) ( $I_F = 0.3\text{ mA}$ )	$V_F$	— 0.75	1.2 0.95	1.5 —	Volts
Capacitance ( $V_R = 0\text{ V}$ , $f = 1\text{ MHz}$ )	$C$	—	18	—	$\text{pF}$

### OUTPUT DETECTOR

Operating Voltage	$V_{CC}$	3	—	15	Volts
Supply Current ( $I_F = 0$ , $V_{CC} = 5\text{ V}$ )	$I_{CC(\text{off})}$	—	1	5	$\text{mA}$
Output Current, High ( $I_F = 0$ , $V_{CC} = V_O = 15\text{ V}$ )	$I_{OH}$	—	—	100	$\mu\text{A}$

### COUPLED

Supply Current ( $I_F = I_{F(\text{on})}$ , $V_{CC} = 5\text{ V}$ )	$I_{CC(\text{on})}$	—	1.6	5	$\text{mA}$	
Output Voltage, Low ( $R_L = 270\ \Omega$ , $V_{CC} = 5\text{ V}$ , $I_F = I_{F(\text{on})}$ )	$V_{OL}$	—	0.2	0.4	Volts	
Threshold Current, ON ( $R_L = 270\ \Omega$ , $V_{CC} = 5\text{ V}$ )	$I_{F(\text{on})}$	— —	1.2 —	1.6 10	$\text{mA}$	
Threshold Current, OFF ( $R_L = 270\ \Omega$ , $V_{CC} = 5\text{ V}$ )	$I_{F(\text{off})}$	0.3 0.3	0.75 —	— —	$\text{mA}$	
Hysteresis Ratio ( $R_L = 270\ \Omega$ , $V_{CC} = 5\text{ V}$ )	$\frac{I_{F(\text{off})}}{I_{F(\text{on})}}$	0.5	0.75	0.9		
Isolation Voltage <sup>(2)</sup> 60 Hz, AC Peak, 1 second, $T_A = 25^\circ\text{C}$	$V_{ISO}$	7500	—	—	$\text{Vac(pk)}$	
Turn-On Time	$R_L = 270\ \Omega$ <sup>(3)</sup> $V_{CC} = 5\text{ V}$ , $I_F = I_{F(\text{on})}$ $T_A = 25^\circ\text{C}$	$t_{on}$	—	1.2	4	$\mu\text{s}$
Fall Time		$t_f$	—	0.1	—	
Turn-Off Time		$t_{off}$	—	1.2	4	
Rise Time		$t_r$	—	0.1	—	

1. Always design to the specified minimum/maximum electrical limits (where applicable).
2. For this test, IRED Pins 1 and 2 are common and Output Gate Pins 4, 5, 6 are common.
3.  $R_L$  value effect on switching time is negligible.

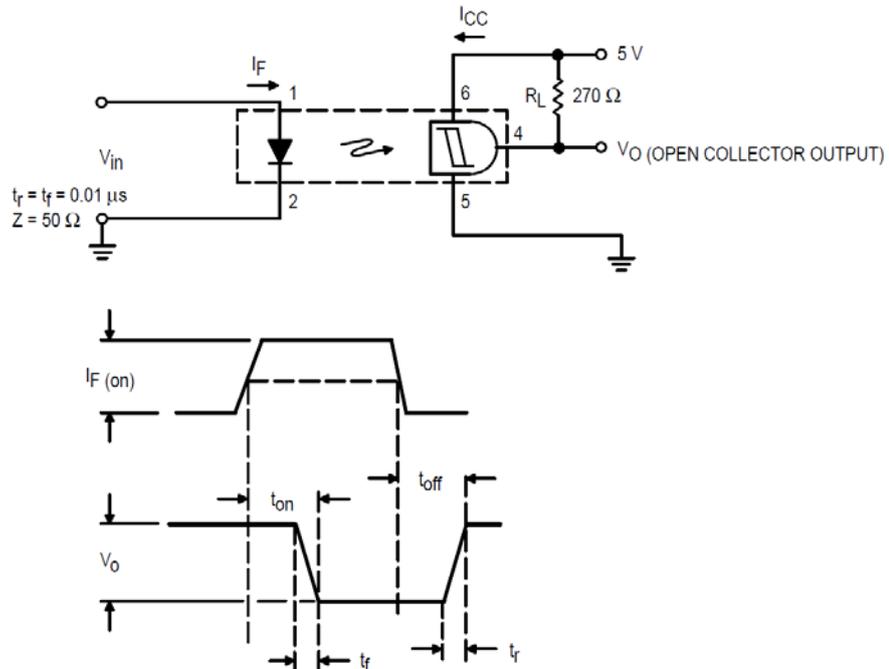


Figure 1. Switching Test Circuit

## **ПРИЛОЖЕНИЕ 8**

### ***Примеры оформления отдельных частей курсового проекта***

<p>ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет» Энергетический факультет Кафедра ЭПА</p> <p>КУРСОВОЙ ПРОЕКТ «Разработка микропроцессорной системы управления шагового электропривода»</p> <p>Выполнил: Иванов И.И. Группа: Э-411 Вариант: 5 Проверил: Петров П.П.</p> <p>Челябинск 2014</p>
---

Рисунок П2 – Пример оформления титульного листа



Поз.	Наименование	Кол.	Примечание																																												
<u>Конденсаторы</u>																																															
C1	K10-7B-9H-0,01мкФ±10%	1																																													
C2, C6,																																															
2C1..2C3,																																															
2C10..2C12,																																															
3C1..3C3	K10-7B-9H-0,1мкФ±10%	10																																													
C3, 2C4..2C9	K53-19Б-25В-100мкФ±10%	7																																													
C4, C5	K10-7B-9H-15пФ±10%	2																																													
1C1..1C4	K53-19Б-25В-1мкФ±10%	4																																													
4C1, 4C2	КБГ-МП2-600В-10мкФ±5%	2																																													
<u>Микросхемы</u>																																															
1DA1	МАХ3232	1																																													
2DA1, 2DA3	7812С	2																																													
2DA2	7805С	1																																													
3DA1	IR2131	1																																													
4DA1..4DA3	ACS7500	3																																													
DD1	АТmega64	1																																													
3DD1, 3DD2	К155ЛЛ1	2																																													
L1	Дроссель Д-01-100мГн	1																																													
<u>Резисторы</u>																																															
R1, 3R1..3R4	МЛТ-0,125-1 кОм±10%	5																																													
4R1..4R6	МЛТ-0,5-200 Ом±10%	6																																													
4R7	МЛТ-1,0-43 кОм ±10%	1																																													
4R8	МЛТ-1,0-10 кОм ±10%	1																																													
<u>Диоды</u>																																															
VD1	КД522А	1																																													
2VD1..2VD12,																																															
3VD1..3VD3	КД226А	15																																													
4VD1..4VD6	ДЛ122-32-8	6																																													
4VT1..4VT6	Транзистор GA150TS60U	6																																													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%;"></td> </tr> <tr> <td>Изм</td> <td>Лист</td> <td>№ докум</td> <td>Подп</td> <td>Дата</td> <td colspan="3" rowspan="4" style="text-align: center; vertical-align: middle;"> <b>Электропривод шпинделя токарного станка</b> </td> </tr> <tr> <td>Разраб</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>Лит</td> <td>Лист</td> <td>Листов</td> </tr> <tr> <td>Прое</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>У</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Н.контр</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Уте</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>												Изм	Лист	№ докум	Подп	Дата	<b>Электропривод шпинделя токарного станка</b>			Разраб				Лит	Лист	Листов	Прое				У	1	1	Н.контр							Уте						
Изм	Лист	№ докум	Подп	Дата	<b>Электропривод шпинделя токарного станка</b>																																										
Разраб				Лит				Лист	Листов																																						
Прое				У				1	1																																						
Н.контр																																															
Уте																																															

Рисунок П4 – Пример оформления перечня элементов

## ПРИЛОЖЕНИЕ 9

### Пример составления листинга программы

```
; -----  
; Наименование: Дешифратор с косвенной адресацией данных в ОЗУ  
; Разработал: Иванов С.И.  
; Группа: Э-415  
; Дата: 13-05-2012  
; Назначение: Преобразование 2х битного кода (цифры 0,1,2,3) в код  
; семисегментных индикаторов  
; Входы - 2 бита порта А:  
; PA0,PA1 - дешифратор адреса  
; Выходы - порт С  
; PC0...PC7 - данные  
; Адреса ячеек ОЗУ: $0070...$0073  
; Косвенная адресации: с использованием регистров XH:XL  
; -----  
.include "m8535def.inc"  
reset:  
    clr r16  
    out DDRA, r16 ; порт А на вход  
    ldi r16, $FF  
    out DDRC, r16 ; порт С на выход  
    out PORTA,r16  
    ldi r16,$3f ; инициализация регистров кодами цифр 0,1, 2 и 3  
    ldi r17,$06  
    ldi r18,$5B  
    ldi r19,$4F  
  
    ; инициализация ОЗУ  
    ldi r26,$74 ; установка регистров Y на ячейку $0074  
    ldi r27,$00  
    st -x,r19 ; запись в ячейку ОЗУ $0073  
    st -x,r18 ; запись в ячейку ОЗУ $0072  
    st -x,r17 ; запись в ячейку ОЗУ $0071  
    st -x,r16 ; запись в ячейку ОЗУ $0070  
main:  
    ldi r26,$70 ; установка первой записанной ячейки ОЗУ  
    in r20,PINA ; считывание 2 битов порта А  
    andi r20,3  
    add r26,r20 ; добавляем смещение в регистр X  
    ld r21,x ; считывание из памяти  
vivod: out PORTC,r21 ; вывод в порт С  
    rjmp main  
; -----
```