

ВЛАДИМИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

И.Н. ЕГОРОВ, А.А. НАЗАРОВ, В.А. НЕМОНТОВ

**АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ
ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ**

**ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ
ПО ЭЛЕКТРОПРИВОДАМ
РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ И МЕХАТРОННЫХ УСТРОЙСТВ
АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ КОМПЛЕКСОВ**

Часть I

ВЛАДИМИР 2000

Владимирский государственный университет

И.Н. ЕГОРОВ, А.А. НАЗАРОВ, В.А. НЕМОНТОВ

АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ

Лабораторный практикум
по электроприводам
робототехнических и мехатронных устройств
автоматизированных комплексов
Часть I

Владимир 2000

УДК 621.9

Л12

Рецензенты:

Доктор технических наук, профессор Московского
государственного технического университета им. Н.Э. Баумана

Н.А. Лакота

Заведующий кафедрой робототехники и мехатроники
Московского государственного технического университета «СТАНКИН»

доктор технических наук, профессор

В.С. Кулешов

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Владимирского государственного университета

Егоров И.Н., Назаров А.А., Немонтов В.А.

Л12 Автоматическое управление электроприводами: Лаб. практикум по электроприводам робототехнических и мехатронных устройств автоматизированных комплексов. Ч. 1 / Владим. гос. ун-т, Владимир, 2000. 60 с.

ISBN 5-89368-186-X

Подготовлен в соответствии с программой курсов «Электромеханические и мехатронные системы», «Приводы роботов», «Автоматизированный электропривод». Содержит описание лабораторных работ и необходимые для проведения занятий сведения о лабораторных установках и методике выполнения работ на промышленных образцах электроприводов.

Предназначен для студентов специальностей 210200 «Автоматизация технологических процессов и производств», 210300 «Роботы и робототехнические системы», 071800 «Мехатроника», 072300 «Лазерная техника и лазерные технологии».

Табл. 7. Ил. 28. Библиогр.: 21 назв.

УДК 621.9

ISBN 5-89368-186-X

© Владимирский государственный
университет, 2000

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	4
<i>Лабораторная работа №1. Изучение конструкции и принципа работы манипулятора промышленного робота как мехатронного устройства.....</i>	<i>5</i>
<i>Лабораторная работа №2. Исследование регулируемого электропривода «управляемый преобразователь-двигатель».....</i>	<i>10</i>
<i>Лабораторная работа №3. Исследование тиристорного широтно-импульсного электропривода.....</i>	<i>21</i>
<i>Лабораторная работа №4. Исследование адаптивного электропривода на основе транзисторного широтно-импульсного преобразователя.....</i>	<i>38</i>
<i>Лабораторная работа №5. Исследование шагового электропривода.....</i>	<i>47</i>
Заключение.....	57
Библиографический список.....	58

ВВЕДЕНИЕ

Целью лабораторного практикума является углублённое изучение и исследование промышленных образцов электроприводов мехатронных исполнительных устройств роботов и автоматизированных комплексов.

В задачи лабораторного практикума входит изучение принципов управления в электроприводах, их структур, электрических схем и элементной базы, проведение необходимых расчётов и исследований статических и динамических характеристик электроприводов. Полученные результаты экспериментальных исследований используются при курсовом проектировании электроприводов для синтеза параметров регуляторов на ПЭВМ, при анализе влияния различного вида регуляторов и нелинейностей исполнительного механизма на динамику синтезированного электропривода. По результатам исследований решаются вопросы модернизации промышленных образцов электроприводов посредством применения цифровых и аналоговых интегральных микросхем, микропроцессоров и микроЭВМ.

Вторая часть лабораторного практикума будет посвящена компьютерному управлению электроприводами мехатронных и робототехнических устройств.

В результате выполнения лабораторного практикума и одновременного курсового проектирования студенты изучают конструкцию реальных промышленных образцов электроприводов, получают навыки проведения теоретических расчётов, цифрового моделирования, экспериментального исследования и модернизации электроприводов.

Лабораторная работа №1

ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ И ПРИНЦИПА РАБОТЫ МАНИПУЛЯТОРА ПРОМЫШЛЕННОГО РОБОТА КАК МЕХАТРОННОГО УСТРОЙСТВА

Цель работы. Изучение конструкции и принципа работы манипулятора универсального робота «Универсал-5.02» как мехатронного исполнительного устройства.

1. Описание конструкции манипулятора

Манипулятор робота «Универсал-5.02» является мехатронным устройством (рис. 1), состоящим из следующих основных исполнительных механизмов:

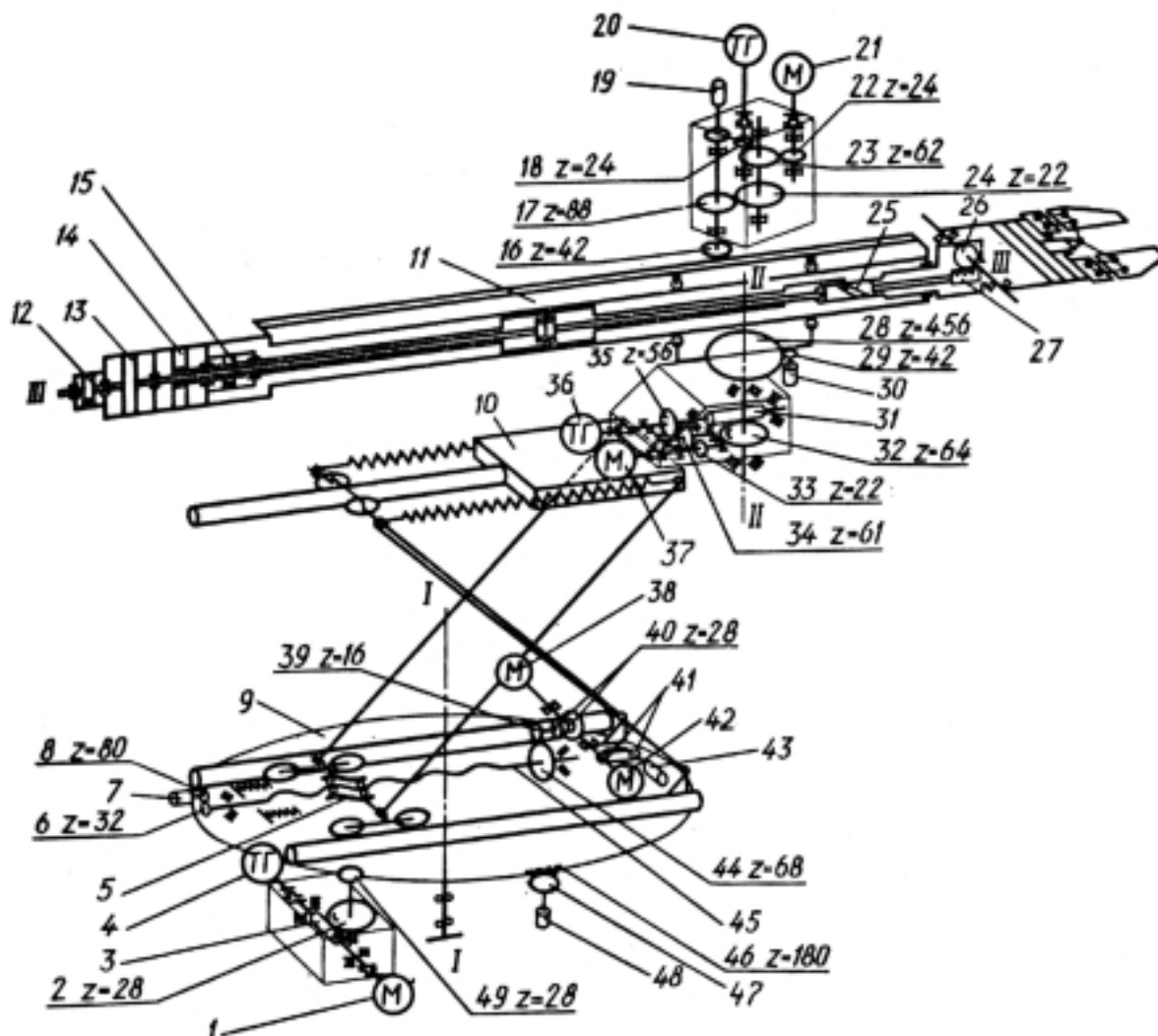


Рис. 1. Кинематическая схема манипулятора робота «Универсал-5.02»

исполнительное устройство, оснащённое схватом, предназначенным для захватывания и удерживания деталей, заготовок, инструмента и т.п.;

механизм выдвижения, обеспечивающий передвижение исполнительного устройства робота вдоль оси III-III;

механизм поворота исполнительного устройства, обеспечивающий его вращение в горизонтальной плоскости вокруг оси II-II на угол до 4,17 рад;

механизм подъема, служащий для перемещения исполнительного устройства вдоль оси I-I;

механизм поворота платформы, использующийся для поворота механизма подъема и исполнительного устройства в целом вокруг оси I-I на угол до 5,74 рад;

пневмопанель, обеспечивающая распределение сжатого воздуха в соответствующие полости пневмоцилиндров исполнительного устройства.

В состав исполнительного устройства входят механизм качания схвата, предназначенный для его поворота вокруг оси качания на угол до 3,14 рад, и механизм ротации (вращения) схвата вокруг оси III-III на угол до 3,14 рад.

Таким образом, манипулятор имеет шесть степеней подвижности, из которых качание и поворот схвата являются ориентирующими. Программирование перемещений по этим степеням осуществляется с помощью жестких переналаживаемых упоров. Остальные четыре степени подвижности являются транспортными, программируемыми в пространстве. Каждый из механизмов, определяющих ту или иную степень подвижности манипулятора, управляется от системы программного управления.

1.1. Конструкция исполнительного устройства манипулятора

Схват исполнительного устройства манипулятора робота представляет собой захватное устройство с губками, совершающими при зажиме-разжиме плоскопараллельные перемещения. Губки перемещаются от пневмоцилиндра, закрепленного на рычагах схвата. Зажим губок происходит при подаче сжатого воздуха в рабочую полость пневмоцилиндра, а разжим - после сброса давления в этой полости под действием пружин, установленных в пневмоцилиндре.

Качание схвата относительно оси IV-IV осуществляется посредством реечно-зубчатой передачи 27. Регулировка угла качания схвата робота достигается применением переналаживаемых упоров, которые ограничивают угол поворота зубчатого колеса 26. Пневмоцилиндр 14 привода качания

схвата установлен непосредственно на исполнительном устройстве робота. Усилие на рейку передается через шток, связанный с поршнем пневмоцилиндра 14. Для обеспечения плавности работы пневмоцилиндра качания схвата в его конструкции предусмотрено демпфирующее устройство 12. В поршне этого устройства имеется калиброванное отверстие, через которое при перемещении поршня масло перетекает из одной полости устройства в другую.

Ротация схвата робота обеспечивается также с помощью пневматического привода. Его пневмоцилиндр 13 имеет демпфирующее устройство 15, конструкция которого аналогична устройству 12. При подаче сжатого воздуха в рабочую полость пневмоцилиндра вместе с поршнем будет перемещаться ползун 25, представляющий собой полый тонкостенный цилиндр, стенки которого имеют два сквозных паза типа двухзаходной резьбы с шагом 130 мм. В пазы входят два шарикоподшипника, закрепленные на осях водила, шарнирно соединенного с кистью робота.

При поступательном перемещении ползуна подшипники, закрепленные на водиле, копируя направления винтовых пазов ползуна, поворачивают водило и связанный с ним схват, установленный в подшипниках. Ползун зафиксирован от проворота подшипником, установленном на оси, запрессованной в ползун. Подшипник упирается в кромки продольного паза, выполненного на стенке цилиндра, являющегося основанием руки. Угол вращения схвата из среднего положения в любое крайнее можно регулировать, закладывая шарики в кольцевой канал круглого сечения, предусмотренный во фланце данного цилиндра и прилегающей к нему крышке.

На наружной поверхности цилиндра имеются обработанные вдоль оси шлифованные дорожки под роликовые опоры, на которых исполнительное устройство устанавливается внутри механизма выдвижения. Для зацепления с ведущим зубчатым колесом механизма выдвижения служит зубчатая рейка 11, закрепленная на цилиндре винтами и штифтами.

Механизм выдвижения представляет собой двухступенчатый редуктор с цилиндрическими зубчатыми передачами 16, 17, 22 - 24 и приводом от электродвигателя 21 (СЛ-569) постоянного тока, обеспечивающий перемещение схвата в радиальном направлении.

Выборка зазоров в зубчатых зацеплениях механизма достигается конструкцией зубчатых колес, которые выполнены разрезными. Каждая две половинки колес соединены между собой пружинными кольцами. На выходном валу механизма закреплено разрезное колесо 16, которое входит в зацепление с зубчатой рейкой 11, установленной на исполнительном уст-

ройстве. Обратную связь привода механизма выдвигания по скорости и положению с системой программного управления осуществляют с помощью тахогенератора 20 через зубчатое колесо 18 и датчика положения, которым является многооборотный проволочный потенциометр 19 с линейной характеристикой. В качестве тахогенератора использован двигатель СЛ-121 постоянного тока с независимым возбуждением. Внутри корпуса механизма установлены упорные подшипники, по которым перемещается исполнительное устройство манипулятора. Верхние подшипники за счет тарельчатых пружин прижимают исполнительное устройство к нижним подшипникам [13].

1.2. Конструкция механизма поворота исполнительного устройства

Механизм поворота предназначен для поворота исполнительного устройства вокруг вертикальной оси II-II на угол 2,09 рад от среднего положения в обе стороны. Двигатель постоянного тока 37 типа СЛ-569 через муфту и цилиндрические колеса 33 - 35 редуктора механизма поворота передает вращение на однозаходный червяк 31, находящийся в зацеплении с разрезным червячным колесом 32. Регулировку бокового зазора в червячном зацеплении обеспечивают эксцентриком, с помощью которого верхняя половина червячного колеса проворачивается относительно нижней.

Обратная связь механизма поворота и других рассматриваемых ниже механизмов манипулятора по положению и скорости обеспечивается теми же средствами, что и в механизме выдвигания исполнительного устройства. Тахогенератор 36 (СЛ-121) установлен соосно с червяком и соединен с ним муфтой. Потенциометр 30 крепят на кронштейне к корпусу механизма. Вращение на вал потенциометра передается через зубчатую мелкокомодульную передачу, одно из колес 28 которой закреплено на выходном валу механизма, а второе колесо 29 - непосредственно на валу потенциометра.

1.3. Конструкция механизма подъема исполнительного устройства

Механизм подъема, смонтированный на поворотной платформе 9 механизма поворота, состоит из вертикально перемещающегося пантографа, платформы 10, скалки, двух параллельных направляющих, по которым на роликах перемещаются каретка с закреплённой на ней подвижной опорой пантографа и приводы подъема. Пантограф, в свою очередь, состоит из рам, шарнирно связанных между собой и с верхней платформой 10, к которой крепят механизм поворота исполнительного устройства и скалку,

8

сопрягающуюся с коническими роликами. Положение роликов в каретке регулируется, что позволяет добиться перемещения каретки по направляющим без толчков и заеданий. Привод подъема состоит из винтовой передачи 45, левой и правой опор, каретки, двух электродвигателей 38 и 42 постоянного тока с независимым возбуждением типа СЛ-661, тахогенератора 43, вращение на который передается с помощью передачи 41, и потенциометра 7.

Конструктивно винтовая передача представляет собой корпус, устанавливаемый в каретке, две гайки 5 и винт 45 с трапецеидальной резьбой. В левой и правой опорах размещены упорные подшипники винта. Правая опора - это понижающий редуктор с коническими и цилиндрическими зубчатыми передачами 39 - 41, 44, через которые передается вращение от электродвигателей на винтовую передачу 45. Для выборки бокового зазора в зацеплении цилиндрических колес зубчатое колесо выполнено из двух половин, разводимых пружинным кольцом. В левой опоре установлен потенциометр 7, вращение на который передается через зубчатую передачу 6 и 8. Для уравнивания нагрузки в конструкции механизма подъема применены пружины растяжения, установленные в верхней части пантографа.

1.4. Конструкция механизма поворота платформы

В нижней части манипулятора размещен механизм поворота платформы. Верхняя подвижная платформа получает вращение от привода поворота, установленного на неподвижной нижней опоре. Привод поворота состоит из червячного редуктора 3, электродвигателя постоянного тока независимого возбуждения 1 (СЛ-664), тахогенератора 4, датчика положения 48. Выбор зазора в червячном зацеплении осуществляют аналогично описанному ранее способу.

Крутящий момент на подвижную платформу передается через цилиндрическую зубчатую передачу, одно из зубчатых колес 2 которой закреплено непосредственно на выходном валу червячного редуктора, а второе зубчатое колесо 49 - на подвижной платформе. Соосно с червяком редуктора расположен тахогенератор (СЛ-121). На неподвижной опоре установлен кронштейн с амортизирующими резиновыми пластинами. Кронштейн является ограничителем поворота подвижной платформы. На специальном кронштейне, закрепленном на неподвижной опоре, установлен датчик положения (потенциометр). Валик потенциометра получает вращение через зубчатую передачу, состоящую из шестерни 47 и колеса 46.

2. Порядок выполнения работы

2.1. Изучить кинематическую схему манипулятора и конструкцию его отдельных механизмов [13].

2.2. Изучить устройство и компоновку электродвигателей, тахогенераторов и датчиков положения в механизмах манипулятора.

2.3. Изучить способы передачи вращения на тахогенераторы и датчики положения механизмов манипулятора.

2.4. Рассчитать передаточные числа редукторов механизмов горизонтального перемещения, поворота, подъёма и поворота платформы.

3. Содержание отчета

3.1. Кинематические схемы отдельных механизмов манипулятора.

3.2. Технические характеристики манипулятора робота, исполнительных электродвигателей, тахогенераторов и датчиков положения.

3.3. Структурная схема мехатронного исполнительного устройства как объекта управления. Передаточные функции электродвигателей, тахогенераторов и датчиков положения.

4. Контрольные вопросы

4.1. Каковы основные узлы манипулятора «Универсал-5.02»?

4.2. Какие степени подвижности манипулятора являются транспортными и ориентирующими?

4.3. Каким образом выполнено управление схватом манипулятора?

4.4. Как передаётся вращающий момент в исполнительных механизмах манипулятора, в чём сходство и различие этих механизмов?

4.5. Каким образом осуществляется обратная связь по скорости и положению приводов механизмов с системой программного управления?

Лабораторная работа №2

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА «УПРАВЛЯЕМЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ-ДВИГАТЕЛЬ»

Цель работы. Изучение устройства и экспериментальное исследование электропривода ПТ6-У5.02.

1. Тиристорный преобразователь ПТ6-У5.02

Тиристорный преобразователь ПТ6-У5.02 – силовой преобразователь электроприводов промышленного робота «Универсал-5.02». Электродви-

гатели постоянного тока независимого возбуждения типа СЛ-369, СЛ-569М, СЛ-661М, тахогенераторы типа СЛ-121, характеристики которых приведены в табл. 1, и тиристорные преобразователи образуют систему регулируемых по скорости исполнительных электроприводов постоянного тока.

Таблица 1

Технические характеристики электродвигателей

Тип электродвигателя	Номинальный момент $M_n, \text{Н}\cdot\text{м}$	Номинальная скорость $\omega_n, 1/\text{с}$	Номинальный ток $i_n, \text{А}$	Количество
СЛ-661М	1,128	251,2	0,912	3
СЛ-569М	0,466	345,4	0,345	2
СЛ-369	0,147	376,4	0,8	2
СЛ-121	-	471,0	-	6

1.1. Технические характеристики электроприводов

Режим работы:

- автоматический (при работе от системы программного управления);
- ручное управление от пульта системы программного управления;
- ручное управление от собственных задатчиков скорости.

Напряжение питания – переменное трехфазное частотой (50 ± 1) Гц, 380В (3~50 Гц, 380В); отклонения напряжения питания от номинального значения не должны превышать +10 и -15%.

Число одновременно управляемых степеней подвижности равно 6. Максимальный входной сигнал при нагрузке не менее 4 кОм составляет 10В. Допустимый уровень шумов или наводок при нагрузке 4 кОм и частоте не менее 150 Гц не должен превышать 10 мВ. Суммарное смещение нуля, приведенное ко входу, не более 10 мВ. Диапазон регулирования скорости 500.

Значения допустимых погрешностей частоты вращения электродвигателей и коэффициента неравномерности вращения в различных точках диапазона регулирования приведены в табл. 2.

Частота пропускания электропривода с приведенным к валу электродвигателя моментом инерции нагрузки, равным 0,25 момента инерции электродвигателя, не менее 10 Гц (при отработке не менее 70% амплитуды входного гармонического сигнала равной 0,1 В и сдвиге по фазе выходного сигнала относительно входного не более 90°).

Таблица 2

Допустимые погрешности частоты вращения и коэффициента неравномерности

Входной сигнал управления $U_{вх}$, В	Отношение частоты вращения электродвигателя к номинальной частоте	Погрешности частоты вращения, %			Коэффициент неравномерности вращения K_n , не более
		суммарная	при изменении		
			нагрузки	направления вращения	
10	1	4	1	1	0,2
1	0,1	10	5	4	0,3
0,1	0,01	20	10	10	0,4
0,02	0,002	30	15	15	0,5

Время остановки электродвигателя с моментом инерции нагрузки, приведенным к валу двигателя, равным моменту инерции двигателя, не более 0,8 с. Кратность пускового момента плавная от 1 до 4. В преобразователе предусмотрено несколько видов защиты: нулевая, тепловая, от коротких замыканий и от обрыва цепи питания.

Уровень акустических шумов, создаваемых электроприводом, не превышает 75 дБ. Нарботка на отказ составляет 320 ч при доверительной вероятности 0,8, время восстановления равно 0,5, срок службы до первого капитального ремонта при двухсменной работе не менее 9 лет.

Время непрерывной работы преобразователя 16 ч с последующим перерывом по одному часу для ухода за коллекторно-щеточным узлом двигателя и тахогенератора.

Тиристорный преобразователь является управляющим звеном электропривода. В основу управления тиристорами положен вертикальный способ, заключающийся в том, что управляющие импульсы формируются в результате сравнения опорного синусоидального напряжения с постоянным напряжением управления. Фаза управляющего импульса определяется моментом равенства значений опорного синусоидального напряжения и напряжения управления.

Каждая следящая по скорости система работает следующим образом. Сигнал задания скорости $U_{зс}$ поступает на вход системы. Изменение значения сигнала управления влечет за собой изменение фазы управляющего импульса, что определяет угол отпирания силовых тиристоров и, следовательно, значения выходного напряжения преобразователя, которое поступает на якорную обмотку электродвигателя постоянного тока. Частота вращения электродвигателя пропорциональна сигналу задания скорости.

Электродвигатель посредством механической связи соединен с тахогенератором, ротор которого вращается синхронно с ротором электродвигателя. Сигнал с тахогенератора поступает на вход системы, реализуя отрицательную обратную связь по скорости.

1.2. Структура тиристорного преобразователя

Тиристорный преобразователь ПТ6-У5.02 выполнен в виде отдельных модулей-блоков (рис. 2). Такое построение обеспечивает простоту наладки, регулировки, а также модернизации его составных частей.

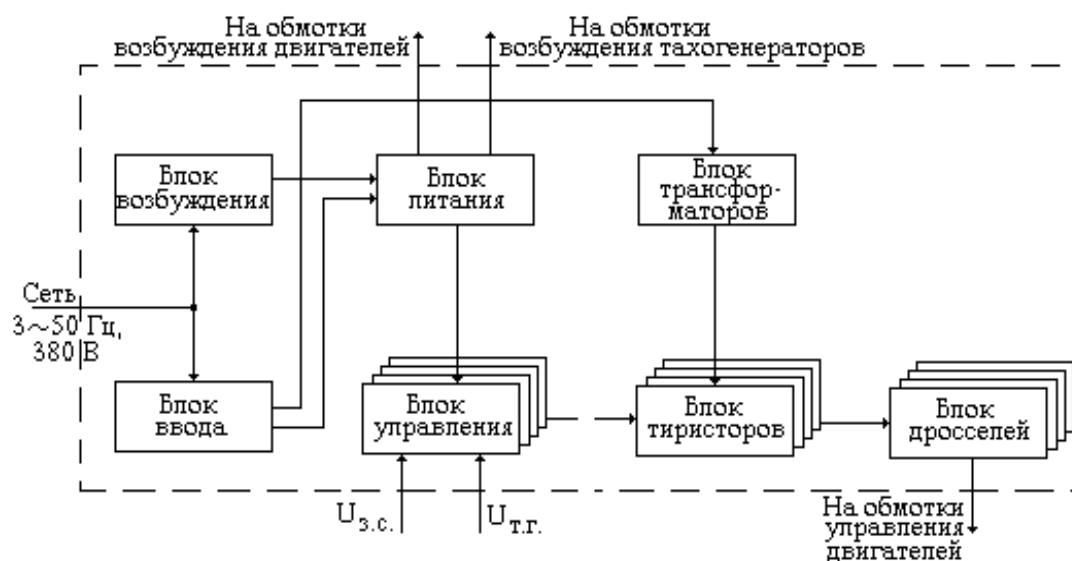


Рис. 2. Структурная схема преобразователя ПТ6-У5.02

Питающее напряжение 3~50 Гц, 380В подведено к блокам ввода и возбуждения (возможно объединение этих блоков в один). Напряжение с блока ввода поступает на блок питания и блок трансформаторов (который иногда может отсутствовать - при управлении пятью двигателями и менее). Выпрямленные напряжения $\pm 24В$, $+24В$ обеспечивают питание блока управления. Напряжение 3~50 Гц, 104В подключено с блока трансформаторов на блоки тиристоров, на которые подаются также управляющие напряжения с блоков управления. Выходным напряжением с блока тиристоров запитаны через блок дросселей якорные обмотки двигателей.

Таким образом, входными сигналами преобразователя являются сигналы задания скорости $U_{з.с.}$ и сигналы с тахогенераторов $U_{т.г.}$, поступающие на входы блоков управления, выходными сигналами являются напряжения, поступающие на якорные обмотки двигателей с блоков дросселей.

1.3. Работа составных частей преобразователя

Блок ввода предназначен для защиты тиристорного преобразователя от перегрузок, обрыва питания, индикации включения преобразователя и устранения сетевых помех. Принципиальная электрическая схема в упрощенном варианте представлена на рис. 3. Включение преобразователя и защита его от перегрузок осуществляется с помощью автоматического выключателя Q с встроенной тепловой и токовой защитой и защитой от коротких замыканий.

Блок возбуждения (рис. 4) предназначен для питания обмоток возбуждения электродвигателей постоянного тока напряжением возбуждения. Диоды $VD1$ - $VD6$ служат для выпрямления переменного напряжения, лампа H сигнализирует о включении блока.

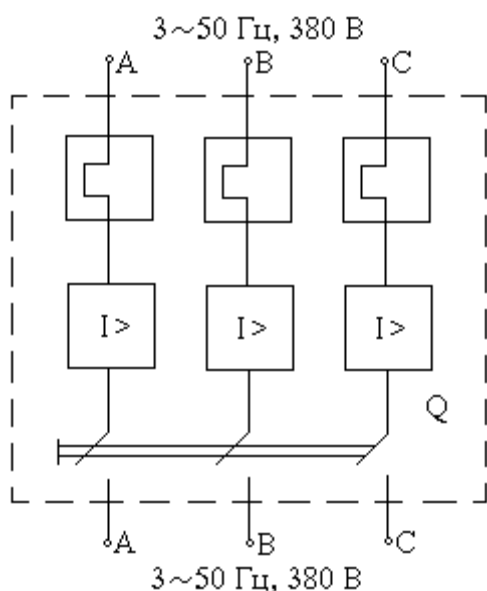


Рис. 3. Принципиальная схема блока ввода

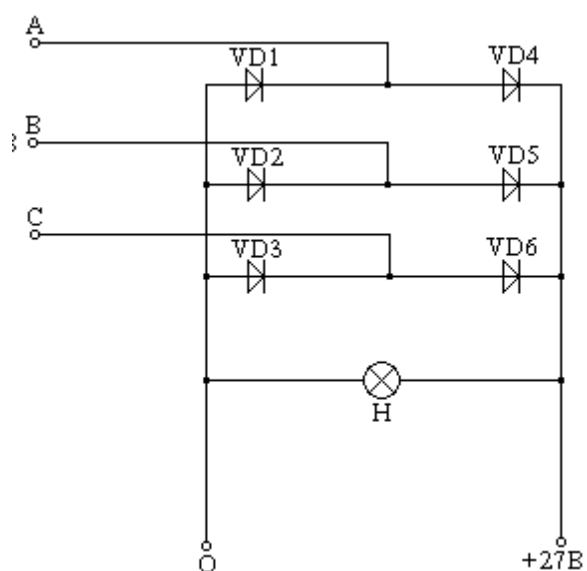


Рис. 4. Принципиальная схема блока возбуждения

Блок трансформаторов, состоящий из двух трансформаторов, предназначен для согласования сетевого напряжения $3 \sim 50$ Гц, 380 В с требуемыми напряжениями возбуждения и управления двигателями.

Блок питания (рис. 5) предназначен для питания блоков управления специальным напряжением. Сетевое напряжение $3 \sim 50$ Гц, 380 В подается в блок через блок ввода. В блоке питания есть схема проверки правильности фазировки тиристорного преобразователя, собранная на резисторах $R4$, $R5$, лампах $H1$, $H2$, конденсаторе $C1$ и кнопке $S3$. При правильной фазировке лампа $H1$ горит ярко, а лампа $H2$ - тускло. Реле K осуществляет блокиров-

ку блока питания. Включается реле K при нажатии кнопки $S1$ и наличии замкнутого внешнего блокировочного контакта, выключается - при нажатии кнопки $S2$ или при размыкании внешнего блокировочного контакта. Трансформатор $T1$ осуществляет преобразование напряжения 3~50 Гц, 380В в напряжение 3~50Гц, 60В, необходимое для работы блоков управления. Трансформатор $T2$ осуществляет преобразование напряжения 3 ~ 50 Гц, 380 В в переменное напряжение, необходимое для питания блоков управления и обмоток возбуждения тахогенераторов.

На диодах $VD1$ - $VD12$ собраны выпрямители, обеспечивающие питание блоков управления напряжением ± 24 В. На диодах $VD13$ - $VD18$ собраны выпрямители, обеспечивающие питание блоков управления постоянным напряжением $+24$ В. На диодах $VD19$ - $VD27$ выполнен выпрямитель, который совместно со стабилизатором, собранным на резисторах $R1$ - $R3$, стабилитронах $VD25$ - $VD27$, транзисторе $VT1$, конденсаторе $C2$, обеспечивает питание обмоток возбуждения тахогенераторов.

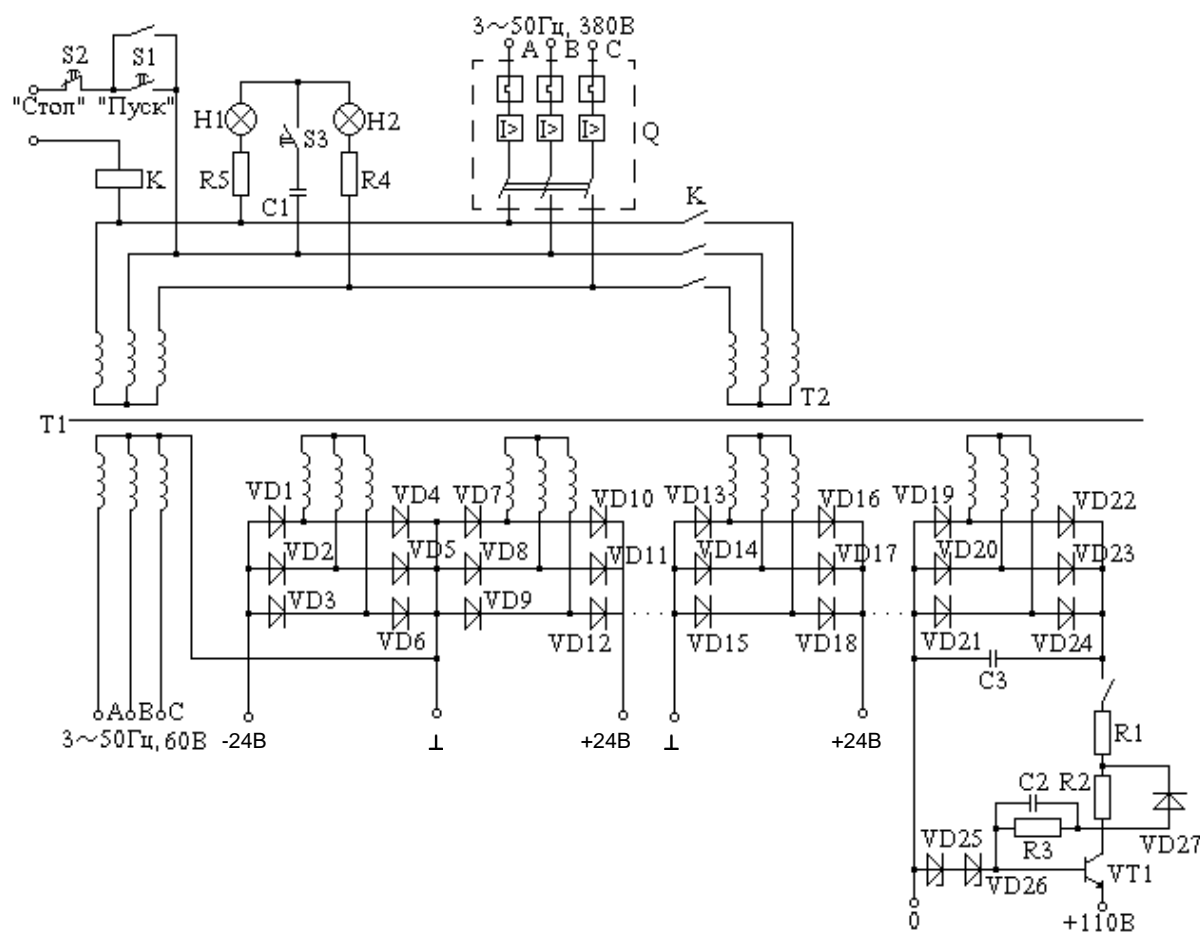


Рис. 5. Принципиальная схема блока питания

Блок управления (рис. 6) предназначен для управления блоком тиристоров и состоит из усилителя, трех фазосдвигающих цепочек и трех формирователей. Усилитель, собранный на микросхемах DA1 и DA2, осуществляет алгебраическое суммирование и усиление сигналов задания скорости и тахогенератора. Статический коэффициент усиления усилителя равен 2000 и определяется соотношением сопротивлений резисторов R3, R5, R8, R9. На резисторах R6, R7 собрана схема регулирования нуля усилителя. Усилитель охвачен корректирующей обратной связью, выполненной на резисторе R4 и конденсаторе C1. Данная связь необходима для придания приводу требуемых динамических свойств.

Усилитель является ПИ-регулятором скорости с передаточной функцией в виде:

$$W_{pc}(p) = \frac{U_{pc}(p)}{U_{zc}(p)} = \frac{U_{pc}(p)}{U_{тг}(p)} = \frac{K_{pc}(1 + T_{pc1}p)}{1 + T_{pc2}p},$$

где $U_{zc}(t)$, $U_{тг}(t)$ - соответственно сигнал задания скорости и сигнал тахогенератора; K_{pc} - коэффициент усиления регулятора; T_{pc1} , T_{pc2} - постоянные времени регулятора; p - оператор Лапласа.

Регулятор с подобной передаточной функцией обеспечивает большой коэффициент передачи разомкнутого контура электропривода при сохранении требуемых запасов устойчивости.

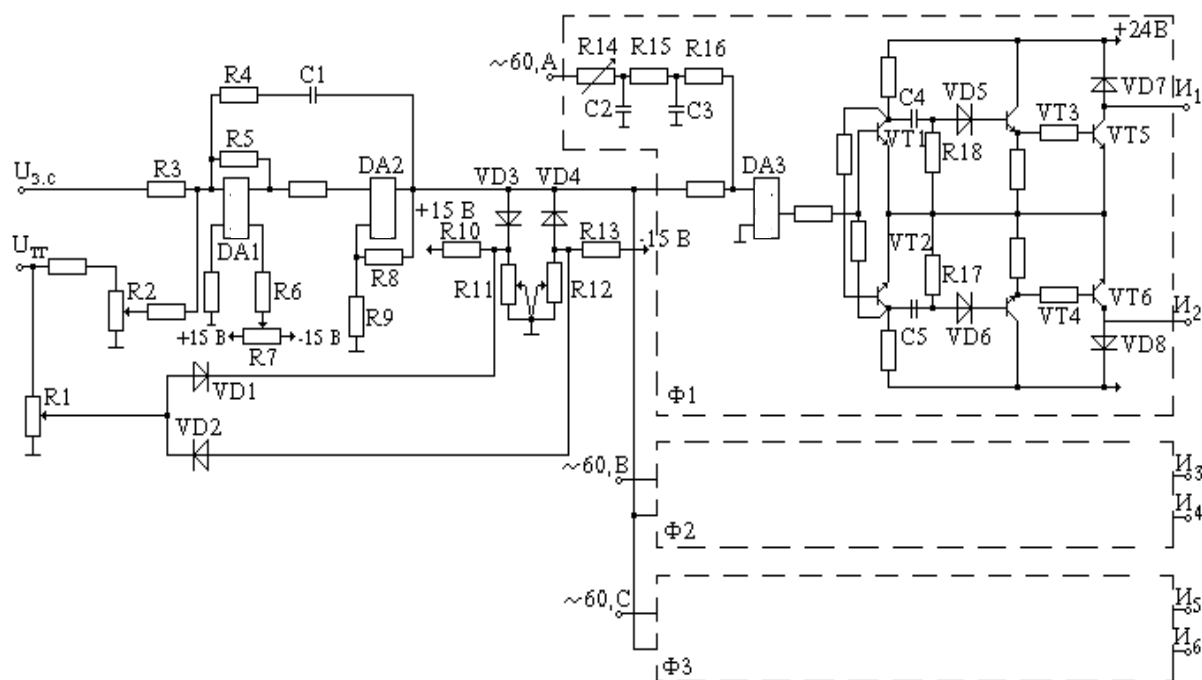


Рис. 6. Принципиальная схема блока управления

На выходе усилителя имеется схема ограничения уровня выходного напряжения, собранная на диодах $VD3$, $VD4$, резисторах $R10$, $R13$ и переменных резисторах $R11$, $R12$. В этой схеме напряжение на выходе усилителя при отсутствии обратной связи по скорости, реализованной на резисторе $R1$ и диодах $VD1$, $VD2$, ограничивается с помощью резисторов $R11$ и $R12$. Однако при действии этой обратной связи допустимый уровень напряжения на выходе усилителя может возрасти. Рассматриваемая схема обеспечивает ограничение пусковых токов. Как известно, для электродвигателя постоянного тока справедлива следующая приближенная формула:

$$i_{я}(t) = \frac{U_{я}(t) - k_{\omega} \omega(t)}{R_{я}},$$

где $i_{я}(t)$, $U_{я}(t)$ - соответственно ток якоря и напряжение на якоре двигателя, k_{ω} - коэффициент противоЭДС, ω - частота вращения выходного вала двигателя, $R_{я}$ - активное сопротивление якорной обмотки электродвигателя.

В момент пуска частота вращения вала двигателя равна нулю или очень мала, поэтому ток можно определить приближенно по формуле:

$$i_{яп} = U_{яп} / R_{я},$$

т.е. ограничить пусковой ток можно, лишь ограничив пусковое напряжение (вариант ограничения пускового тока путем увеличения сопротивления якорной цепи для электропривода роботов неприемлем). При движении это ограничение должно сниматься (иначе нельзя обеспечить большую скорость), что достигается применением положительной обратной связи по скорости через цепь $R1$ - диоды $VD1$, $VD2$. Время разгона регулируется резистором $R1$.

Фазосдвигающие цепочки предназначены для сдвига фаз переменного трехфазного напряжения (50Гц, 60В) на 90° и выполнены на резисторах $R14$ - $R16$ и конденсаторах $C2$, $C3$. Переменными резисторами $R14$ устанавливаются требуемая амплитуда переменного напряжения.

Формирователи $\Phi1$ - $\Phi3$ предназначены для формирования импульсов I_1 - I_6 открывания тиристорov. Все формирователи однотипны и состоят из компаратора, выполненного на микросхеме $DA3$, скважность выходного прямоугольного напряжения которого меняется в зависимости от сигналов, поступающих с фазосдвигающих цепочек и с выходного усилителя; усилителей напряжения на транзисторах $VT1$ и $VT2$; дифференцирующих цепочек - резисторов $R17$, $R18$ и конденсаторов $C4$, $C5$; селекторов (диоды $VD5$, $VD6$), пропускающих только положительные импульсы; усилителей им-

пульсов, выполненных на транзисторах $VT3 - VT6$, защищенных от перенапряжения диодами $VD7, VD8$.

Блок тиристоров является силовой частью преобразователя и предназначен для преобразования трехфазного напряжения $3 \sim 50$ Гц, 380 В, в постоянное U_d , амплитуда и полярность которого определяются временами поступления импульсов с блока управления тиристоров на импульсные трансформаторы $T1 - T6$, служащие для гальванической развязки цепей управления и силовых цепей преобразователя. Основой блока тиристоров является управляемый тиристорный выпрямитель (рис. 7), выполненный по трехфазной нулевой схеме на тиристорах $VS13 - VS18$.

В блоке тиристоров предусмотрена защита от коротких замыканий и перегрева, которая обеспечивается с помощью автоматического выключателя Q . Тиристоры защищены от перенапряжений цепочками на диодах $VD1-VD2$ и конденсаторах $C1 - C9$.

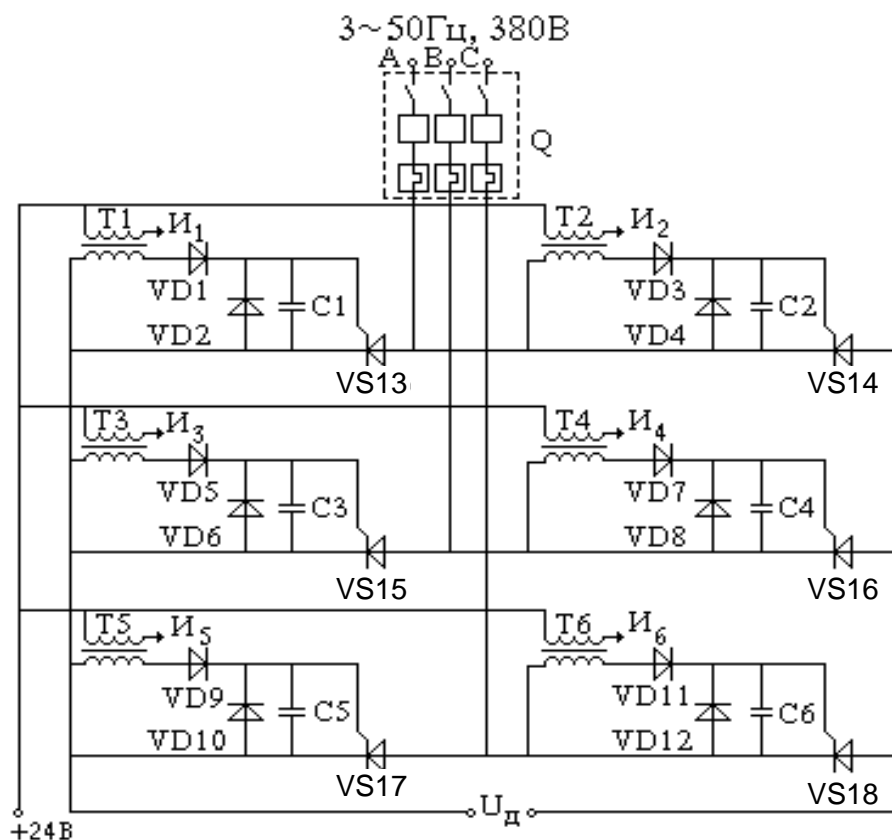


Рис. 7. Принципиальная схема тиристорного выпрямителя

Блок дросселей (рис. 8), преобразующий напряжение U_d в U_y , состоит из следующих элементов:

- уравнивательные дроссели $L1$ и $L2$, предназначенные для ограничения уравнивательных токов электропривода до величины $i_{яур} \leq (0,2-0,3) i_{яном}$;

- схема динамического торможения, включаемую с помощью контактов реле K в режиме аварийного отключения электропривода и состоящую из симметричного тиристора $VS1$, схемы управления симистором и нагрузочного резистора $R1$. Схема управления симистором, в свою очередь, состоит из резисторов $R2$, $R3$, двух стабилитронов $VD2$, $VD3$ и сглаживающего конденсатора C .

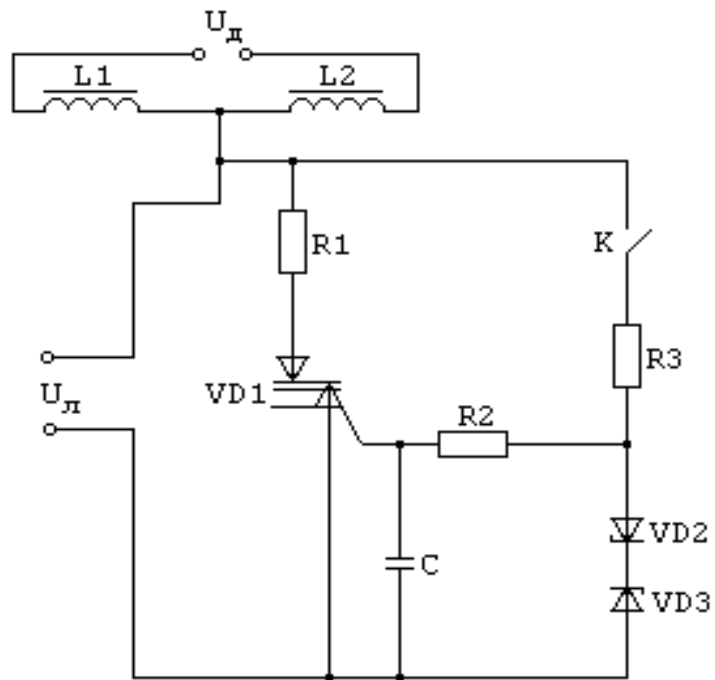


Рис. 8. Принципиальная схема блока дросселей

2. Порядок выполнения работы

Инженеры, специализирующиеся в области разработки электрических приводов, их технического обслуживания, регулировки, настройки и ремонта, должны иметь полное представление о процессах, протекающих в приводе в целом и его отдельных устройствах. Экспериментальное исследование этих процессов является одной из целей данной лабораторной работы.

Содержание экспериментальных исследований:

Плату блока управления расположить на лабораторном столе и с помощью технологического кабеля соединить ее с блоком приводов робота.

2.1. Исследовать форму напряжения ошибки $\epsilon(t)$ ЭП, напряжения на выходе регулятора скорости $U_{pc}(t)$ (контрольные точки на принципиальной электрической схеме - K_{p1} , K_{p2}), напряжение на выходе тахогенератора $U_{тр}(t)$, напряжения на выходе формирователя импульсов (контрольные точки $K_{ф1}$, $K_{ф2}$) с помощью осциллографа С1-68. Сигнал $\epsilon(t)$ сформировать с помощью дополнительного операционного усилителя аналогового вы-

числительного компьютера АВК-6. Исследования проводить при сигналах задания $U_{zc}=1(t) \cdot a$, где $a \leq \pm 10В$.

Определить по осциллограммам $U_{тр}=f(t)$ перерегулирование σ , время переходного процесса, ошибку ЭП.

2.2. Экспериментально получить регулировочную характеристику тахогенератора $U_{тр}=f(\omega)$ и электропривода $\omega=f(U_{zc})$.

Определить коэффициент передачи $K_{тр}$, В/(1/с) и сравнить его с паспортными данными тахогенератора.

2.3. Экспериментально определить диапазон регулирования скорости электропривода:

- подать на вход регулятора скорости ± 20 мВ и измерить частоту вращения вала двигателя $\pm \omega_{\min}$ с помощью тахометра;
- подать на вход регулятора скорости ± 10 В и измерить частоту вращения вала двигателя ω_{\max} аналогично предыдущему пункту;
- определить диапазон регулирования скорости при движении «вперед» и «назад» по формулам:

$$D_{ВП} = + \frac{\omega_{\max}}{+ \omega_{\min}}; D_{НЗ} = - \frac{\omega_{\max}}{- \omega_{\min}}.$$

2.4. Исследовать режим динамического торможения электропривода:

- включить электропривод и подать на вход регулятора напряжение $\pm 10В$;
- подключить к тахогенератору осциллограф С1-68;
- после достижения скорости двигателя установившегося значения выключателем АВ1 отключить привод от сети переменного тока;
- по осциллограмме переходного процесса определить время торможения двигателя ЭП.

3. Содержание отчета

3.1. Структурная и функциональная схема электропривода в режиме регулирования скорости.

3.2. Типы применяемых в электроприводах двигателей постоянного тока и их технические характеристики.

3.3. Принципиальная электрическая схема регулятора скорости с указанием используемых микросхем.

3.4. Результаты экспериментальных исследований ЭП: $\varepsilon(t)$; $U_{pc}(t)$; $U_{тр}=f(t)$; $U_{тр}=f(\omega)$; $\omega=f(U_{zc})$; $D_{в}$; $D_{н}$; $\omega=f(t)$.

3.5. Краткие выводы по результатам исследований.

4. Контрольные вопросы

- 4.1. Какой принцип работы привода в режиме регулирования скорости? Функциональная схема привода. Каково назначение блока ввода?
- 4.2. Как реализованы защиты в электроприводе: нулевая, тепловая, от коротких замыканий, от обрыва цепи питания?
- 4.3. Как работает устройство защиты и контроля правильности фазировки блока питания тиристоров?
- 4.4. Какой принцип работы блока питания?
- 4.5. Каково назначение, состав и принцип работы блока управления?
- 4.6. Какой принцип работы регулятора скорости, его принципиальная схема и передаточная функция?
- 4.7. Как осуществляется в регуляторе скорости обратная связь по напряжению, ограничение выходного напряжения и пусковых токов, установка требуемого времени разгона, выбор требуемого закона регулирования, назначение положительной обратной связи по скорости?
- 4.8. Каково устройство и принцип работы формирователей импульсов управления тиристорами?
- 4.9. Какой принцип работы блока силовых тиристоров, его назначение? Опишите временные диаграммы напряжений и токов. Какие существуют виды защит блока тиристоров?
- 4.10. Какой принцип работы импульсного трансформатора, назначение диодов, конденсаторов в цепи выходной обмотки?
- 4.11. Как работает симистор в цепи схемы динамического торможения?
- 4.12. Каково назначение и принцип работы блока дросселей?
- 4.13. Каково назначение и принцип работы схемы динамического торможения?

Лабораторная работа №3

ИССЛЕДОВАНИЕ ТИРИСТОРНОГО ШИРОТНО - ИМПУЛЬСНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Цель работы. Исследование статических и динамических характеристик электропривода ЭТШМ-0,5, состоящего из двигателя постоянного тока независимого возбуждения и широтно-импульсного тиристорного преобразователя. Исследование в режиме регулирования скорости проводится на автономном макете электропривода, а в режиме регулирования положения - на электроприводе в составе промышленного робота.

1. Теоретические положения

Функциональная схема широтно-импульсного преобразователя (ШИП) с типовым широтно-импульсным модулятором (ШИМ), мостовым выходным каскадом – усилителем мощности (УМ) и одиночным источником питания (ИП) приведена на рис. 9. Широтно-импульсный модулятор преобразователя содержит генератор опорного напряжения (ГОН) пилообразной или треугольной формы.

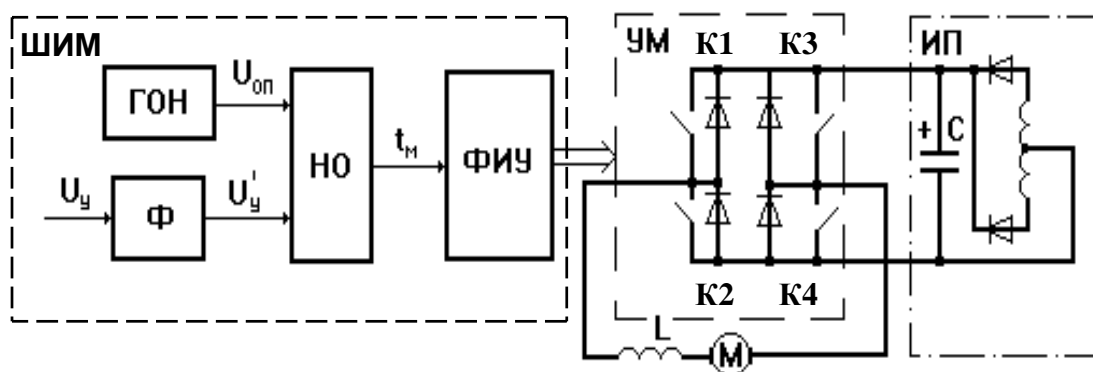


Рис. 9. Функциональная схема широтно-импульсного преобразователя

Его фиксированная частота f_o (период T_o) определяет частоту (период) импульсной модуляции и выбирается от 2 до 20 кГц (период от 500 до 50 мкс). От генератора опорного напряжения опорное напряжение с амплитудой $U_{оп}$ подается на один из входов нуля-органа, т.е. компаратора напряжений.

Сигнал управления U'_y после сглаживания высокочастотных помех фильтром (Ф) подается на другой вход нуля-органа. Здесь и осуществляется его преобразование в последовательность прямоугольных импульсов с регулируемой длительностью $t_u=t_u(U_y)$, что эквивалентно регулированию коэффициента заполнения $\gamma=t_u/T_o$.

Формирователь импульсов управления (ФИУ) преобразует эту последовательность в импульсы управления ключами $K1 - K4$ усилителя мощности, а также обеспечивает логику (способ) этого управления, рассматриваемую ниже.

Модуляторы простых преобразователей имеют на выходе последовательность импульсов с зависимостью

$$\gamma = \left(\frac{U_y}{2U_{оп}} + 0,5 \right); \gamma = 1, \text{ если } \frac{U_y}{U_{оп}} \geq 1; \gamma = 0, \text{ если } \frac{U_y}{U_{оп}} \leq 0. \quad (1)$$

Это значит, что во всем двуполярном диапазоне изменений U_y величина γ меняется линейно от 0 до 1, а значение $U_y = 0$ соответствует $\gamma = 0,5$. Импульсы управления чаще всего двуполярные.

В более совершенных преобразователях за счет некоторого их усложнения на выходе модулятора получают последовательность импульсов с зависимостью

$$\gamma = \frac{U_y}{U_{оп}}; |\gamma| = 1, \text{ если } \left| \frac{U_y}{U_{оп}} \right| \geq 1. \quad (2)$$

Здесь абсолютная величина коэффициента заполнения γ также изменяется от 0 до 1, однако его значение определяется при $U_y > 0$ как относительная длительность положительных импульсов, а при $U_y < 0$ - отрицательных. Значение $\gamma = 0$ при $U_y = 0$ соответствует отсутствию импульсов.

По первому способу управления усилителя мощности все его ключи коммутируются с периодом импульсной модуляции T_0 , причем те из них, что расположены в одной диагонали, открываются и закрываются одновременно в противофазе с ключами другой диагонали. Для управления усилителем мощности по первому способу используют последовательность импульсов с зависимостью $\gamma(U_y)$ (1).

При данном варианте на двигатель от источника питания через ключи усилителя мощности подаются двухполярные импульсы с ЭДС величиной E_0 , а среднее значение этой ЭДС с учетом формул (1) будет

$$E_{п} = \frac{1}{T_0} \left(\int_{t_u}^{T_0 - t_u} E_0 dt \right) = (2\gamma - 1) E_0 = \frac{E_0}{U_{оп}} U_y.$$

В преобразователе с таким управлением обеспечивается непрерывный ток нагрузки во всех режимах независимо от индуктивности нагрузки. Это связано с тем, что нагрузка постоянно подключена к источнику питания через ключи одной из диагоналей. В одном из полупериодов машина находится в двигательном режиме, в другом - в режиме противовключения. Благодаря этому механические характеристики остаются жесткими даже в режиме минимальных нагрузок. Однако такой способ управления приводит к большим пульсациям тока, к большим его амплитудным значениям при малой и даже равной нулю постоянной составляющей. Следствием этого являются большие потери в преобразователе и двигателе, нагрев двигателя.

Ток от ЭДС самоиндукции нагрузки протекает через диоды, шунтирующие ключи навстречу ЭДС источника питания, заряжая конденсаторы его фильтра и поднимая напряжения источника.

По второму способу широтно-импульсное регулирование осуществляется коммутацией ключей одной диагонали при запертых ключах другой. Реверс выполняется за счет смены коммутируемой диагонали. Для управления используется модуляция по закону (2). В результате с выхода

УМ на двигатель подаются однополярные импульсы, среднее значение ЭДС которых с учетом (2)

$$E_{\Pi} = \frac{1}{T_o} \int_0^{t_u} E_o dt = \frac{t_u}{T_o} E_o = \gamma E_o = \frac{E_o}{U_{оп}} U_y.$$

В паузе между импульсами режима противовключения или динамического торможения нет, так как все ключи закрыты. Ток, вызванный ЭДС самоиндукции, протекает как и в предыдущем варианте. Для получения непрерывного тока якоря при малых нагрузках и соответственно жестких механических характеристик требуется в данном случае заметная индуктивность цепи якоря.

По третьему способу напряжение регулируется за счет противофазного переключения с параметром γ ключей одной из «стоек», например $K1$ и $K2$. При этом во второй «стойке» один из ключей включен постоянно, определяя полярность подключения нагрузки к источнику питания, другой закрыт. При реверсе ключи второй «стойки» меняются между собой ролями.

В паузе между подключениями нагрузки к источнику питания образуется контур замыкания тока от ЭДС самоиндукции, а также от противо-ЭДС двигателя, не включающий в себя источник. Двигатель находится в режиме динамического торможения. Образование такого контура позволяет обеспечить непрерывность тока якоря и жесткость характеристик привода при незначительной индуктивности якорной цепи, в том числе и на малых нагрузках.

Нетрудно видеть, что при всех способах широтно-импульсного регулирования отношение $E_o/U_{оп}$ является коэффициентом передачи преобразователя по управлению. Кроме этого, значение $U_{оп}$ определяет величину зоны линейности регулировочной характеристики ШИП по U_y . Значение $U_{оп}$ выбирается, как правило, близким к стандартному, чаще всего около 10 В, а E_o - на 10 - 15 % больше номинального напряжения нагрузки.

Важным параметром ШИП является его внутреннее сопротивление R_{Π} . Оно вносит свой вклад в «смягчение» механической характеристики. За счет R_{Π} растет доля энергии привода, теряемая в ШИП в виде тепла, соответственно уменьшается доля энергии, преобразуемая двигателем в механическую. В результате увеличение момента нагрузки на валу двигателя приводит к большему падению частоты вращения.

Для упрощения структурной схемы привода удобно в передаточной функции ШИП рассматривать его свойства лишь относительно выходной ЭДС E_{Π} , а R_{Π} учитывать в передаточной функции двигателя в виде суммарного сопротивления якорной цепи $R_{я}$.

2. Общие сведения об электроприводе ЭТШМ-0,5

Электропривод постоянного тока тиристорный, широтно-импульсный, серии ЭТШМ-0,5 У4М с номинальной мощностью 0,5 кВт предназначен для применения на станках с программным управлением в качестве привода подачи.

В состав электропривода ЭТШМ-0,5 У4М входят:

- электродвигатель постоянного тока типа ДТ 550-ПГ;
- силовой трансформатор;
- преобразователь, состоящий из тиристорного импульсного усилителя мощности (ИУМ) и блоков управления БУ1, БУ2, БУ3.

2.1. Техническая характеристика электропривода

1) Электропривод серии ЭТШМ-0,5У4М:

Пределы частоты вращения, об/мин	2 - 6000
Жесткость механической характеристики, %	15
Время переходных процессов при пуске с приведенным моментом инерции, с	0,1

2) Блок-преобразователь тиристорный широтно-импульсный:

Мощность, кВт	1
Масса, кг	42

3) Силовой трансформатор:

Мощность, кВт	3,2
Напряжение, В	380
Частота питающей сети, Гц	50
Масса, кг	57

4) Электродвигатель ДТ550-ПГ:

Мощность, кВт	0,55
Номинальная частота вращения, об/мин	6000
Номинальное напряжение на якоре, В	110
Масса, кг	11

5) Привод снабжен токовой отсечкой, ограничивающей перегрузку по току, в 4 - 7 раз превышающей номинальное значение, а также аварийной максимальной защитой на ток, в 10 - 13 раз превышающий номинальный.

6) Привод должен работать от управляющего сигнала ± 10 В, подаваемого на входное сопротивление преобразователя 1 кОм.

7) Отклонение частот вращения от установленных при изменении нагрузки от 15 до 100% от номинальной (по току) должны быть не более 2% при диапазоне регулирования менее 1:10, не более 5% при диапазоне менее 1:1000, не более 10% при диапазоне менее 1:10000 и не более 15% при диапазоне менее 1:30000.

8) Суммарная погрешность частот вращения, определяемая как сумма погрешностей частоты вращения при изменении нагрузки от 15 до 100%, изменения напряжения сети от 85 до 110%, изменения температуры окружающей среды от 15 до 40°C и собственном прогреве привода должна быть не более $\pm 5\%$ - при номинальной скорости, $\pm 10\%$ - при диапазоне регулирования менее 1:100, $\pm 25\%$ - при диапазоне регулирования менее 1:1000 и 30% - при диапазоне регулирования менее 1:2000.

9) Отклонение частоты вращения, вызываемое изменением направления вращения, должно быть не более $\pm 5\%$ - при диапазоне до 1:100 и $\pm 10\%$ при диапазоне регулирования.

10) Время пуска на номинальную частоту вращения и соответствующее время торможения при наличии на валу двигателя момента инерции, равного моменту инерции двигателя, не должно превышать 10 с при переуправлении не более 10%.

11) Привод должен обеспечивать равномерное вращение при нагрузках не более номинальной при частоте вращения 1,0 об/мин. Стабильность частоты при этом не ограничивается.

2.2. Устройство и работа привода

Тиристорный широтно-импульсный преобразователь предназначен для управления скоростью двигателя постоянного тока, которое осуществляется изменением скважности коммутирующего направления на зажимах якоря. Скорость двигателя при таком способе управления определяется соотношением

$$n = \frac{\gamma U_{\text{п}} - I_{\text{я ср}} R_{\text{я}}}{C_{\text{е}} \Phi_{\text{н}}},$$

где $U_{\text{п}}$ - напряжение источника питания;

$I_{\text{я ср}}$ - среднее значение якорного тока;

$R_{\text{я}}$ - суммарное сопротивление якорной цепи;

$C_{\text{е}}$ - коэффициент противоЭДС двигателя;

$\Phi_{\text{н}}$ - номинальный магнитный поток возбуждения двигателя;

$\gamma = \frac{t_1}{T_{\text{к}}}$ - скважность импульсов;

t_1 - время, в течение которого тиристорный ключ замкнут;

$T_{\text{к}}$ - период коммутации.

Этот закон регулирования скорости справедлив тогда, когда между периодом коммутации $T_{\text{к}}$ и электромагнитной постоянной якорной цепи $T_{\text{я}}$ соблюдается следующее соотношение:

$$\frac{T_{\text{я}}}{T_{\text{к}}} \geq 5 \div 10.$$

Тиристорный преобразователь рассчитан на работу с двигателем типа ДТ 550-ПГ, у которого при включении дополнительного якорного дросселя указанное соотношение выполняется. При высокой частоте коммутации якорного тока дополнительные потери в двигателе незначительны и допускается работа двигателя в длительном режиме с номинальным моментом на валу.

На рис. 10 приведена функциональная схема привода с тиристорным широтно-импульсным преобразователем.

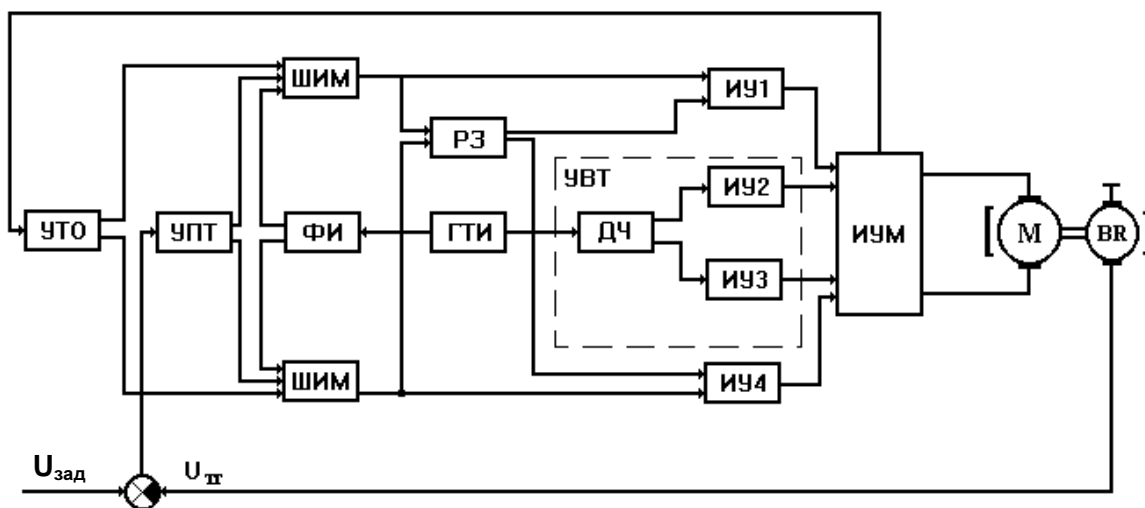


Рис. 10. Функциональная схема электропривода с преобразователем ЭТШМ-0,5

Генератор тактовых импульсов (ГТИ) мультивибраторного типа формирует пилообразное напряжение (рис. 11,а), которое поступает на фазоинверторы (ФИ) и далее на два широтно-импульсных модулятора. На входы модуляторов ШИМ подаются пилообразное напряжение с генератора тактовых импульсов и напряжение с выхода усилителя постоянного тока (УПТ).

На выходе ШИМ формируется импульс, скважность которого пропорциональна величине сигнала на входе модулятора (рис. 11,б). Передние фронты этих импульсов дифференцируются и через инвертор подаются на импульсные усилители ИУ1 или ИУ4 и затем на импульсный усилитель мощности ИУМ, в зависимости от полярности входного сигнала. Продифференцированные импульсы (рис. 11,в), соответствующие началу обратного хода «пилы», поступают на делитель частоты (ДЧ) - симметричный триггер со счетным входом.

Входные сигналы делителя дифференцируются и в виде двух серий импульсов, следующих с частотой вдвое меньше частоты тактового генератора и сдвинутых между собой на половину периода (рис. 11,г,д) подаются на импульсные усилители ИУ2, ИУ3 и далее на тиристоры устройства включения тиристор (УВТ). УВТ выдает две серии косинусоидальных

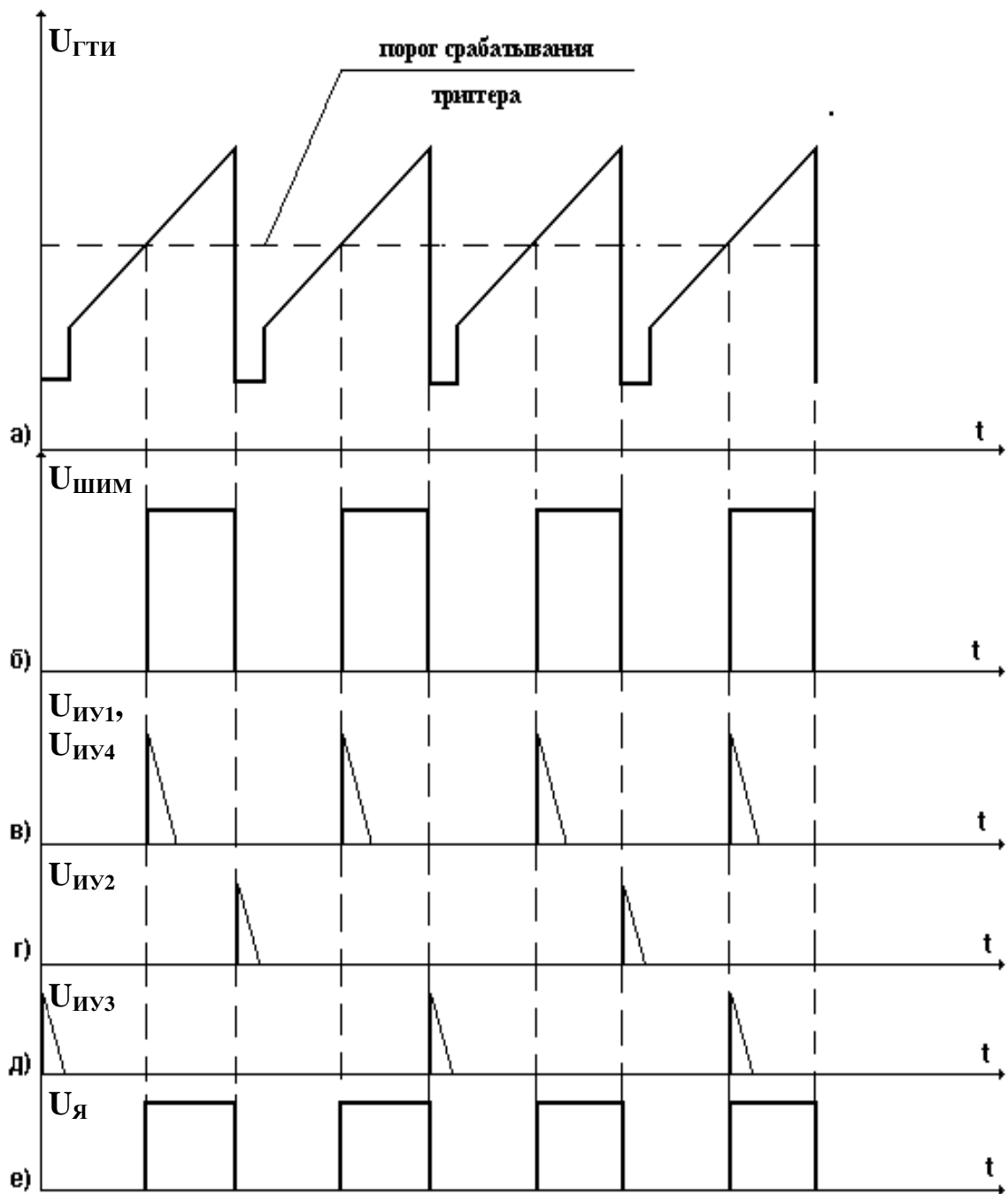


Рис. 11. Графики напряжений усилителя мощности широтно-импульсного привода

импульсов, которые включают тиристоры диагонали моста поочередно, т.е. тиристорный мост работает по очередному закону коммутации. На якоре двигателя получаются импульсы постоянной амплитуды и скважности (рис. 11,е).

Для стабилизации скорости в приводе применяется отрицательная обратная связь по скорости, реализуемая с помощью тахогенератора BR , встроенного в двигатель ДТ-550ПГ. Разность напряжения задания и тахогенератора ($U_{зс} - U_{тг}$) подается через корректирующее RC -звено на вход фазочувствительного УПТ и далее на входы ШИМ.

Привод снабжен устройством автоматического токоограничения. В приводе применяется «реле знака», которое дает возможность уменьшить или исключить зону нечувствительности привода.

Схема электрическая принципиальная электропривода ЭТШМ-0,5 приведена на плакате лабораторного стенда.

Защита привода от коротких замыканий осуществляется автоматическим выключателем, один полюс которого включен в якорную цепь, другой в общую цепь питания устройства включения тиристоров и тиристорного моста.

Питание силовых цепей и цепей управления осуществляется от силового трансформатора, имеющего четыре выходных обмотки. Выпрямленные напряжения питания, поступающие в схему управления, сглаживаются и стабилизируются. В приводе применяются стабилизаторы параметрического типа. Величина выходного напряжения на выходе источника определяется параметрами соответствующего стабилитрона и регулируется изменением ограничительного резистора.

Предусмотрена задержка импульсов включения тиристорного силового моста ($VS1...VS4$) для исключения проворота двигателя при включении питания привода ($C31, VD15, VD14, VD16, R45$) (см. плакат).

2.3. Работа тиристорного усилителя мощности и схемы управления тиристорами

Входной сигнал, представляющий собой разность задающего напряжения обратной связи, поступает (см. плакат) на вход фазочувствительного усилителя постоянного тока (транзисторы $VT1, ..., VT8$; микросхема $A1$). УПТ выполнен по схеме двойного преобразования сигнала и состоит из генератора Ройера с частотой 20 кГц (транзисторы $VT7, VT8, T1$), одноконтурного модулятора ($A1$), четырехкаскадного усилителя переменного тока ($VT1, VT2, VT3, VT4$) и демодулятора, собранного по одноконтурной схеме ($T1, VT5, VT6$).

Вход усилителя постоянного тока шунтирован диодами $VD3, VD4$,

ограничивающими входной сигнал на уровне 0,5 В. Установка «0» УПТ осуществляется с помощью резистора $R12$. Характеристика «вход - выход» УПТ представлена на рис. 12.

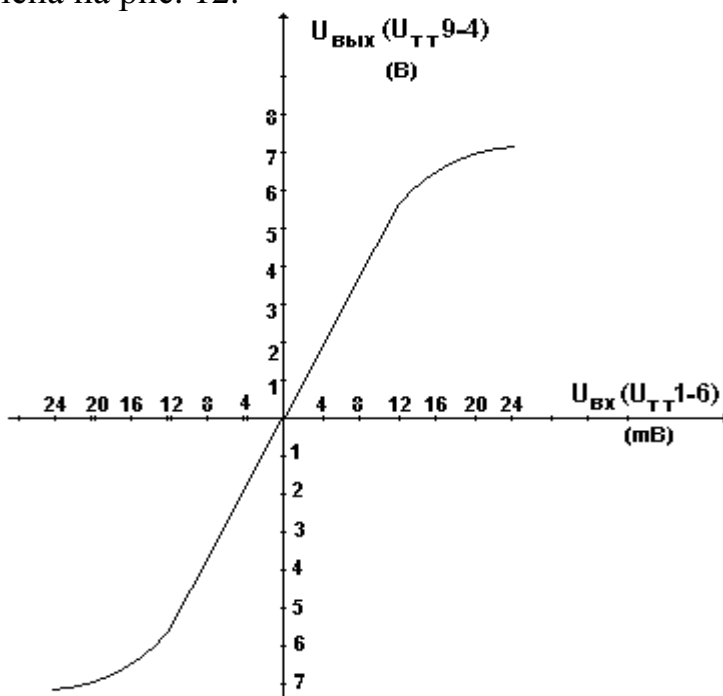


Рис. 12. Характеристика усилителя постоянного тока

Генератор тактовых импульсов мультивибраторного типа выполнен на транзисторах $VT13$, $VT14$. На входе генератора тактовых импульсов формируется пилообразное напряжение с прямоугольным выбросом U_1 (рис. 13,а). Частота следования импульсов 2 кГц. Регулирование длительности периода следования тактовых импульсов достигается изменением сопротивления $R42$. Изменение длительности прямоугольного выброса на пилообразном напряжении осуществляется изменением сопротивления $R43$. Продифференцированные импульсы U_2 , U_3 с выхода генератора тактовых импульсов (рис. 13,б,в) через эмиттерный повторитель поступают на делитель частоты - триггер со счетным входом, выполненный на транзисторах $VT23$, $VT24$.

Импульсы, поступающие с выхода делителя частоты U_4 (рис. 13,г), усиливаются импульсными усилителями на транзисторах $VT25$, $VT27$ и $VT26$, $VT28$, принимают форму U_5 (рис. 13,д) и далее подаются на тиристоры УВТ в виде U_6 (рис. 13,е).

С другой стороны импульсы с выхода генератора тактовых импульсов U_{11} поступают через фазоинверторы на транзисторах $VT15$ и $VT16$ на входы широтно-импульсных модуляторов в форме U_{12} (рис. 14,а,б). При необходимости, изменением величины сопротивления резистора $R47$ можно добиться, чтобы размах «пилы» составлял приблизительно 4/5 части всего импульса с прямоугольным выбросом (120 мс).

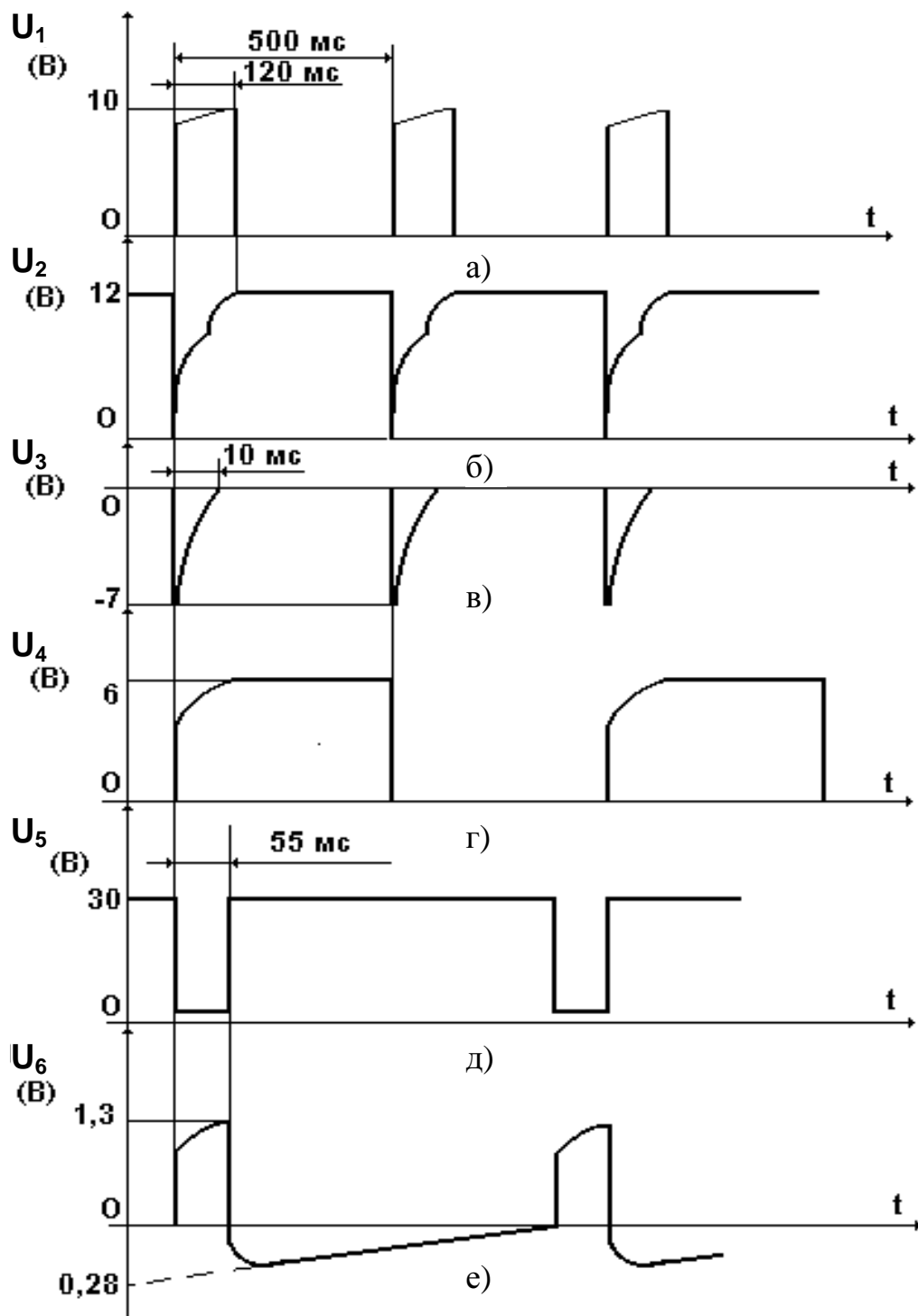


Рис. 13. Графики напряжений схемы управления тиристорами

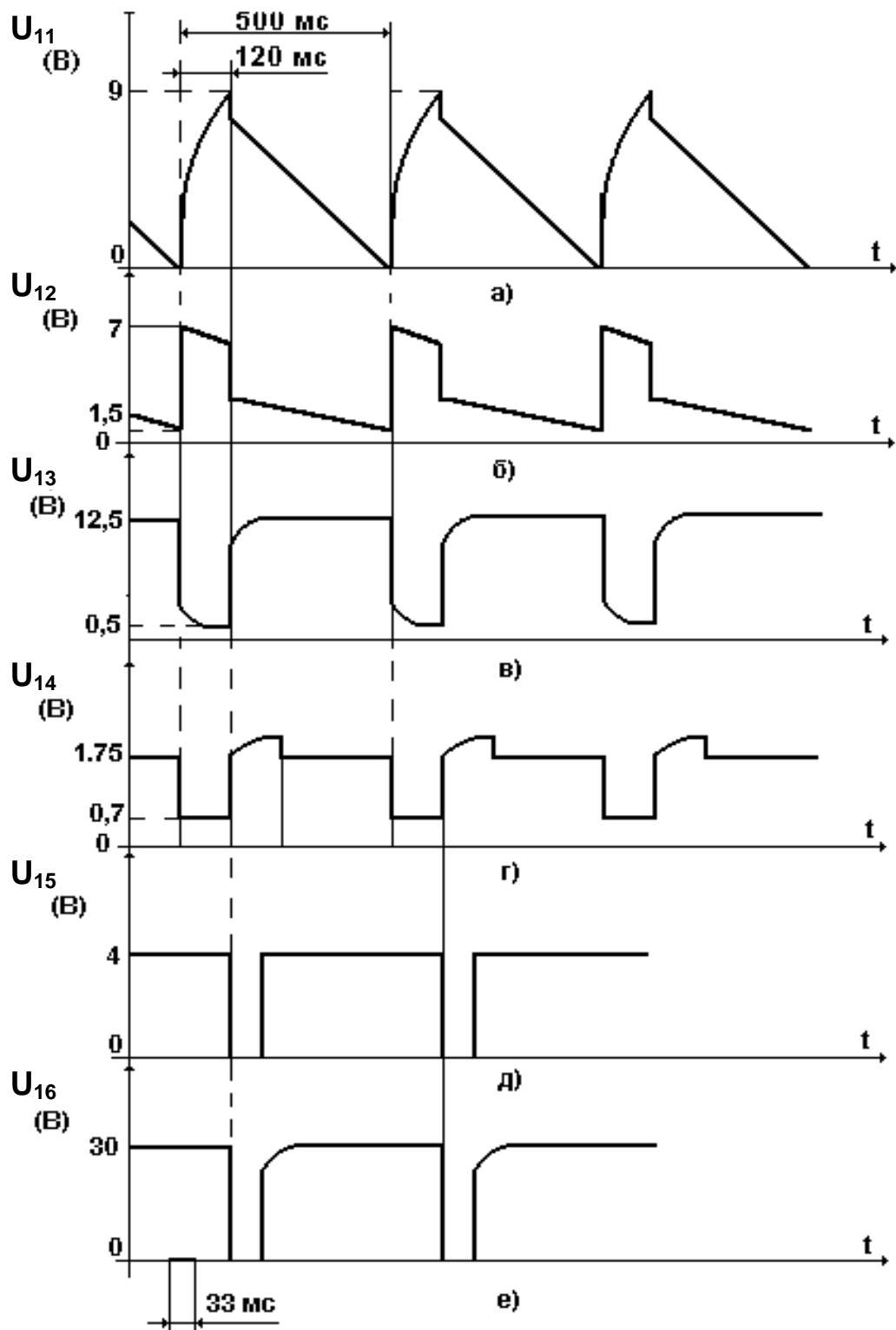


Рис. 14. Графики напряжений широтно-импульсных модуляторов

В качестве пороговых устройств в приводе используются триггеры Шмидта (транзисторы $VT17$, $VT18$, $VT19$, $VT20$ на плакате). Когда напряжение на входе широтно-импульсного модулятора превышает порог срабатывания, на выходе формируется импульс U_{13} (рис. 14,в), скважность которого пропорциональна величине сигнала на входе модулятора.

В результате срабатывания триггера Шмидта на линейно изменяющейся части напряжения «пилы» на входе ШИМ (U_{14}) появляется излом (рис. 14,г). Широтно-импульсный модулятор должен обеспечивать начало работы каждого из пороговых устройств при выходном сигнале усилителя постоянного тока, приблизительно равным 0,2 – 0,3 В и насыщение модулятора при выходном сигнале УПТ около 3 В.

Регулировка напряжения, при котором начинает срабатывать пороговое устройство, осуществляется с помощью резисторов $R53$ и $R54$ (см. плакат).

Передние фронты импульсов с выхода ШИМ дифференцируются и через инверторы $VT21$, $VT22$ выдаются на импульсные усилители (U_{15}) на транзисторах $VT31$, $VT33$, $VT32$, $VT34$ (рис. 14,д).

Реле знака собрано на микросхеме $A2$ и транзисторах $VT29$ и $VT30$. На основе микросхемы $A2$ К155ЛА3 реализован симметричный триггер с отдельными входами. Реле знака работает таким образом, что при наличии импульсов на выходе ШИМ одного из каналов другой неработающий канал запирается с помощью реле знака - симметричный триггер своими выходами через ключевые схемы (транзисторы $VT29$, $VT30$) закрывает или открывает вход соответствующего импульсного усилителя (например: $VT31$, $VT33$ - открывает, $VT32$, $VT34$ - закрывает в зависимости от полярности входного сигнала).

Отпирание неработающего канала при изменении полярности входного сигнала осуществляется с задержкой не менее, чем два периода следования тактовых импульсов.

Задержка на включение соответствующего импульсного усилителя регулируется с помощью RC цепочек на выходах ключей $R122$, $R123$, $C55$, $C57$. При увеличении номиналов R и C длительность задержки увеличивается, при уменьшении номиналов - уменьшается.

Тиристорный импульсный усилитель мощности состоит из реверсивного тиристорного моста (тиристоры $VS1$ - $VS4$), устройства выключения тиристоров (УВТ) - (тиристоры $VS7$, $VS8$, дроссели $L2$, $L3$, конденсаторы $C86$... $C91$, диоды $VD67$, $VD68$ и обратный мост $VD63$ - $VD66$) и разрядной цепочки (резистор $R147$, тиристоры $VS5$, $VS6$).

Работа тиристорного моста происходит следующим образом (см. рис. 15).

Включающие импульсы положительной полярности относительно катода поступают из схемы управления одновременно на тиристоры одной

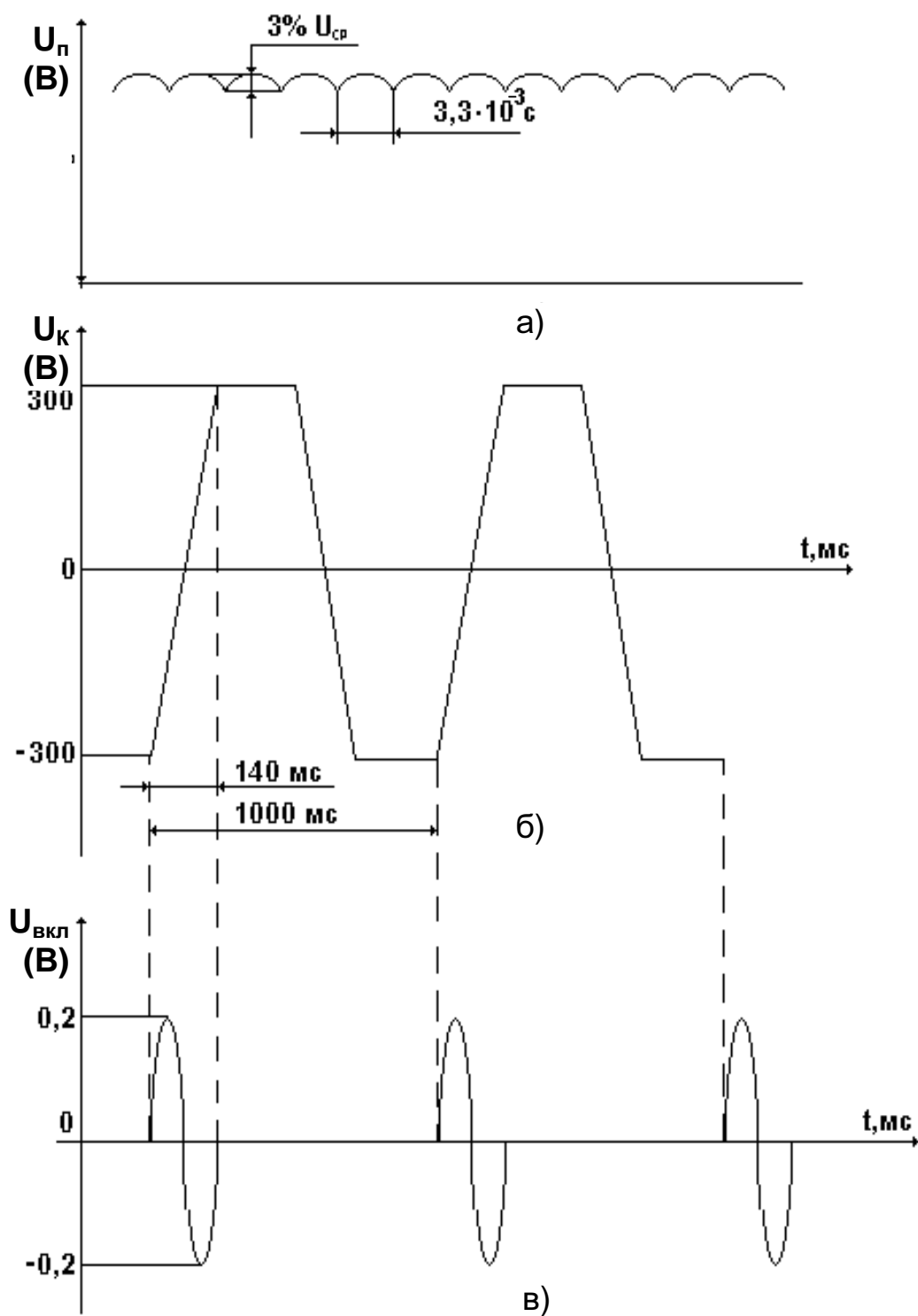


Рис. 15. Графики напряжений тиристорного моста

из диагоналей моста, например $VS2$, $VS4$ ($VS1$ и $VS3$ отключены), при этом напряжение источника питания $U_{\text{п}}$ (рис. 15,а) подается на якорь электродвигателя. В конце периода коммутации импульс устройства выключения тиристоров на дросселе $L3$ отключает тиристор $VS2$. ЭДС самоиндукции якорной обмотки замыкается при этом через $VS2$, $VS3$ и $VD66$. Затем снова подаются включающие импульсы на тиристоры $VS2$, $VS4$. В конце этого периода коммутации выключается тиристор $VS4$ импульсом с дросселя $L2$ устройства выключения тиристоров. ЭДС самоиндукции замыкается при этом по пути $VD63$, $L2$, $VS2$. Для получения обратного направления вращения аналогично работают $VS1$ и $VS3$. При реверсе прекращается подача включающих импульсов на работающую диагональ, например $VS2$, $VS4$.

Устройство выключения тиристоров выключает тиристор $VS2$, в следующий такт $VS4$. После этого подаются включающие импульсы на тиристоры $VS1$, $VS3$. Таким образом, подача импульсов на другую диагональ происходит с задержкой не менее чем на время двух периодов коммутации. После включения тиристоров $VS1 - VS4$ напряжение источника питания складывается с ЭДС якорной обмотки. Под влиянием этого суммарного напряжения ток в якорной цепи резко возрастает и срабатывает устройство токоограничения. При этом уменьшается скважность ШИМ - сигнала до прекращения подачи включающих импульсов на тиристоры $VS1$, $VS2$, $VS3$, $VS4$, и они отключаются в результате работы УВТ в течение 2 периодов.

Для того, чтобы напряжение на конденсаторах $C92...C103$ во время реверса и срабатывания устройства токоограничения не возрастало чрезмерно, в коммутатор введена специальная разрядная цепочка, состоящая из сопротивления $R147$ и тиристоров $VS5$, $VS6$, включающихся трансформатором $T9$.

Устройство выключения тиристоров представляет собой двухтактный генератор мощных косинусоидальных импульсов. В момент подключения привода к сети при включении тиристора $VS7$ включающим импульсом $U_{\text{вкл}}$ (рис. 15,в) происходит резонансный заряд конденсаторов $C36...C91$ по контуру $+U_{\text{пит}}-L2-VS7-C86...C91-L4-C98...C103- -U_{\text{пит}}$ до напряжения, примерно равного удвоенному напряжению питания (форма напряжения $U_{\text{к}}$ на коммутирующем конденсаторе представлена на рис. 15,б). Обратной полуволной тока тиристор $VS7$ выключается, и заряд на емкостях $C86...C91$ удерживается до прихода следующего включающего импульса. Им включается тиристор и по цепи $C86...C91-VS8-L3-VD68-C86...C91$ начинается резонансный разряд коммутирующего конденсатора. Таким образом, пока диод $VD68$ открыт, источник питания замыкается через открытый диод $VD68$, конденсаторы $C92...C97$ и дроссель $L4$.

Разряд через диод $VD68$ продолжается до тех пор, пока токи, обусловленные источником питания и заряженными конденсаторами $C86...C91$ че-

рез диод $VD68$, не будут равны. Тогда диод $VD68$ закрывается и дальнейший разряд и переразряд конденсаторов $C86...C91$ осуществляется через источник питания, конденсаторы $C92...C97$, дроссель $L4$. Тиристор $VS8$ гасится обратной полуволной тока, и заряд на конденсаторах $C86...C91$ приблизительно равен удвоенному напряжению питания и удерживается до прихода следующего включающего импульса. Этим импульсом включается тиристор $VS7$, перезаряд конденсаторов $C86...C91$ начинается по цепи: $C86...C91-VD67-L2-VS7-C86...C91$. Источник питания замыкается через открытый диод $VD67-C98...C103$ и дроссель $L4$. Диод $VD67$ удерживается в открытом состоянии разрядным током конденсаторов $C86...C91$ до тех пор, пока ток, обусловленный источником питания и дросселем $L4$, протекающий в обратном направлении, не сравняется с прямым током диода. В этот момент диод $VD67$ закроется, и дальнейший перезаряд емкостей $C86...C103$ прекращается. Тиристор $VS7$ выключается обратной полуволной тока, и заряд конденсаторов $C86...C91$, примерно равный удвоенному напряжению источника питания, удерживается на нем до прихода следующего включающего импульса на тиристор $VS7$. В дальнейшем работа устройства выключения тиристоров осуществляется аналогично вышеизложенному. Таким образом, при заряде (разряде) конденсаторов $C86...C91$ на обмотках дросселей $L2$ ($L3$) возникает косинусоидальный импульс, который и осуществляет включение рабочих тиристоров ($VS1, VS2, VS3, VS4$). На каждый из тиристоров УВТ включающие импульсы должны поступать с частотой в два раза ниже частоты коммутации.

Привод снабжен устройством автоматического токоограничения, состоящим из управляемого дросселя $L8$, выпрямителя $VD23 - VD26$ и стабилитрона $VD17$. Питается устройство частотой 20 кГц от обмотки $T1$. При изменении якорного тока меняется магнитное состояние $T8$ и его сопротивление по переменному току. При определенном токе якоря $VD17$ пробивается и на выходы широтно-импульсного модулятора подается отрицательное смещение, уменьшающее скважность управляющих импульсов до нуля.

3. Порядок выполнения работы

3.1. Разработать функциональную и принципиальную электрическую схему следящего привода для робота «Универсал – 5.02» при использовании силового преобразователя ЭТШМ-0,5 и реализации регулятора положения с помощью соответствующего регулятора привода ПТ-У5.02 и на аналоговом компьютере АВК-6.

3.2. Исследовать регулировочные характеристики привода:

$$\omega = f(U_{zc}); \quad \varepsilon = f(U_{zc}).$$

3.3. Исследовать переходные процессы привода при разгоне и торможении:

$$\omega=f(t), I_{я}=f(t), \varepsilon = f(t).$$

4. Содержание отчета

Отчет должен содержать:

4.1. Структурную и функциональную схемы привода с обратными связями по скорости и положению.

4.2. Технические характеристики привода.

4.3. Принципиальную схему устройства токоограничения и регулятора скорости.

4.4. Регулировочную характеристику привода $\omega=f(U)$ и характеристику $\varepsilon = f(U_{зс})$.

4.5. Переходные функции привода при разгоне и торможении:

$$\omega=f(t), \alpha = f(t), I_{я}=f(t), \varepsilon = f(t).$$

4.6. Анализ полученных результатов и выводы.

5. Контрольные вопросы

5.1. Какие режимы работы двигателя возможны в электроприводах с широтно-импульсными преобразователями и управляемыми выпрямителями?

5.2. Какой фактор определяет коэффициент усиления ШИП? Какой параметр определяет зону линейности регулировочной характеристики ШИП по напряжению управления?

5.3. Как рассчитать параметры C_E и C_M двигателя через его конструктивные данные, поток возбуждения, паспортные данные?

5.4. Объясните причину ухудшения жесткости механических характеристик привода в режиме прерывистых токов.

5.5. Как влияет на регулировочные характеристики тахогенераторов сопротивление его нагрузки?

5.6. Сопоставьте по быстродействию и линейности регулировочные характеристики ШИП и тиристорного управляемого выпрямителя.

5.7. Каковы состав и назначение привода ЭТШМ-0,5?

5.8. Какой принцип работы привода в режимах регулирования скорости и положения, его функциональная схема?

5.9. Опишите схему и принцип работы устройства токоограничения.

5.10. Как работает усилитель постоянного тока в приводе? Принципиальная электрическая схема: генератор Ройера, модулятор, демодулятор.

5.11. Объясните принцип работы генератора тактовых импульсов. Регулирование длительности периода следования тактовых импульсов и длительности прямоугольного выбора на пилообразном напряжении.

5.12. Каковы принцип работы и электрическая схема импульсных усилителей?

5.13. Какое назначение и электрическая схема триггер Шмидта?

5.14. Объясните назначение и электрическую схему реле знака.

5.15. Каковы принцип работы и электрическая схема тиристорного усилителя мощности?

5.16. Как работает устройство выключения тиристоров? Электрическая схема устройства.

5.17. Какие защиты используются в приводе?

Лабораторная работа №4

ИССЛЕДОВАНИЕ АДАПТИВНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА НА ОСНОВЕ ТРАНЗИСТОРНОГО ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Цель работы. Изучение устройства, принципа работы и экспериментальные исследования регулируемого электропривода на основе транзисторного широтно-импульсного преобразователя (ШИП) «ПТ- 0.5».

1. Общие сведения о лабораторной установке

Функциональная схема электропривода приведена на рис. 16. Сигнал задания $U_{зс}$ подается на вход регулятора скорости 1, на второй вход которого поступает сигнал тахогенератора $U_{тг}$. Усиленная разность сигналов приходит на блок зависимого токоограничения 2, выходной сигнал которого ограничен по току пропорционально сигналу тахогенератора $U_{тг}$.

С блока 2 сигнал подается на вход регулятора тока 3, на второй вход которого приходит сигнал, пропорциональный току якорной цепи двигателя. Разность этих сигналов идет на широтно-импульсный модулятор 4 и через блок оптронных развязок 5 поступает на ключи силового моста 6.

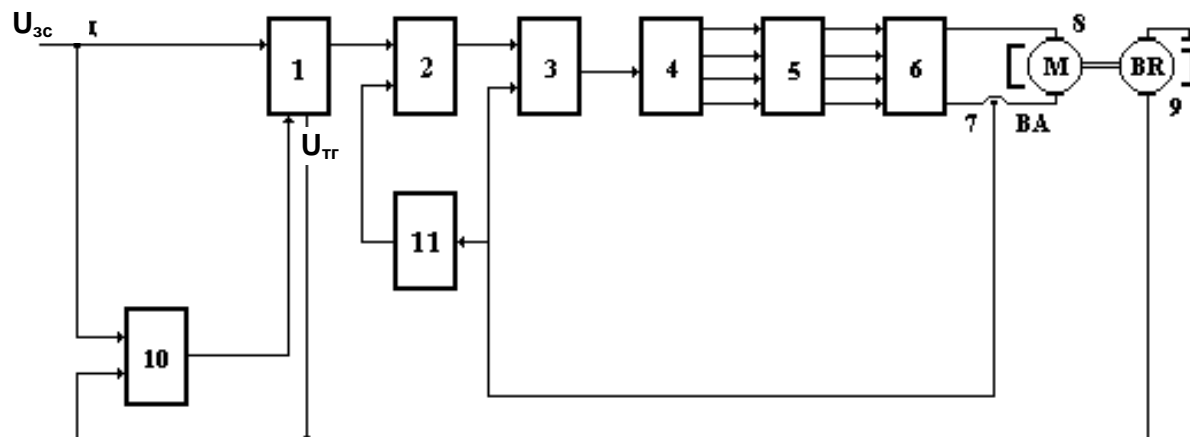


Рис. 16. Функциональная схема привода

В приводе применен датчик тока 7 с гальванической развязкой, работающей по принципу модуляции-демодуляции. Датчик выполнен на шунтовом сопротивлении 20 А, 75 мВ.

Блок оптронных развязок 5 питается от источника, представляющего собой генератор с высокочастотным трансформатором и выпрямителями. Микросхемы питаются от стабилизаторов напряжения ± 15 В.

Блок адаптации 10 включен в контур регулирования частоты вращения двигателя для улучшения динамической жесткости преобразователя.

В момент резкого торможения двигателя энергия его вращающихся частей передается в цепь постоянного тока, что приводит к резкому возрастанию напряжения на конденсаторах фильтра узла питания и длительному перенапряжению на ключах силового моста. Устройство слива энергии при торможении двигателя состоит из порогового устройства и сливных резисторов.

2. Техническое описание широтно-импульсного транзисторного преобразователя ПТ-0.5

2.1. Назначение

Преобразователь транзисторный ПТ-0.5 предназначен для управления двигателем постоянного тока с независимым возбуждением от постоянных магнитов. Он обеспечивает запуск двигателя на любую частоту вращения, изменение направления вращения двигателя, поддержание заданной частоты вращения двигателя с допустимым отклонением.

Преобразователь применяется в следящих приводах подач станков с ЧПУ в качестве контура регулирования частоты вращения.

Выпускается при исполнении преобразователей, различающихся по входному напряжению силовой цепи (табл. 3) для работы с различными типами двигателей. Применение других типов двигателей допускается при условии их эксплуатации в таких режимах, при которых параметры преобразователя не выходят за пределы номинальных.

Таблица 3

Варианты исполнения преобразователей

Обозначение преобразователя	Входное напряжение силовой цепи, В	Тип электродвигателя
ПТ-0,5-00 ТУ1.506.0108-81	80	УПС-6 ТУ1-519-0014-80
ПТ- 0,5-01 ТУ1.506.01-8-81	60	УПС-4 8ЕЧ.222.001 ТУ
ПТ- 0,5-02 Т11.506.0108-81	145	ДТ550-ПГ ТУ1.94.0069-76

2.2. Технические данные

Технические данные на преобразователи трех исполнений приведены в табл. 4.

Таблица 4

Технические данные преобразователей

Наименование параметра	Норма для исполнения		
	ПТ-0,5-00	ПТ-0,5-01	ПТ-0,5-02
Мощность выходная, номинальная, кВт	0,8	1,4	0,9
Мощность, потребляемая от внешнего источника питания, кВт, не более	1,0	1,0	1,0
Управляющий сигнал, ± В	0 - 10	0 - 10	0 - 10
Ток отсечки, А, не менее	30±5	40±5	15±3
Напряжение питания по цепи управления, В	24	24	24
Напряжение питания по силовой цепи, В	80	60	145
Максимальное выходное напряжение, В, не менее	75	55	140
Входное сопротивление, кОм, не менее	1,0	1,0	1,0
Время переходного процесса, мс, не менее			
- при пуске двигателя	150	150	150
- при "реверсе" двигателя	200	200	200
- при "останове" двигателя	100	100	100
Диапазон регулирования скорости двигателя (n_{max} / n_{min}), не менее	5000	5000	5000

2.3. Устройство и работа составных частей преобразователя

Схема электрическая принципиальная преобразователя приведена на плакате лабораторного стенда.

Формирование управляющих сигналов. Входной сигнал задания поступает через резисторы $R71$, $R72$ и конденсатор $C12$ на вход усилителя рассогласования (микросхема $D9$). Сюда же приходит сигнал тахогенератора $U_{тг}$ через формирующую цепь ($C75-C77$, $R107$, $R133-R135$). Разность сигналов суммируется с сигналом датчика тока усилителя контура тока $D12$. Выходной сигнал через резисторы $R126$, $R127$ поступает на ШИМ-модулятор ($D13$, $D15$, $D16$, $D31$). Модулированные по ширине входным сигналом, импульсы напряжения через согласующие транзисторы $VT121...VT123$ поступают на постоянное запоминающее устройство $D32$, затем через эле-

менты оптронной развязки $D25...D28$ - на управление ключами силового моста в функциональных блоках $N1...N4$.

Устройство блока зависимого тока ограничения. Последовательно с якорем двигателя включен шунт $RS1$, являющийся датчиком тока. Напряжение с шунта поступает на узел гальванической развязки $D19...D22$, $TV3$, $TV4$, работающий по принципу модуляции-демодуляции. Информация о якорном токе через фильтр $R165C96$ поступает на вход усилителя контура тока $D10$. Усиленный сигнал с датчика тока поступает через устройство суммирования на изодромный усилитель тока. Величины токовой отсечки для различных типов преобразователей приведены в табл. 5 и определяются резистором $R113$. Характеристика блока зависимого токоограничения приведена на рис. 17.

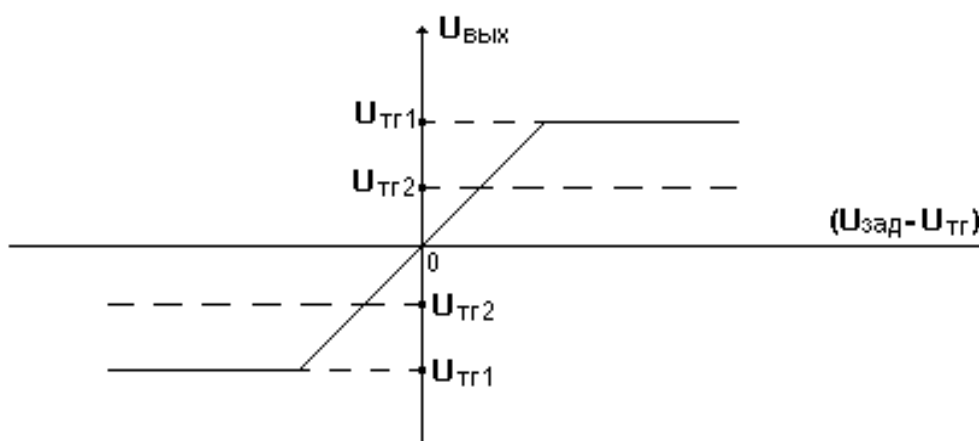


Рис. 17. Характеристика блока зависимого токоограничения

Таблица 5

Величина токовой отсечки для различных исполнений преобразователя

Обозначение	Ток отсечки, А, при частоте вращения, об/мин				
	0	500	1000	2000	6000
05171.000.00.00.000	33 ± 5	30 ± 5	27 ± 5	20 ± 5	-
-01	33 ± 5	30 ± 5	27 ± 5	-	-
-02	16 ± 3	-	-	-	11 ± 1

Устройство блока адаптации. Параметрический блок адаптации с эталонной моделью выполнен на основе усилителя с модуляцией-демодуляцией и регулируемым коэффициентом усиления. Генератор несущих колебаний (прямоугольных импульсов) состоит из микросхемы $D18$ (частота 20 ± 2 кГц) и высокочастотного триггера на транзисторах $VT18$, $VT19$. На вход блока адаптации (модулятор $VT12$, $VT13$) подаются входные

сигналы $U_{зс}$ и $U_{тг}$. На микросхеме $D6$ промодулированный сигнал усиливается и на транзисторах $VT15$, $VT20$ сигнал демодулируется. Элементы $D7$, $D8$, $VT14$ регулируют коэффициент передачи блока адаптации. Сигнал с блока адаптации поступает на усилитель рассогласования контура скорости $D9$. Сопротивления $R109$, $R118$ определяют апериодический переходный процесс в контуре скорости и контуре тока.

Устройство защиты преобразователя от перегрузок по току. Токвые перегрузки возникают при заклинивании механизма, наезде на упор или в том случае, когда двигатель не должен находиться длительное время под нагрузкой выше номинальной (на токовой отсечке). Устройство состоит из элемента выделения абсолютной величины сигнала ($D23$), компаратора напряжения $D24$ с временной задержкой $C73$, $R142$, ключей $VT16$, $VT17$, которые управляют делителем $R113$, $R117$ для изменения величины сигнала вдвое. Когда ток превысит допустимые нормы, загорается светодиод $VD63$ и через 3-4 секунды через двигатель потечет ток $1/3$ номинала.

Устройство силовой части преобразователя. Силовая часть преобразователя представляет собой мостовой усилитель мощности, нагрузкой которого является двигатель постоянного тока (М). В упрощенном виде силовой мост представлен на рис. 18 (полная схема приведена на плакате лаб. стенда). В зависимости от направления вращения двигателя в насыщенном состоянии находится либо ключ $VT1$, либо $VT4$. Когда насыщен ключ $VT1$, ключи $VT2$, $VT4$ закрыты, а ключ $VT3$ в этот момент переключается. В момент насыщения $VT4$ ключи $VT1$, $VT3$ закрыты, а ключ $VT2$ переключается.

Во время паузы, когда переключающий транзистор ($VT2$ или $VT3$) закрыт, ЭДС двигателя замыкается либо через цепь $VD5 - VD7$, либо через $VD6 - VD8$ в зависимости от направления вращения двигателя. Цепи $C1-R1-VD1$, $C2-R2-VD2$, $C3-R3-VD3$, $C4-R4-VD4$ являются формирователями траекторий переключения соответствующих силовых транзисторов. Благодаря им напряжение на силовых транзисторах возрастает не мгновенно, а постепенно за счет заряда конденсатора C через диод MB , поэтому перенапряжения на транзисторах исключаются.

Трансформатор TV служит для ограничения сквозных токов, протекающих через вертикали моста в момент переключения транзисторов. В схеме 05171.000.00.00.000 ЭЗ плечами силового моста являются функциональные блоки $N1-N4$. Ключи силового моста ($VT45 - VT48$) управляются сигналом, который приходит с оптронов $D25 - D28$ и предварительных усилителей $VT41-VT43$, $VT44$.

Защита от сквозных токов состоит из оптронной развязки D14-1, VT40-1, VT42-1. Смысл защиты сводится к следующему: когда открыт верхний транзистор, то эта информация запрещает открывание нижнего с ним транзистора.

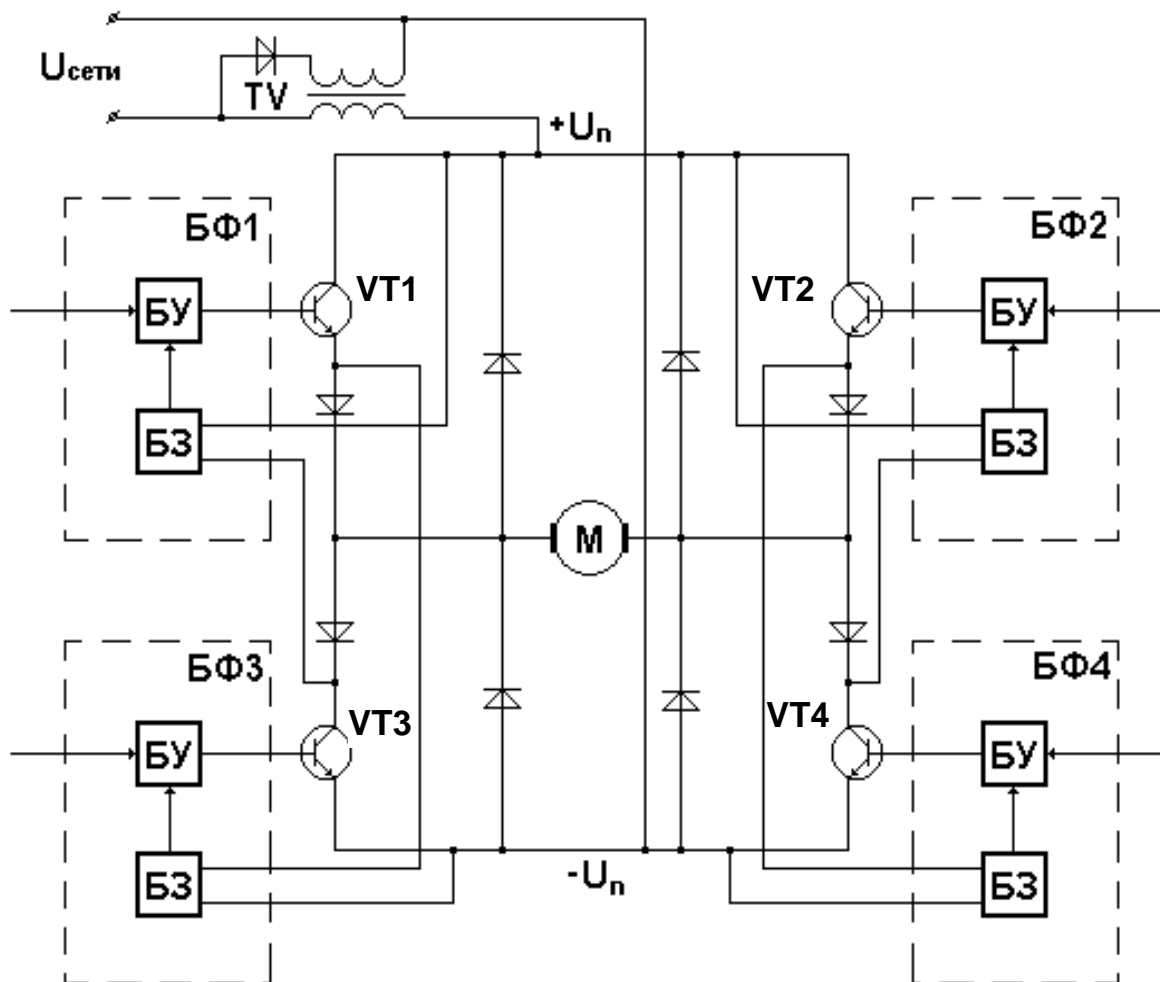


Рис. 18. Силовая часть преобразователя

Источник питания внутри преобразователя преобразует напряжение $\pm 24\text{В}$ от внешнего блока питания в гальванически развязанные напряжения $\pm 15\text{В}$, $\pm 5\text{В}$ для питания электронных элементов схемы. Для получения этих напряжений применен преобразователь постоянного напряжения 24В в переменное частотой 5 кГц (выполнен на элементах D1, VT1- VT2, D33...D35, VD34, VD35) (см. плакат). Переменное напряжение поступает на трансформатор TV2, имеющий 12 выходных обмоток. На диодах VD5...VD28 выполнено шесть выпрямителей со средней точкой, с которых в схему поступает напряжение питания $\pm 5\text{В}$. На элементах VT5-VT10, D2, D3 стабилизируется напряжение $\pm 15\text{В}$.

Устройство гашения замыкает вход усилителя рассогласования по скорости с его выходом при помощи реле $K1$. Гашение необходимо для устранения самохода двигателя за счет тепловой и временной нестабильности усилителя рассогласования во время работы преобразователя в режиме регулятора скорости при нулевом сигнале задания. Одновременно с гашением допускается использовать различные тормозные устройства для двигателя.

2.4. Конструкция и монтаж преобразователя

Конструктивно преобразователь выполнен в виде каркаса, в который заключены 4 функциональных блока: силовой блок, панель, плата питания, плата управления (рис. 19).

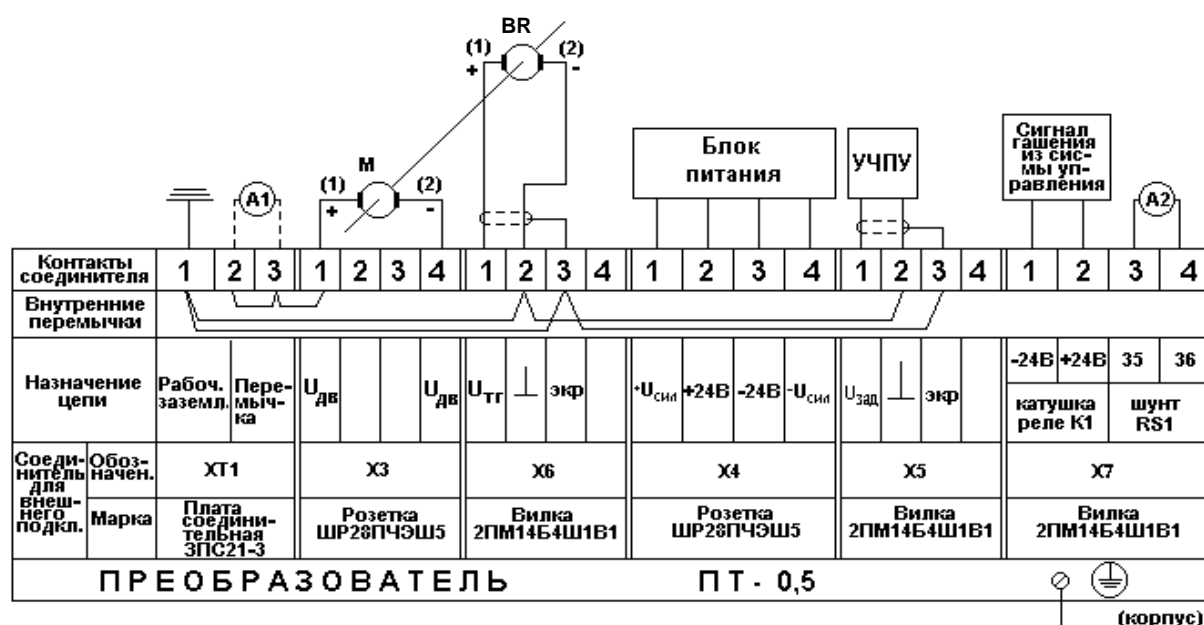


Рис. 19. Схема подключения электропривода

Силовой блок образует собой заднюю стенку преобразователя. Он состоит из 4 радиаторов, скрепленных текстолитовыми планками. На каждом из радиаторов размещено по одному плечу силового транзисторного моста. С помощью скоб силовой блок прикреплен к каркасу таким образом, что может откидываться назад, вращаясь относительно нижних крепежных винтов.

Панель находится между силовым блоком и блоком печатных плат. На ней размещены платы с устройствами защиты, входные разъемы $X3$ - $X7$, $XТ1$, шунт $RS1$.

Платы питания и управления находятся в блоке печатных плат преобразователя.

Блок печатных плат крепится к каркасу планкой. Он может откидываться вперед, вращаясь относительно нижних крепежных винтов.

На передней панели левой стойки каркаса преобразователя находится винт заземления *M4*.

3. Описание лабораторной установки

Лабораторная установка состоит из привода и панели приборов, выполненных в едином каркасе.

Привод состоит из двигателя, трансформатора, блока преобразователя и сетевого выключателя.

Панель приборов содержит индикаторы напряжения тахогенератора - *V1*, напряжения задания *V2*, тока двигателя *A1*, трехпозиционный переключатель *S1*, многопозиционный переключатель *S2* и двухпозиционные переключатели *S3* и *S4* (рис. 20).

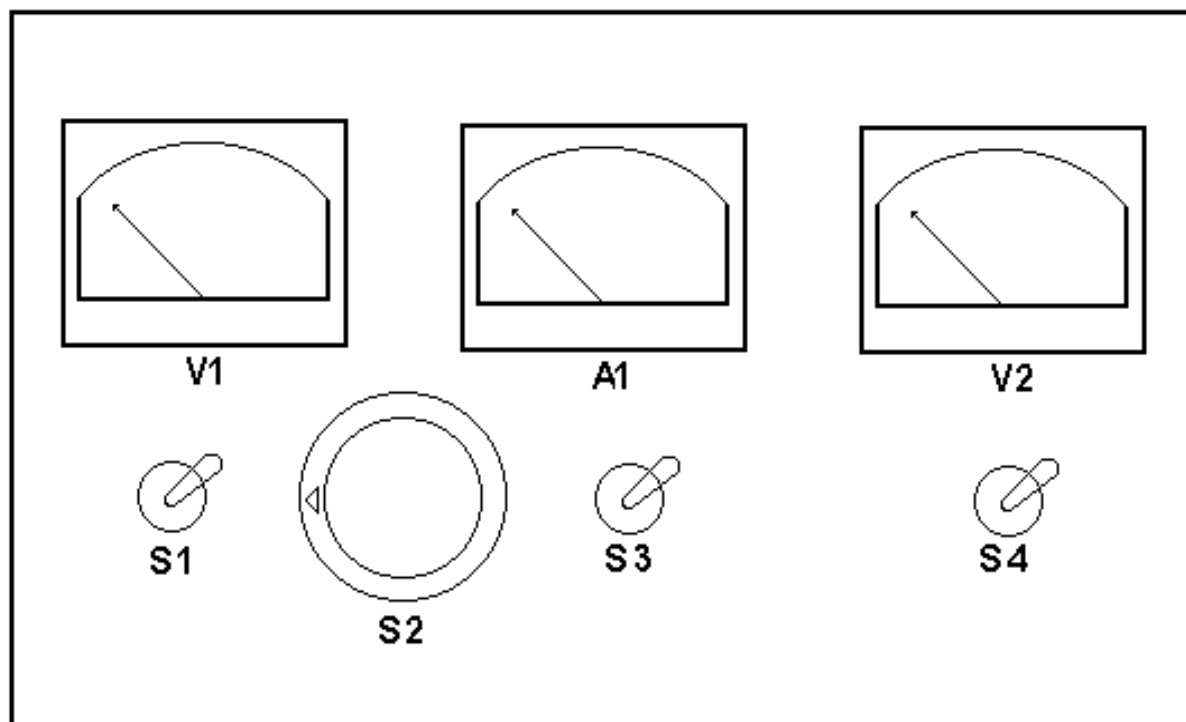


Рис. 20. Панель приборов электропривода

4. Порядок выполнения работы

4.1. Определение зоны нечувствительности электропривода. Подать на вход задания скорости привода напряжение с регулируемого источника постоянного тока. Изменяя напряжение U_{zc} от 0В до момента трогания электродвигателя, определить напряжение зоны нечувствительности привода. Переключить тумблер *S4* на реверс и повторить указанное выше.

4.2. Исследование регулировочных характеристик. Изменяя $U_{зс}$ от 0В до 10В переключением $S2$, фиксировать значения $U_{тг}$ (В) с прибора $V1$, $U_{зс}$ (В) с прибора $V2$ и ω (об/мин) с помощью тахометра. Прodelать то же при реверсе электродвигателя. Полученные значения свести в таблицу.

4.3. Исследование переходных характеристик.

Переходный процесс по скорости. С помощью генератора импульсов подать на вход привода импульсы частотой 1 Гц и амплитудой ± 5 В. Подключить осциллограф к выходу тахогенератора и зарисовать переходный процесс $U_{тг} = f(t)$.

Переходный процесс по току якоря двигателя. Подать с генератора импульсы частотой 1 Гц и амплитудой ± 5 В, подключить осциллограф к выходу датчика тока и зарисовать $I_{я} = f(t)$.

Определить коэффициент передачи тахогенератора $K_{тг}$, сравнить его с паспортными данными и с помощью характеристики $U_{тг} = F(\omega)$ построить характеристику $\omega = f(t)$.

5. Содержание отчета

5.1. Структурная и функциональная схемы регулируемого электропривода.

5.2. Функциональная схема следящего электропривода на базе преобразователя ПТ-0,5 и исполнительного механизма промышленного робота.

5.3. Краткие технические характеристики электропривода.

5.4. Регулировочные характеристики привода, зона нечувствительности привода, диапазон регулирования.

5.5. Переходные характеристики привода при разгоне и торможении. Время и характер переходного процесса.

6. Контрольные вопросы

6.1. В чем заключается принцип работы блока адаптации?

6.2. Покажите пути протекания токов в силовой части ШИП при различных режимах работы двигателя.

6.3. Как влияет величина тока на регулировочные характеристики двигателя?

6.4. В каких режимах системы ШИП-Д происходит увеличение напряжения источников питания сверх их ЭДС, за счет чего?

6.5. Какие факторы определяют коэффициент усиления ШИП? Какой параметр - зону линейности его регулировочной характеристики по напряжению управления?

6.6. Чем определяются свойства ШИП по возмущению?

6.7. Сопоставьте по быстродействию и линейности регулировочных характеристик преобразователи типа «управляемый выпрямитель» и ШИП.

6.8. Какие составляющие определяют внутреннее сопротивление ШИП?

6.9. Каковы устройство и принцип работы токовых отсечек и ограничений в приводе?

6.10. Сопоставьте технико-экономические характеристики электроприводов на основе преобразователей ЭТШМ-0,5 и ПТ-0,5.

Лабораторная работа №5

ИССЛЕДОВАНИЕ ШАГОВОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Цель работы. Изучение принципа действия шаговых двигателей (ШД), схем управления и исследование шагового электропривода (ШЭП) в различных режимах работы.

1. Описание лабораторной установки

1.1. Состав и область применения шаговых электроприводов

Шаговые электроприводы, состоящие, как правило, из электронного коммутатора (распределителя импульсов), усилителя мощности и шагового двигателя, выполняются без обратной связи по положению и управляются импульсами с какого-либо управляющего устройства (генератор, интерполятор и т.д.). Требуемый шаг ШЭП обеспечивается выбором соответствующего передаточного числа механической передачи. Шаговые электроприводы применяются в различных областях техники, но наибольшее распространение они получили в приводах астрономических приборов для отработки суточного вращения Земли, в приводах подачи станков с ЧПУ и промышленных роботов.

Типовая функциональная схема маломощного ШЭП представлена на рис. 21, где обозначено: ГИ - генератор импульсов, ФИ - формирователь импульсов, РИ - распределитель импульсов, УМ - усилитель мощности, БУ - блок управления, МП - механическая передача, Н - нагрузка.

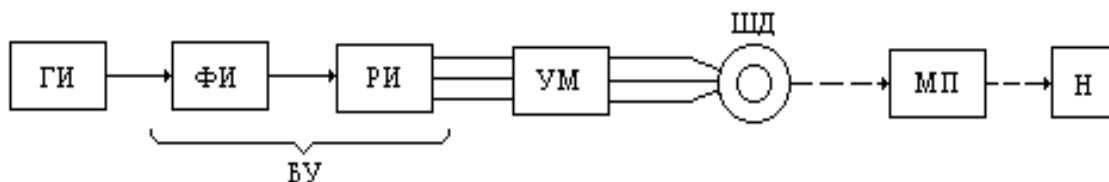


Рис. 21. Функциональная схема маломощного ШЭП

В станках с ЧПУ шаговые электроприводы работают на управляющий орган гидропривода.

Блок-схема такого привода представлена на рис. 22, где приняты в дополнение к ранее принятым следующие обозначения: ГУ - гидроусилитель, ГН - гидронасос, ГД - гидродвигатель.

Если входной сигнал является непрерывным, то вместо генератора импульсов применяется преобразователь непрерывного сигнала в частотно-модулированную последовательность импульсов напряжения.

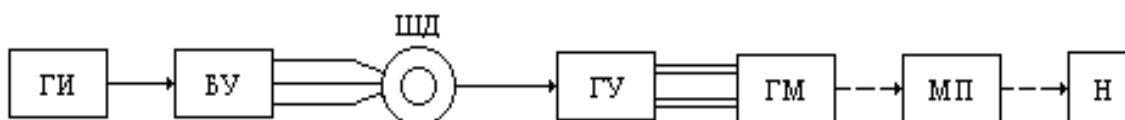


Рис. 22. Функциональная схема ШЭП, работающего на гидропривод

Формирователь импульсов преобразует входные сигналы импульсов произвольной формы в прямоугольные импульсы требуемой длительности. Параметры сформированных импульсов определяются схемой распределителя импульсов. Он преобразует унитарный код в m -фазную систему прямоугольных импульсов напряжения, которая через усилитель мощности подается на обмотки шагового двигателя. Ключевые элементы УМ работают в режиме переключения. РН - регулятор напряжения, управляемый через вычислительное устройство (ВУ) входными сигналами $U_{вх}$, формирует требуемые напряжения на фазных обмотках шагового двигателя в соответствии с определенным законом изменения напряжения на обмотках ШД. В простейшем случае шаговый привод работает с неизменным фазным напряжением, при этом распределитель импульсов и вычислительное устройство исключаются из схемы управления.

1.2. Общая схема лабораторной установки

Блок-схема лабораторной установки представлена на рис. 23.

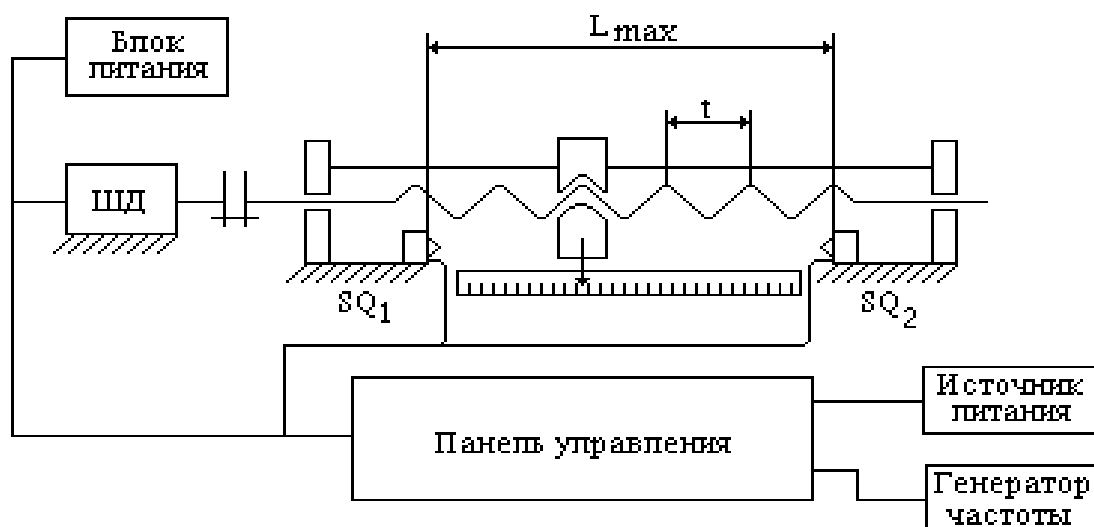


Рис. 23. Блок-схема лабораторной установки

Вал ШД типа ШДА-6 соединен через муфту с ходовым винтом. Конечные выключатели SQ_1 , SQ_2 , установленные в крайних положениях ходового винта, осуществляют реверсирование шагового двигателя.

Принципиальная электрическая схема ШЭП приведена на рис. 24, а с контрольными точками представлена на панели управления лабораторного стенда. Электрическая часть стенда состоит из блока управления и шагового двигателя.

1.2.1. Блок управления (БУ)

Состоит из источника питания, 4-фазного распределителя импульсов (коммутатора) и усилителя мощности.

1.2.2. Распределитель импульсов

Предназначен для формирования управляющих импульсов на соответствующие ключи усилителя мощности и обеспечивает поочередную коммутацию обмоток при непрерывной последовательности импульсов с генератора. Коммутатор осуществляет четырехтактную парную коммутацию.

В состав коммутатора входят логические схемы И, транзисторные ключи и ускоряющие RC-цепочки.

1.2.3. Усилитель мощности

Количество ключей усилителей мощности (УМ) соответствует числу обмоток шагового двигателя и равно 4. Принципиальная электрическая схема усилителя мощности представлена на рис. 25.

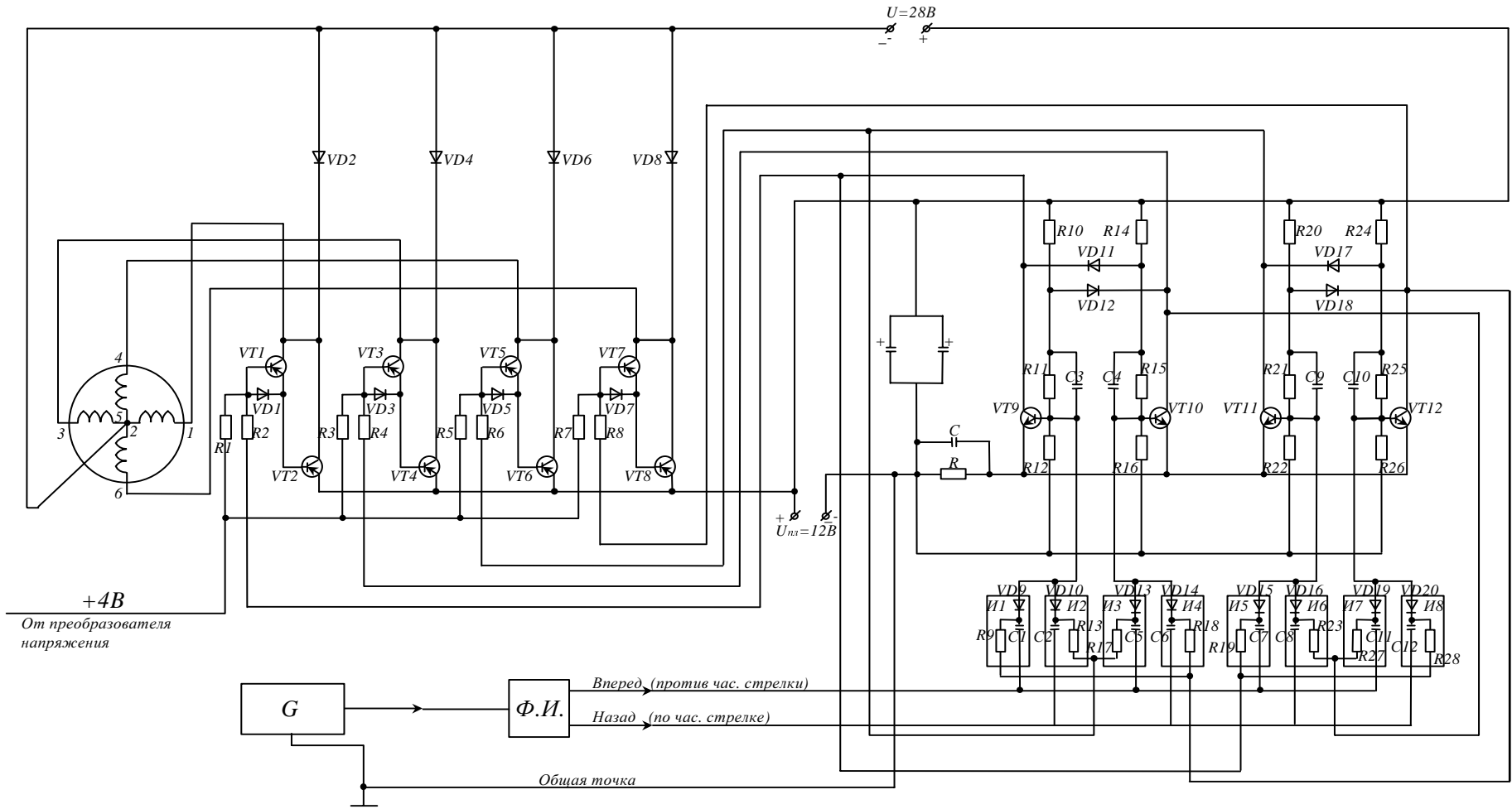


Рис. 24. Принципиальная электрическая схема шагового электропривода

Усилитель мощности работает следующим образом (на примере первого ключа). Напряжение смещения $U_{см} = +4В$ подается от преобразователя напряжения через сопротивление $R1$ и диод смещения $VD1$ на составной транзистор $VT1, VT2$. Открывающий импульс, идущий от распределителя по соответствующей фазе, подается через $R2$ на базу $VT1$, который открывает силовой транзистор $VT2$. Следовательно, за промежуток времени ΔT , равный длительности открывающего импульса, рабочая обмотка ШД (обмотка 1-2) оказывается подключенной к напряжению $U_{п} = +28В$ источника питания.

Ротор двигателя поворачивается на шаг $22^{\circ}30'$. Диод $VD2$ выполняет защитную функцию и работает в режиме отсечки ЭДС самоиндукции рабочей обмотки ШД.

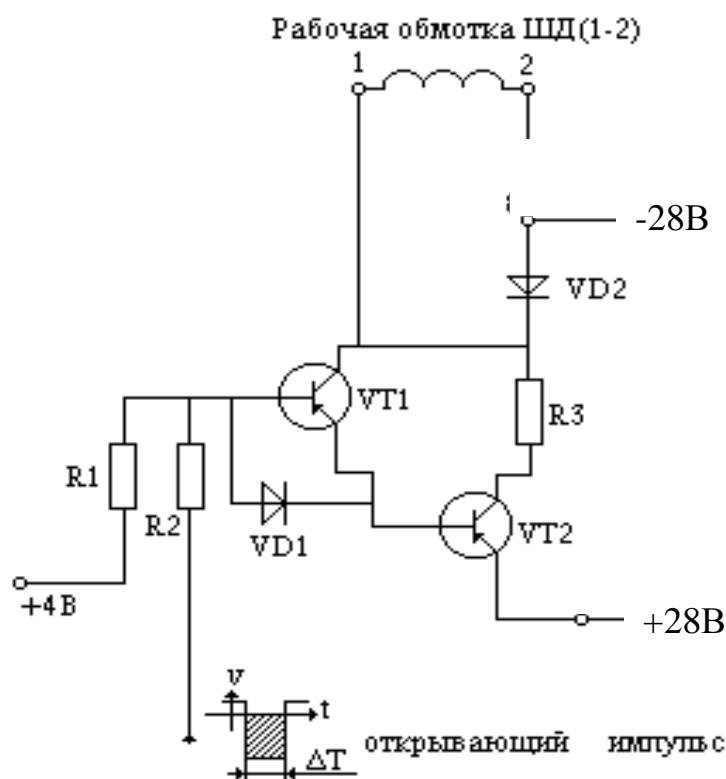


Рис. 25. Принципиальная электрическая схема первого ключа усилителя мощности

1.3. Параметры двигателя ШДА-6

1. Допускает импульсное питание по 4- и 8-тактной схемам коммутации однополярными импульсами.
2. 16 шагов за оборот ротора (шаг $h = 22^{\circ}30'$).
3. Все 7 модификаций двигателей типа ШДА – 8-полюсные.
4. Частота приемистости:

- а) холостого хода $f_{\text{п}} = 260$ Гц;
 б) в номинальном режиме $f_{\text{п}} = 50$ Гц.
- Питание рабочих обмоток: $U_{\text{п}} = 28$ В; $I = 1,65$ А;
 - Допустимая температура нагрева: $t^{\circ} = 80^{\circ}\text{C}$.
 - Максимальный статистический синхронизирующий момент:
 $M_{\text{ст}} = 4100$ гс·см = 4,1 кгс·см.
 - Масса 1 кг.
 - Номинальный момент нагрузки: $M_{\text{ном}} = 1,6$ кгс·см.

Схема расположения обмоток ШД представлена на рис. 26.

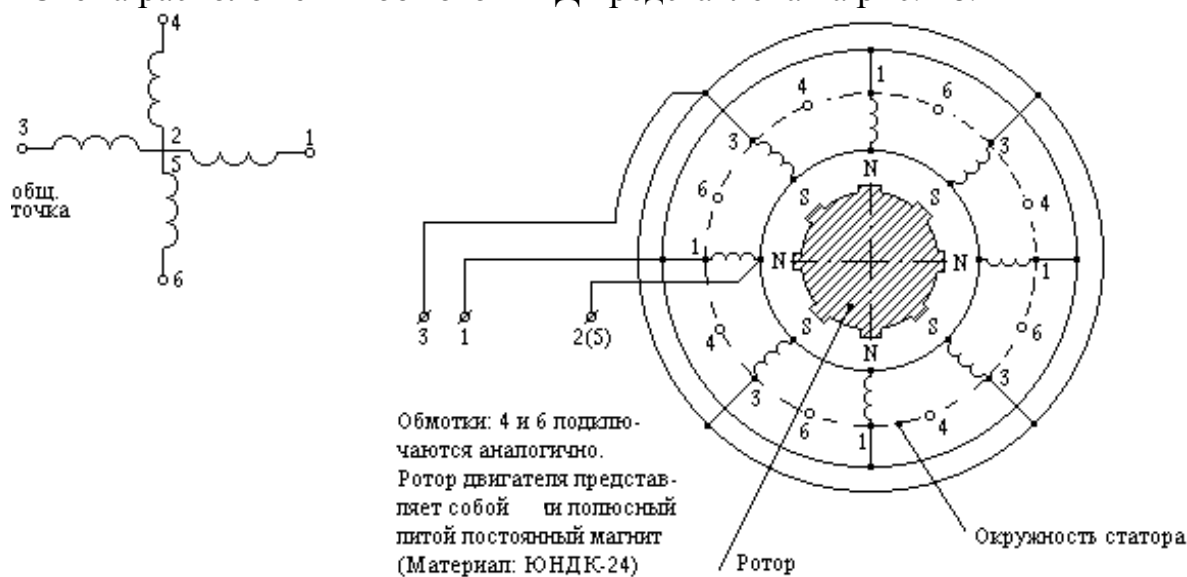


Рис. 26. Схема расположения обмоток ШД

1.4. Описание работы схемы

Режим работы «Вперед»

Импульсы с генератора импульсов подаются по шине «Вперед», к работе подготавливаются схемы И1, И3, И5, И7 (см. рис. 24). Состояние транзисторов $VT9...VT12$ представлено в табл. 6, а эпюры фазных напряжений на рис. 27.

Пусть в момент времени t_0 транзистор $VT9$ открыт. С коллектора $VT9$ перепад напряжения подается на схему И5, которая уже подготовлена к работе первым импульсом с генератора импульсов. Следовательно, на базу $VT11$ подается положительный потенциал. Транзистор $VT11$ открывается.

Таким образом, к моменту прихода второго импульса с генератора импульсов транзисторы $VT9$ и $VT11$ открыты. Поскольку $VT9-VT12$ типа $n-p-n$, то в открытом состоянии на коллекторах будет отрицательный перепад на-

пряжения. С коллектора VT9 (VT11) отрицательный импульс проходит на базу транзистора VT1 (VT5) и открывает силовой транзистор VT2 (VT6) усилителя мощности. Транзисторы VT1, VT2 (VT5, VT6) работают на обмотки шагового двигателя соответственно 1 и 4.

В момент времени t_2 на схему И3 подается импульс с генератора и импульс с открытого транзистора VT11, следовательно, открывается VT10 и в этот же момент времени закрывается VT9, так как с коллектора VT10 через диод VD12 отрицательный перепад напряжения подается на базу VT9. Емкость C3 ускоряет закрытие транзистора VT9. С коллектора открывшегося транзистора VT10 отрицательный импульс открывает транзисторы VT3, VT4 усилителя мощности и обмотка 3 подключается к источнику питания +28В. Двигатель поворачивается на один шаг.

Таблица 6

Состояние транзисторов VT9 - VT12 при работе в режиме «Вперёд»

№ п/п	Момент времени	Работающие обмотки	Одновременно открытые транзисторы	Закрытый транзистор	Закрывающий транзистор
1	t_0	-	VT9		
2	t_1	1,4	VT9, VT11	VT12	VT11
3	t_2	4,3	VT11, VT10	VT9	VT10
4	t_3	3,6	VT10, VT12	VT11	VT12
5	t_4	6,1	VT12, VT9	VT10	VT9
6	t_5	1,4	VT9, VT11	VT12	VT11
7	t_6	4,3	VT11, VT10	VT9	VT10
8	t_7

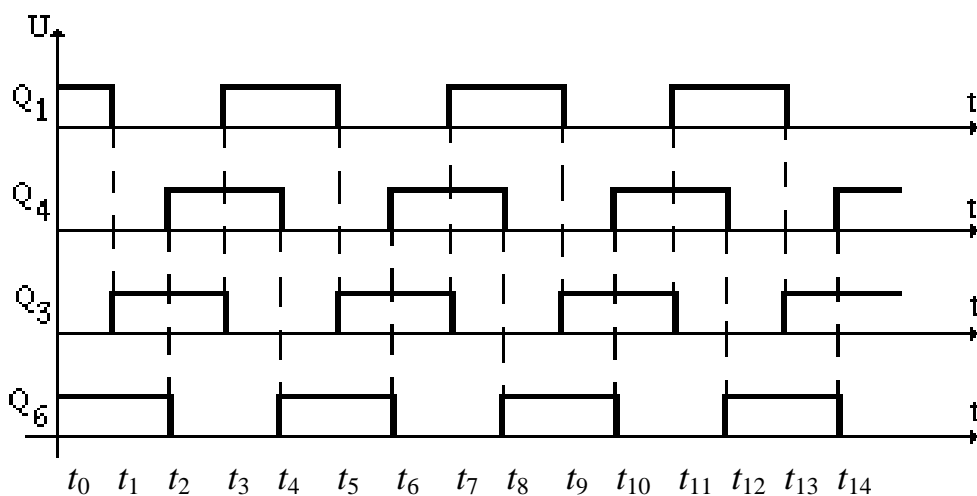


Рис. 27. Фазные напряжения в режиме «Вперед»

В момент времени t_3 на схему И7 подается импульс с генератора импульсов и с коллектора транзистора VT10, следовательно, транзистор VT12 открывается и сразу же через диод VD18 закрывает VT11. Транзисторы VT7, VT8 открываются и подключают обмотку б к источнику питания +28В.

Ротор двигателя поворачивается еще на один шаг. В дальнейшем при подаче импульсов с ГИ схема работает аналогично, транзисторы переключаются в соответствии с табл. 6, включение обмоток ШЭД происходит в соответствии с рис. 27.

Выделим закономерности работы схемы.

С приходом каждого импульса с генератора импульсов одновременно в открытом состоянии находятся два транзисторных ключа, а, следовательно, и две рабочие обмотки шагового двигателя.

Каждый открывающийся транзистор в этот же момент времени закрывает один из открытых транзисторов через соответствующий диод.

В момент изменения состояния схемы при подаче очередного импульса управления одна обмотка отключается от источника питания, другая подключается, третья была и остается подключенной, четвертая была и остается отключенной.

Режим работы «Назад»

При движении назад схема работает аналогично. Импульсы подаются по шине «Назад», работают схемы И2, И4, И6, И8. Изменение состояния транзисторов происходит в соответствии с табл. 7, а напряжение в обмотках ШД в соответствии с рис. 28.

Таблица 7

Состояние транзисторов VT9 - VT12 при работе в режиме «Назад»

№ п/п	Момент времени	Работающие обмотки	Одновременно открытые транзисторы	Закрытый транзистор	Закрывающий транзистор
1	t_0	-	VT9		
2	t_1	1,6	VT9, VT12	VT11	VT12
3	t_2	6,3	VT12, VT10	VT9	VT10
4	t_3	3,4	VT10, VT11	VT12	VT11
5	t_4	4,1	VT11, VT9	VT10	VT9
6	t_5	1,6	VT9, VT12	VT11	VT12
7	t_6	6,3	VT12, VT10	VT9	VT10
8	t_7

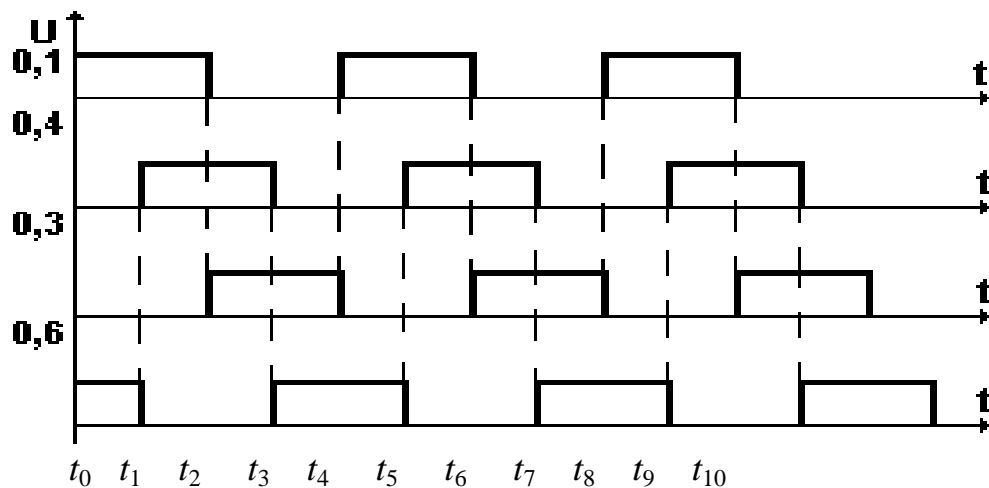


Рис. 28. Эпюры фазных напряжений в режиме «Назад»

2. Порядок выполнения работы

- 2.1. Изучить принципиальную электрическую схему стенда, подключить необходимые приборы.
- 2.2. Определить экспериментально величину одного шага шагового двигателя.
- 2.3. Определить шаг ходового винта.
- 2.4. Рассчитать частоту приемистости.
- 2.5. Определить число импульсов на максимальное перемещение и величину максимального перемещения.
- 2.6. Выявить зависимость скорости перемещений гайки от частоты следования импульсов.
- 2.7. При выполнении пп 2.2 - 2.6 контролировать эпюры напряжений в соответствующих точках блока управления.

Приборы, необходимые для выполнения работы: генератор импульсов типа ГЗ-53, электронный осциллограф типа С1-68, счетчик импульсов типа Ф 5007, секундомер.

3. Содержание отчета

- 3.1. Принципиальная электрическая схема шагового электропривода и блок-схема стенда.
- 3.2. Результаты исследований по пп. 2.2 - 2.6, необходимые таблицы, графики, эпюры напряжений.
- 3.3. Техническое предложение о применении в работе «Универсал – 5.02» шагового электропривода с указанием по возможности конкретного типа ШД и изменений в конструкции исполнительных механизмов и информационной системы работа.

4. Контрольные вопросы

4.1. Каковы принцип действия, конструкция и типы шаговых двигателей?

4.2. Назовите основные характеристики шаговых двигателей: цена шага, статические характеристики, пусковой момент, устойчивость двигателя, приемистость и т.д.

4.3. Какие виды коммутаций обмоток управления шаговых двигателей вы знаете?

4.4. Каковы принципы построения и схемы кольцевых распределителей импульсов?

4.5. В чем заключается принцип работы ШЭП лабораторного стенда?

Требования к оформлению отчетов по лабораторным работам

Отчет оформляется на листах формата А4 или в отдельной тетради, графики на миллиметровой бумаге в рукописном или печатном виде (компьютерный набор выполняется шрифтом Times, 14 кегль, одинарный интервал).

Титульный лист содержит наименование дисциплины, номер и название лабораторной работы, фамилию автора и номер группы, дату выполнения работы.

Отчет должен содержать сведения о выполнении всех заданий на проведение экспериментальных и теоретических исследований с краткими выводами по каждому из них.

Отчет оформляется после выполнения лабораторной работы и предоставляется преподавателю в начале следующего лабораторного занятия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основной особенностью лабораторного практикума является углублённое изучение электрических схем и исследование промышленных образцов тиристорных и транзисторных аналоговых и дискретных электроприводов, проведение сравнительного анализа технико-экономических характеристик этих приводов с характеристиками современных промышленных электроприводов, рассмотрение технических предложений применения рассмотренных или других типов приводов в мехатронных исполнительных устройствах на примере манипулятора универсального робота «Универсал – 5.02».

Предполагается, что студенты обязаны предложить и другие варианты построения электромеханических мехатронных модулей, в том числе на основе синергетической интеграции элементов.

На этапе одновременно выполняемого курсового проектирования отдельные студенты проводят дополнительные исследования влияния на динамику рассматриваемых приводов нелинейностей исполнительных механизмов, действия внешних связей, различных вариантов регуляторов и обратных связей посредством цифрового моделирования электроприводов.

Библиографический список

1. Чиликин М.Г., Сандлер А.С. Общий курс электропривода. – М.: Энергия, 1981. – 386 с.
2. Башарин А.В., Новиков В.А., Соколовский Г.Г. Управление электроприводами. – Л.: Энергоиздат, 1982. – 411 с.
3. Ключев В.И. Теория электропривода. Учебник для ВУЗов. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 560 с.
4. Робототехника и ГАП: В 9 кн. Кн.2. Приводы робототехнических систем: Учеб. пособие для вузов /Под ред. И.М. Макарова – М.: Высш. шк., 1986. – 160 с.
5. Михайлов О.П. Автоматизированный электропривод станков и промышленных роботов. – М.: Машиностроение, 1990. – 304 с.
6. Ильинский Н.Ф., Козаченко В.Ф. Общий курс электропривода. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 272 с.
7. Автоматизированное проектирование следящих приводов и их элементов /Под ред. В.И. Круповича, Ю.Г. Барабина, М.Л. Сомовера – М.: Энергоатомиздат, 1982. – 332 с.
8. Шенфельд Р., Хабигер Э. Автоматизированные электроприводы /Под ред. Ю.А. Борцова – Л.: Энергоатомиздат, 1985. – 239 с.
9. Быстродействующие электроприводы постоянного тока с широтно-импульсным преобразователем / М.Е. Гольц, А.В. Гудзенко, В.М. Осетров и др. – М.: Энергоатомиздат, 1986– 216 с.
10. Файнштейн В.Г., Файнштейн Э.Г. Микропроцессорные системы управления тиристорными электроприводами. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 240 с.
11. Лебедев А.М., Орлова Р.Т., Пальцев А.В. Следящие электроприводы станков с ЧПУ. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 222 с.
12. Электроприводы промышленных роботов с адаптивным управлением / Под ред. В.Н. Афанасьева. – Томск: Томский ун-т, 1987. – 192 с.
13. Промышленные роботы в машиностроении. Альбом схем и чертежей / Под ред. Ю.М. Соломенцева. – М.: Машиностроение, 1987. – 140 с.
14. Чернов Е.А. Проектирование станочной электроавтоматики. – М.: Машиностроение, 1989. – 192 с.

15. Егоров И.Н. Электроприводы манипуляционных роботов с силовомомментным очувствлением: Учеб. пособие /. Владим. политехн. ин-т. – Владимир,1990.
16. Сафонов Ю.М. Электроприводы промышленных роботов. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 176 с.
17. Микропроцессорное управление электроприводами станков с ЧПУ / Э.Л. Тихомиров, В.В. Васильев, Б.Г. Коровин и др. – М.: Машиностроение, 1990. – 320 с.
18. Кузнецов Б.И., Сергеев В.Е., Чернышев В.М. Микропроцессорное управление системами высокой точности. – Киев: Техника, 1990. – 208 с.
19. Борцов Ю.А., Соколовский Г.Г. Автоматизированный электропривод с упругими связями. – С.Пб.: Энергоатомиздат, 1992. – 288 с.
20. Проектирование многоканальных систем оптимального управления / Б.И. Кузнецов, Б.В. Новосёлов, И.Н. Богаенко и др.. – Киев: Техника,1993. – 240 с.
21. Проектирование систем со сложными кинематическими связями / И.Н. Богаенко, А.Д. Белянский, Б.В. Новосёлов и др. – Киев: Техника, 1996. – 232 с.

Учебное издание

ЕГОРОВ Игорь Николаевич
НАЗАРОВ Алексей Александрович
НЕМОНТОВ Владимир Александрович

АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ

Лабораторный практикум
по электроприводам
робототехнических и мехатронных устройств
автоматизированных комплексов

Часть I

Редактор А.П. Володина
Корректор О.В. Чезганова

ЛР № 020275 от 13.11.96 г. Подписано в печать 19.06.2000.
Формат 60×84/16. Бумага для множит. техники. Гарнитура Таймс.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 3,40. Уч.-изд. л. 3,57. Тираж 75 экз.

Заказ .

Владимирский государственный университет.
Подразделение оперативной полиграфии
Владимирского государственного университета.
Адрес университета и подразделения оперативной полиграфии:
600026, Владимир, ул. Горького, 87.