ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Электропривод и автоматизация
промышленных установок»

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета
http://e.biblio.bru.by/

МЕХАТРОННЫЕ УСТРОЙСТВА РОБОТОВ

Методические рекомендации к лабораторным работам для студентов направления подготовки 15.03.06 «Мехатроника и робототехника» дневной формы обучения

Могилев 2018

УДК 62-83
ББК 31.291
М 17

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Электропривод и АПУ» «10» октября 2017 г., протокол № 7

Составитель канд. техн. наук, доц. А. С. Коваль

Рецензент канд. техн. наук, доц. Б. Б. Скарыно

В методических рекомендациях изложены программа и порядок выполнения лабораторных работ по дисциплине «Мехатронные устройства роботов».

Учебно-методическое издание

МЕХАТРОННЫЕ УСТРОЙСТВА РОБОТОВ

Ответственный за выпуск Г. С. Леневский
Технический редактор А. А. Подошевко
Компьютерная верстка Н. П. Полевничая

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 46 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«Белорусско-Российский университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/156 от 24.01.2014.
Пр. Мира, 43, 212000, Могилев.

© ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет», 2018

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета
http://e.biblio.bru.by/

Содержание

1 Лабораторная работа № 1. Исследование датчиков перемещения и скорости мехатронных модулей движения……..... 4
2 Лабораторная работа № 2. Изучение исполнительных двигателей мехатронных модулей движения……. 9
3 Лабораторная работа № 3. Моделирование регулируемого электропривода постоянного тока мехатронного модуля перемещения……. 14
4 Лабораторная работа № 4. Моделирование регулируемого электропривода переменного тока мехатронного модуля перемещения…… 20
5 Лабораторная работа № 5. Изучение мехатронного модуля воспроизведения движения……..... 22
6 Лабораторная работа № 6. Моделирование электропривода воспроизведения движения мехатронного устройства подъема груза…… 31
Список литературы……..... 35

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета
http://e.biblio.bru.by/

1 Лабораторная работа № 1. Исследование датчиков перемещения и скорости мехатронных модулей движения

Цель работы: изучение принципа действия и условий формирования выходных сигналов с помощью унитарно-кодового датчика.

1.1 Общие сведения

Измерение параметров скорости и положения рабочего органа наибольшее применение находит в системах управления различных типов электроприводов. За счет контроля данных показателей существенно повышаются плавность хода и точностные характеристики приводов. При построении систем управления позиционно-контурного типа с применением сервопривода использование в последнем обратной связи по угловому положению является необходимым условием обеспечения требуемого уровня точности позиционирования. Существуют различные измерительные преобразователи угловых перемещений в информационный сигнал: потенциометрические преобразователи углового перемещения, вращающиеся трансформаторы, инкрементальные энкодеры и тахогенераторы.

Потенциометрические датчики предназначены для измерения и преобразования линейных и угловых перемещений в электрический сигнал, а также для воспроизведения простейших функциональных зависимостей в автоматических и вычислительных устройствах непрерывного типа. В современных средствах автоматизации, промышленной робототехнике, средствах числового программного управления и других промышленных системах управления и контроля более широко используются оптические угловые (поворотные) энкодеры (шифраторы), механически связанные с валом исполнительного двигателя или рабочего органа.

Существуют два основных типа оптических угловых кодирующих устройств:

1) относительные (инкрементальные) энкодеры, в которых происходит последовательный счет меток перемещения;

2) абсолютные энкодеры, когда для каждого положения вала существует индивидуальный бинарный код.

Принцип работы оптического кодирующего устройства в инкрементальных энкодерах основан на пересечении светового луча оптопары (светодиоды и фототранзисторы) с размеченным диском, установленным на валу. В зависимости от частоты (число импульсов за оборот) разметки диска определяются разрешающая способность датчика и, как следствие, точность измерения перемещения.

В абсолютных энкодерах углового положения применяется способ электромеханического аналого-цифрового преобразования, предполагающий непосредственное преобразование угла поворота вала в соответствующий цифровой выходной сигнал, который может быть использован для обработки и интерпретации информации любым измерительным комплексом. Абсолютные

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета
http://e.biblio.bru.by/

шифраторы применяются в тех случаях, когда устройство бездействует в течение продолжительных интервалов времени или перемещается с небольшой скоростью. Примерами таких устройств могут быть задвижки управления, телескопы, грузовые краны и т. д. В традиционном абсолютном шифраторе маска на диске формирует индивидуальный бинарный код и состоит из ряда концентрических дискретных дорожек с числом периодов на один оборот, удвоенным на каждой следующей дорожке увеличенного радиуса. Каждая дорожка имеет собственные фотодетекторы. Дорожки расположены так, что показания всех детекторов генерируют параллельный двоичный код, обычно код Грея, преимущество которого заключается в изменении только одного разряда при переходе в последовательном счёте от одного числа к другому. Например, шифратор с 12 дорожками будет генерировать 4096 слов за один оборот вала. Оптомеханика и электроника считывания кода такого шифратора являются значительно более сложными и дорогостоящими, чем шифратора приращений. Тем не менее он имеет существенное преимущество: предоставление информации тотчас же после запуска, без процедуры возврата в исходное положение. Алгоритм построения кода Грея может быть формально представлен как результат сложения по модулю 2 исходной комбинации двоичного кода с такой же комбинацией, но сдвинутой на один разряд вправо.

Двумя другими характерными свойствами абсолютных шифраторов являются следующие:

– так как шифратор генерирует параллельный двоичный код, то просто и непосредственно обеспечивается сопряжение с любым микропроцессорным оборудованием или устройством индикации;

– так как шифратор «запоминает» данные о положении посредством кодированной маски диска, нет необходимости постоянно накапливать данные с его выхода; данные просто считываются всякий раз, когда нужно определить текущее положение.

Абсолютный энкодер не теряет своего значения при потере питания и не требует возвращения в начальную позицию. Сигнал абсолютного энкодера не подвержен помехам и для него не требуется точная установка вала. Кроме того, даже если кодированный сигнал не может быть прочитан энкодером, если, например, вал вращается слишком быстро, правильный угол вращения будет зарегистрирован, когда скорость вращения уменьшится.

1.2 Описание лабораторной установки

На рисунке 1.1 представлена функциональная схема электромеханической следящей системы, используемой в лабораторной работе и включающей следующие элементы: ЗП – задающий потенциометр; ПОС – потенциометрический датчик обратной связи; УПТ – усилитель постоянного тока; РАУ-107А – рулевое автоматическое устройство, включающее в себя двигатель постоянного тока и зубчатую механическую передачу типа винт–гайка; ПМ – преобразователь механический, обеспечивающий преобразование линейного перемещения штока в угловое; ЦДП – цифровой датчик положения;

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета
http://e.biblio.bru.by/

БИ – блок индикации, служащий для визуального отображения информации, поступающей с ЦДП.

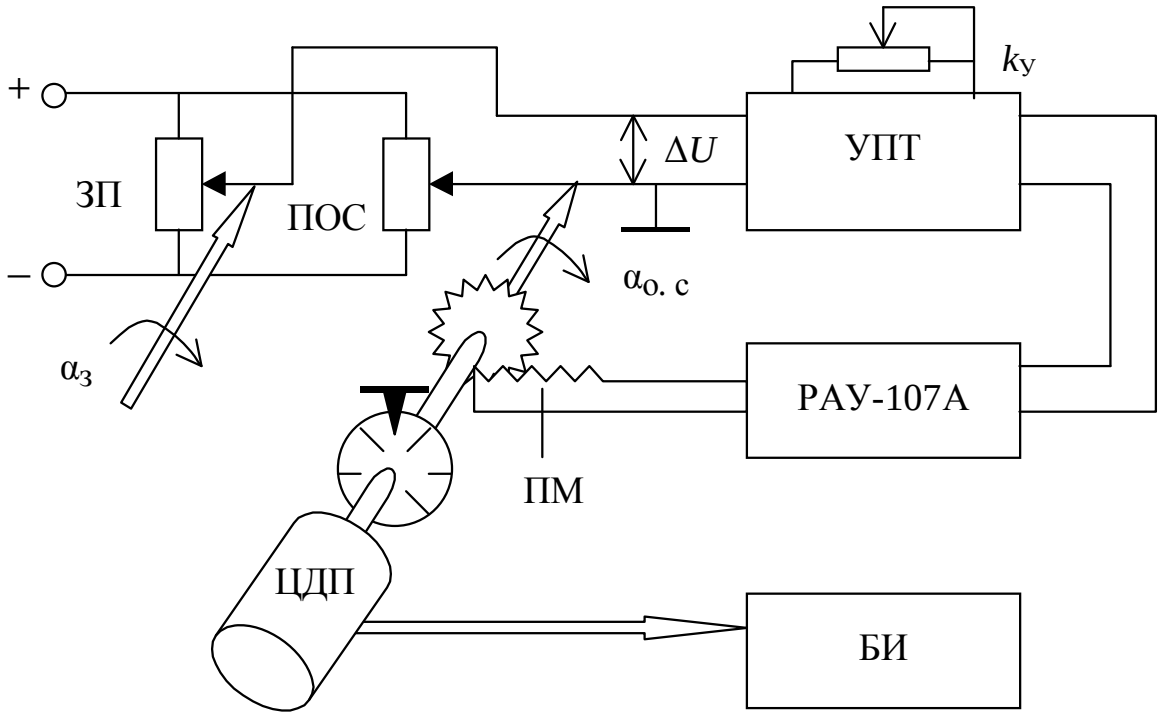


Рисунок 1.1 – Функциональная схема электромеханической следящей системы

В качестве основного элемента системы использовано силовое устройство (РАУ-107А) управления электрогидравлическим цилиндром. Внутри находится двигатель постоянного тока типа Д-25Г, а также зубчатая механическая передача типа винт–гайка, которая преобразует угол поворота двигателя в линейное перемещение штока (кинематическая схема представлена на рисунке 1.2).

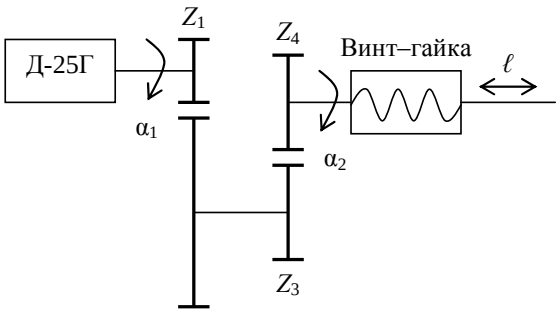


Рисунок 1.2 – Кинематическая схема

Шаг передачи винт – гайка $h_ш$ = 2 мм на оборот Z_4.

Коэффициент передачи редуктора определяется по формуле

$$k_1 = \frac{Z_1 Z_3}{Z_2 Z_4} = \frac{24 \cdot 42}{61 \cdot 43} = 0{,}384.$$

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета
http://e.biblio.bru.by/

Коэффициент передачи винт – гайка k_2, мм/рад, определяется следующим образом:

$$k_2 = \frac{h_ш}{2\pi} = \frac{2}{2\pi} = 0,318.$$

Таким образом, общий коэффициент механической передачи РАУ-107А k_n, мм/рад, находится по формуле

$$k_n = k_1 k_2 = 0,384 \cdot 0,318 = 0,12 \ .$$

Как отмечалось, в цилиндре установлен двигатель постоянного тока Д-25Г, который имеет следующие параметры: $T_{ЭМ}$ = 0,03 с; $T_Я$ = 0,002 с; $k_Д$ = 25,6 рад/(В·с). Передаточная функция двигателя, связывающая угол поворота вала двигателя с напряжением, подаваемым на двигатель, имеет вид:

$$W_Д(s) = \frac{k_Д}{s(T_{ЭМ}T_Я s^2 + T_{ЭМ}s + 1)}.$$

Согласно основным техническим данным, ход штока цилиндра от среднего положения до механического упора составляет ±14…±0,5 мм, т. е. суммарная величина перемещения равна 29,0 мм. ПМ обеспечивает преобразование данной величины в угловое перемещение выходной оси на 325° ($\alpha_{о.\,с}$). Таким образом, коэффициент передачи ПМ $k_{ПМ}$, град/мм, вычисляется по формуле

$$k_{ПМ} = \frac{\alpha_{о.\,с}}{l} = \frac{325}{29} = 11,2 \ .$$

На выходной оси системы находятся два датчика: аналоговый и дискретный. В качестве аналогового датчика используется потенциометр типа ПТП номиналом 5 кОм. Потенциометр применяется в следящей системе в качестве датчика обратной связи, коэффициент передачи $k_{пос}$ которого необходимо определить при проведении лабораторной работы. В качестве дискретного используется датчик «вал–код» типа МП-9, преобразующий угол поворота оси в 9-разрядный код Грея. Широкое распространение кода Грея для кодирования кодовых масок датчиков угловых и линейных перемещений обусловлено его высокой помехозащищенностью, поскольку он относится к так называемым однопеременным (т. е. искусственным) кодам, в которых последовательный переход от одного числа к другому отличается лишь одним разрядом кодовой комбинации. Обычный двоичный код при переходе от одного числа к другому имеет различие сразу в нескольких разрядах, что приводит к неоднозначности считывания информации с датчиков угловых и линейных перемещений. В лабораторной работе датчик МП-9 используется как средство отображения информации о величине углового перемещения выходного вала системы и является одним из элементов исследования, позволяющим ознакомиться с

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета
http://e.biblio.bru.by/

существующими цифраторами перемещений, построенными на основе помехозащищенных кодов. Кроме того, его применение облегчает процесс сопряжения лабораторной установки с ПЭВМ для реализации процесса ее исследования.

Блок индикации (БИ) предназначен для визуального отображения данных, поступающих с датчика МП-9. БИ выдает информацию о текущем угле поворота выходной оси на переднюю панель макета в виде 9-разрядного кода Грея, истинно двоичного кода и значения угла в градусах. При выполнении лабораторной работы необходимо исследовать преобразование дискретного кода из одного вида в другой.

УПТ, используемый в системе, характеризуется передаточной функцией инерционного звена первого порядка $W_У(s) = k_У/(T_У s + 1)$, где $T_У = 5\cdot10^{-5}$ с.

1.3 Порядок выполнения лабораторной работы

1 Для определения коэффициента передачи датчика обратной связи $k_{пос}$ подключить выход вольтметра к следующим клеммам установки: $+U$ и $\perp$. Включить тумблеры «СЕТЬ» установки и вольтметра. Вывести задающим потенциометром шток установки в крайнее правое положение. Записать значение шкалы, на которое указывает стрелка $\alpha_{нач}$, и показания вольтметра $U_{нач}$. Задающим потенциометром изменить угловое положение шкалы α_1 на 15°, одно деление шкалы равно 1°, записать показания вольтметра $U_{о.\,с_1}$ для данного угла. Увеличивая угловое положение, повторить эксперимент 10 раз ($\alpha_2 \ldots \alpha_{10}$, α_{10} = = 150°), записав показания вольтметра для каждого следующего положения ($U_{о.\,с_2} \ldots U_{о.\,с_{10}}$).

Рассчитать для каждого углового положения: $k_{пос_i} = \dfrac{|U_{нач} - U_{о.\,сi}|}{|\alpha_{нач} - \alpha_i|}$.

Затем получить среднее значение $k_{пос} = \dfrac{\sum_{i=1}^{10} k_{пос_i}}{10}$.

2 Проверить правильность преобразования кода Грея в двоичный код следующим образом. Для определения i-го разряда комбинации двоичного кода необходимо сложить по модулю 2 все элементы преобразуемой комбинации кода Грея от старшего до i-го включительно по формуле

$$a_i = \oplus \sum_{j=n}^{i} a_j ,$$

где a_i – элемент двоичного кода;

a_j – элемент кода Грея.

Проверить правильность преобразования для пяти различных угловых положений установки.

3 Проверить правильность преобразования двоичного кода в значение угла в градусах для тех же угловых положений, что и в п. 1. Определить значение

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета
http://e.biblio.bru.by/

десятичного числа по формуле

$$n = \sum_{i=0}^{k-1} a_i (2^i) x_{мл} ,$$

где n – десятичное число;

k – количество разрядов двоичного числа;

a_i – значение i-го разряда двоичного числа, $a_i = 0$ или $a_i = 1$;

$x_{мл}$ – чувствительность младшего разряда двоичного числа, $x_{мл} = 0{,}7$ град/разр.

Контрольные вопросы

1 Основные типы оптических кодирующих устройств.
2 Принцип работы абсолютного датчика углового перемещения.
3 Принцип работы инкрементального датчика углового перемещения.
4 Как образуется код Грея?

2 Лабораторная работа № 2. Изучение исполнительных двигателей мехатронных модулей движения

Цель работы: изучение конструктивных особенностей и основных регулировочных характеристик трехфазных асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором при питании от преобразователя частоты.

2.1 Общие сведения

На рисунке 2.1 представлена конструктивная схема трехфазной машины с короткозамкнутым ротором типа «беличьей клетки». Внутри корпуса *1*, отлитого из стали, чугуна или сплавов алюминия, закреплен неявнополюсный магнитопровод статора *2*, набранный из листовой электротехнической стали толщиной 0,35…0,5 мм. Листы штампуются с пазовыми отверстиями и в собранном магнитопроводе на внутренней поверхности образуются пазы для укладки обмотки. Трехфазная обмотка статора *3* обычно выполняется распределенной, т. е. состоит из отдельных катушек, расположенных в пазах вдоль всей окружности статора. У трехфазной обмотки на внешнюю панель выводов либо выходят все шесть выводов, либо обмотки фаз соединяются внутри машины по схеме «звезда» или «треугольник» и на панель выходят три вывода. Обмотка статора предназначена для создания вращающегося магнитного поля машины. Магнитопровод ротора *4* выполняется в виде цилиндра, набранного из листовой электротехнической стали с пазами на внешней поверхности. Обмотка ротора *5* типа «беличьей клетки» состоит из неизолированных алюминиевых или медных стержней, расположенных в пазах и замкнутых накоротко с торцов

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета
http://e.biblio.bru.by/

двумя кольцами. Наиболее часто «беличью клетку» с кольцами получают путем заливки алюминия под давлением в пазы ротора.

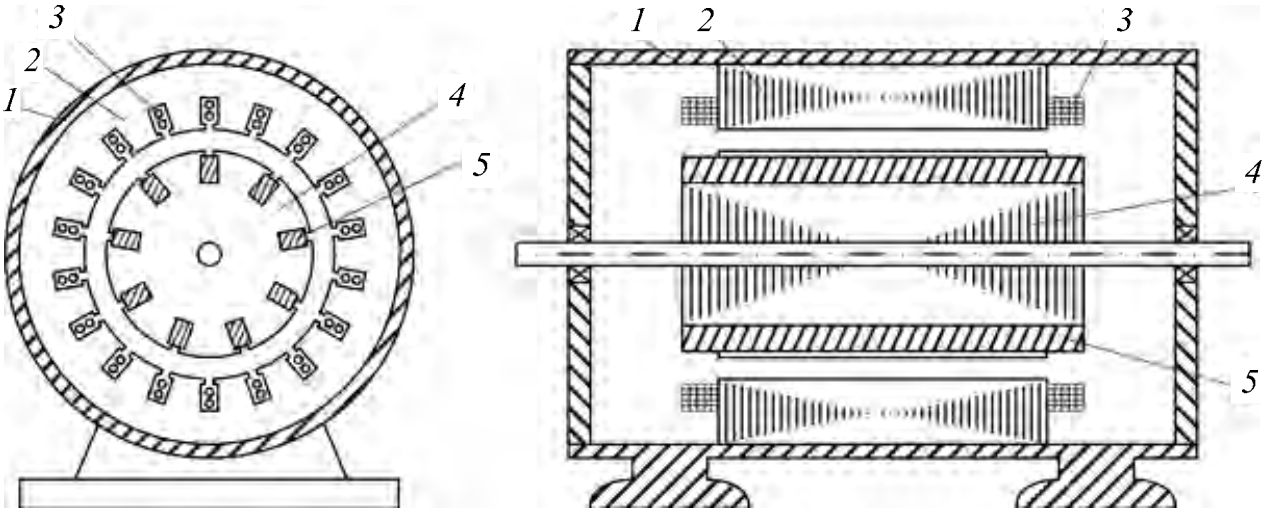


Рисунок 2.1 – Конструкция асинхронного двигателя

Принцип работы асинхронных машин связан с понятием вращающегося магнитного поля. Обмотка, создающая вращающееся поле, представляет собой N-фазную систему, т. е. состоит из N обмоток, которые сдвинуты друг относительно друга в пространстве и по которым протекают токи, сдвинутые во времени. Каждая из обмоток фаз создает пульсирующий поток (неподвижный в пространстве и изменяющийся во времени), сдвинутый относительно других в пространстве и во времени. Если все обмотки фаз имеют одинаковое число витков и сдвинуты в пространстве на одинаковый пространственный угол γ, токи имеют одинаковую амплитуду I_m и частоту f и сдвинуты во времени на одинаковый угол β, то результирующее магнитное поле будет круговым. Это означает, что поток представляет собой вектор постоянной длины, вращающийся в пространстве с постоянной угловой скоростью.

Условия образования кругового магнитного поля в трехфазной машине ($N = 3$) примут следующий вид: $\gamma = 120^{\circ}$; $\beta = 120^{\circ}$; $I_{m1} = I_{m2} = I_{m3}$.

Угловая скорость магнитного поля ω, рад/с, называемая синхронной скоростью машины переменного тока, будет равна $\omega_1 = 2\pi f / p_м$ (где $p_м$ – число пар полюсов обмотки).

Синхронная частота вращения n_1, об/мин, определяется по формуле $n_1 = 60\, f / p_м$.

Если изменить порядок чередования любых двух обмоток фаз, то вектор магнитного поля будет вращаться в противоположную сторону.

Принцип действия асинхронной машины основан на электромагнитном взаимодействии вращающегося магнитного поля статора с токами, наведенными этим полем в роторе. Поскольку наведение ЭДС в роторе возможно только при неравенстве угловых скоростей ротора ω_2 и магнитного поля статора ω_1, то условие $\omega_2 \neq \omega_1$ является обязательным для создания электромагнитного момента в любом режиме работы асинхронной машины.

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета
http://e.biblio.bru.by/

У трехфазных асинхронных двигателей основной способ регулирования скорости – изменение частоты f_1 напряжения питания.

При этом следует иметь в виду, что для наилучшего использования двигателя изменение частоты должно сопровождаться изменением амплитуды напряжения питания U_1. Объясняется это тем, что при неизменной амплитуде напряжения и регулировании частоты обратно пропорционально частоте изменяется магнитный поток машины $Ф_м$. Уменьшение f_1 вызовет увеличение $Ф_м$, что может привести к насыщению магнитопровода, резкому возрастанию намагничивающего тока и перегреву как стали, так и обмоток статора. Увеличение f_1 приводит к уменьшению $Ф_м$, что при $M_{ст}$ = const вызовет рост тока в роторе и, соответственно, перегрев ротора при недоиспользовании стали.

Закон изменения напряжения зависит от изменения частоты питания и характера нагрузки. Например, если статический момент нагрузки $M_{ст}$ не зависит от скорости, то необходимо при регулировании частоты f_1 так изменять напряжение U_1, чтобы обеспечить (U_1 / f_1) = const.

Частотное регулирование реализуется частотными преобразователями. Силовые преобразователи частоты и амплитуды напряжения для частотного управления асинхронными двигателями выполняются в настоящее время на силовых полупроводниковых элементах. Преобразователи частоты можно разделить на две основные группы: преобразователи с промежуточным звеном постоянного тока и преобразователи с непосредственной связью первичной и вторичной цепей.

Широкое распространение получили преобразователи с промежуточным звеном постоянного тока. В рассматриваемых преобразователях переменное напряжение питающей сети выпрямляется, фильтруется и подается на управляемый инвертор, который преобразует постоянное напряжение в переменное с регулируемой частотой. Выпрямители преобразователей в свою очередь могут быть управляемые и неуправляемые.

В преобразователе частоты (ПЧ) с управляемым выпрямителем УВ (рисунок 2.2, *а*) напряжение $U_{1\sim}$, подаваемое на двигатель АД, регулируется по амплитуде за счет изменения напряжения постоянного тока $U_{–}$ на выходе УВ. Управление работой выпрямителя и управляемого инвертора УИ осуществляет блок управления БУ.

В преобразователе частоты с неуправляемым выпрямителем НВ (рисунок 2.2, *б*) выпрямленное напряжение преобразуется с помощью транзисторного широтно-импульсного модулятора (ШИМ) в импульсное напряжение на входе инвертора, частота импульсов должна быть значительно больше верхнего предела рабочей частоты на выходе инвертора.

При обычной широтно-импульсной модуляции среднее значение напряжения на такте инвертора примерно равно относительной продолжительности импульсов ШИМ. Изменяя ее, можно регулировать значение напряжения $U_{1\sim}$ на выходе инвертора.

Принцип действия управляемого инвертора рассмотрим на примере инвертора, выполненного по трехфазной мостовой схеме и работающего на чисто активную нагрузку (рисунок 2.3, *а*).

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета
http://e.biblio.bru.by/

а) *б*)

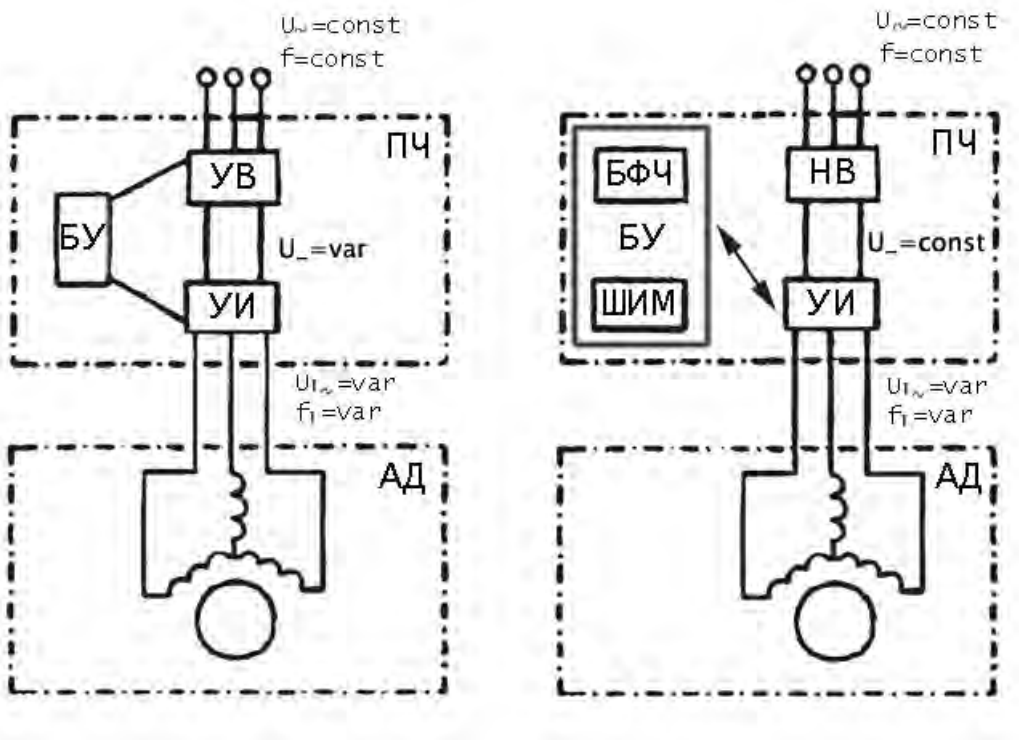


Рисунок 2.2 – Преобразователи частоты

а) *б*)

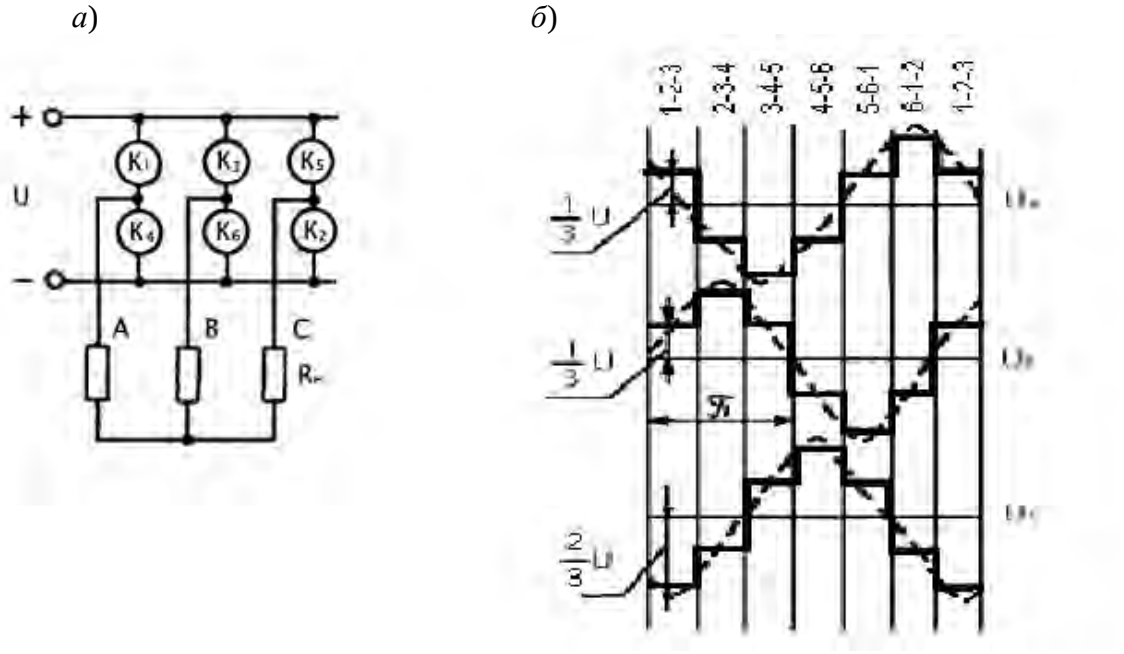


Рисунок 2.3 – Принцип работы управляемого инвертора

В управляемом инверторе силовыми элементами должны быть полностью управляемые полупроводниковые приборы, т. е. способные открываться и закрываться под воздействием соответствующих сигналов управления. Этому требованию отвечают либо транзисторы, работающие в ключевом режиме, либо тиристоры в совокупности со схемой искусственной коммутации, либо

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета
by/

запираемые тиристоры. В общем виде данные силовые элементы обозначены на рисунке как ключи K_1–K_6. На вход УИ подано напряжение постоянного тока U, переключение в схеме происходит по команде блока управления каждую 1/6 часть периода требуемой выходной частоты. При этом каждый ключ замкнут либо 1/2 периода выходной частоты, либо 1/3 периода. На рисунке 2.3, *б* в качестве примера показаны временные диаграммы формирования выходного напряжения в фазах А, В, С сопротивления нагрузки $R_н$ для первого случая.

Как видно, на каждом такте коммутации схемы одновременно проводят ток три ключа (во втором случае – два ключа). Например, на первом такте открыты ключи с номерами 1, 2, 3 и ток протекает по цепи, в которой последовательно с сопротивлением фазы С включены параллельно соединенные сопротивления фаз А и В. При этом в фазе С падает 2/3 приложенного напряжения U, в фазах А и В – по 1/3 U. Знак падения напряжения определяется направлением тока в фазе. За положительное падение напряжения принято такое, которое создается током, протекающим к общей точке фаз нагрузки. По мере переключения ключей напряжение в фазах ступенчато изменяется и на нагрузке формируется симметричная трехфазная система напряжений прямоугольно-ступенчатой формы. Первые гармоники этих напряжений требуемой частоты (пунктирные линии на рисунке 2.3, *б*) имеют фазовый сдвиг 120°. Высшие гармоники могут быть отфильтрованы LC-фильтрами. Частота выходного напряжения определяется частотой коммутации ключей, порядок следования напряжений – порядком коммутации ключей.

2.2 Порядок выполнения лабораторной работы

Принципиальная электрическая схема исследования показана на рисунке 2.4. При замкнутом трехфазном выключателе ТВ1 питание исследуемого асинхронного двигателя АД осуществляется от источника ЭДС постоянной частоты 50 Гц и снимаются соответствующие статические и динамические характеристики двигателя.

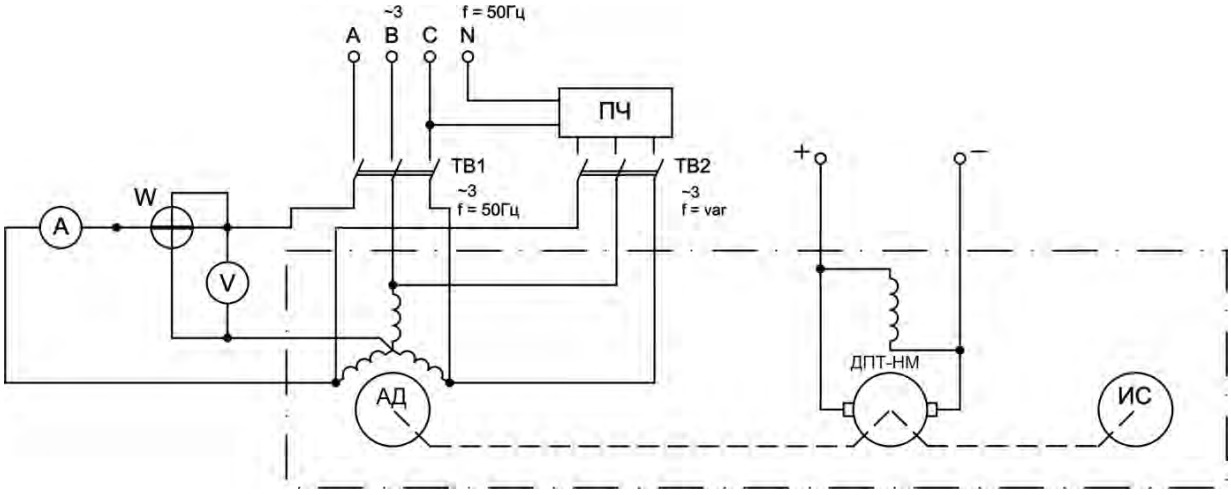


Рисунок 2.4 – Принципиальная электрическая схема исследования

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета
http://e.biblio.bru.by/

При замкнутом трехфазном выключателе ТВ2 питание исследуемого двигателя осуществляется от полупроводникового преобразователя частоты ПЧ и снимаются соответствующие характеристики привода. Нагрузка на валу исследуемого двигателя создается нагрузочной машиной НМ, в качестве которой используется двигатель постоянного тока ДПТ в режиме торможения противовключением. Измерение частоты вращения ротора производится электронным импульсным измерителем скорости ИС.

Для дальнейшего выполнения лабораторной работы необъходимо.

1 Ознакомиться с конструкцией испытательного стенда, записать технические данные изучаемого двигателя и измерительных приборов, используемых в работе.

2 Произвести опыт по определению статической механической характеристики асинхронного двигателя.

3 Провести опыты по определению статической механической характеристики при частотном регулировании скорости асинхронного двигателя в разомкнутой системе электропривода.

4 Провести опыты по определению статической механической характеристики при частотном регулировании скорости асинхронного двигателя в замкнутой системе электропривода с использованием ПИ-регулятора .

5 Выполнить необходимые расчеты и построить характеристики.

Контрольные вопросы

1 Конструкция и принцип работы асинхронного двигателя.

2 Принцип частотного регулирования скорости асинхронных двигателей.

3 Регулирование частоты и величины напряжения в преобразователях частоты.

4 Регулировочные характеристики асинхронного двигателя при частотном регулировании.

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета
http://e.biblio.bru.by/

3 Лабораторная работа № 3. Моделирование регулируемого электропривода постоянного тока мехатронного модуля перемещения

Цель работы: освоение методики разработки компьютерной модели системы автоматического регулирования электропривода постоянного тока. Получение практических навыков определения структуры и параметров регуляторов, соответствующих заданному типу настройки системы, и навыков в области компьютерного моделирования и исследования динамических режимов работы системы автоматического регулирования.

3.1 Общие сведения

В лабораторной работе рассматривается регулируемый электропривод, построенный на базе двигателя постоянного тока с независимым возбуждением (ДПТ), обмотка якоря которого подключена к тиристорному преобразователю. В основе данной системы автоматического регулирования (САР) лежит принцип последовательной коррекции или так называемого подчиненного регулирования, в соответствии с которым в структурной схеме САР электропривода (рисунок 3.1) выделяют два контура (внутренний – контур тока якоря и внешний – контур скорости) и осуществляют их настройку, начиная с контура тока. Для управления током якоря и угловой частотой (скоростью) организуются соответствующие регуляторы, которые соединяются последовательно так, что выход одного является входом другого. Параметры каждого регулятора рассчитываются исходя из требований к динамике объекта регулирования. Подчиненное регулирование с настройкой контуров на технический или симметричный оптимум позволяет значительно оптимизировать САР, т. к. при этом существенно увеличивается быстродействие и повышается жесткость механических характеристик. Настройка регулятора обеспечивает реализацию контура как системы второго порядка с одним интегрирующим и одним инерционным звеньями, постоянная времени которого есть некомпенсируемая малая постоянная или сумма всех малых постоянных данного контура. Малая постоянная времени замкнутого внутреннего контура обычно является некомпенсируемой малой постоянной времени последующего внешнего контура, а если в этом контуре есть еще и свои малые постоянные времени (например, фильтров), то его малая постоянная времени снова образуется как сумма всех малых постоянных. В лабораторной работе рассматривается система регулирования скорости двигателя постоянного тока независимого возбуждения с подчиненным токовым контуром (см. рисунок 3.1). Данная структура включает следующие элементы: Ф – фильтр, предназначенный для сглаживания коллекторных пульсаций тахогенератора; РС – регулятор скорости; РТ – регулятор тока; У – усилитель мощности (тиристорный преобразователь); Д – двигатель постоянного тока (пунктиром показана внутренняя обратная связь по ЭДС); ДТ – датчик тока; ДС – датчик скорости. В результате структурных преобразований избавляемся от перекрещивающихся связей и получаем структуру, представленную на рисунке 3.2, включающую все ранее перечисленные элементы с указанием передаточных функций.

Требуется определить в результате расчета следующее:

$$W_y(s) = \frac{k_y}{T_y s + 1}.$$

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета
http://e.biblio.bru.by/

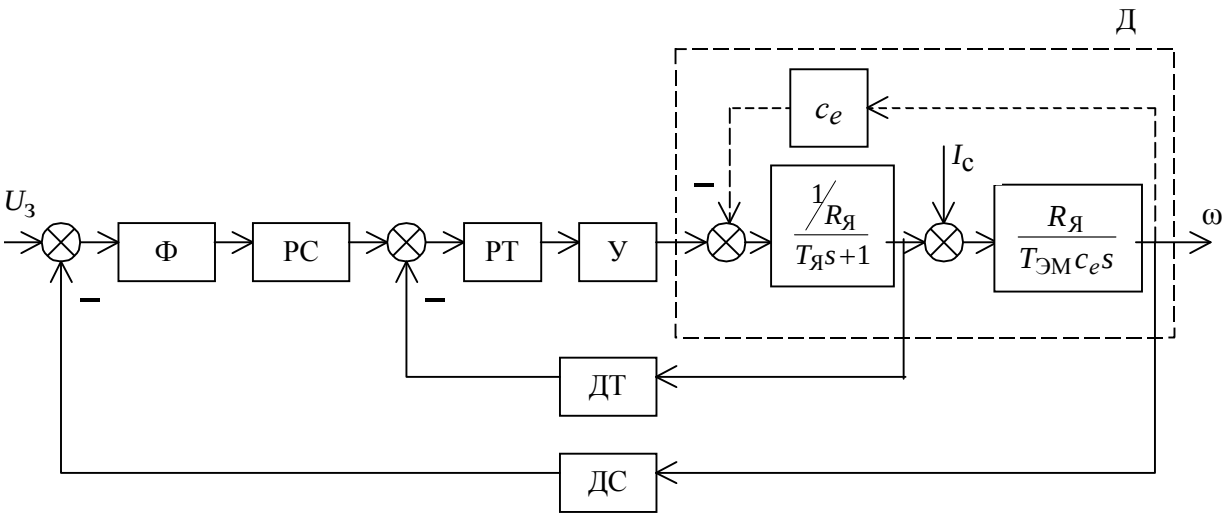


Рисунок 3.1 – Схема электропривода

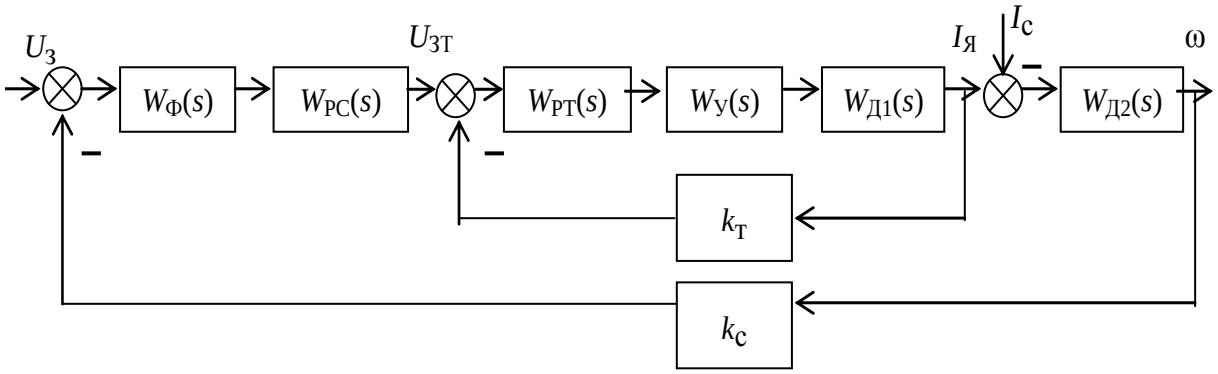


Рисунок 3.2 – Структурная схема электропривода

Передаточная функция двигателя в результате преобразований представлена в виде двух звеньев $W_{Д1}(s)$ в контуре тока и $W_{Д2}(s)$ в контуре скорости: $W_{Д1}(s)=\frac{1/R_{Я_\Sigma}}{T_Я s+1}$ для случая, не учитывающего влияния внутренней обратной связи по ЭДС, т. е. при $T_{ЭМ}>>T_Я$, или $W_{Д1}(s)=\frac{1/R_{Я_\Sigma}}{1+T_Я s+1/T_{ЭМ_s}}$ с учетом влияния обратной связи по ЭДС; $W_{Д2}(s)=\frac{R_{Я_\Sigma}k_Д}{T_{ЭМ}s}$, $k_Д=\frac{1}{c_e}$, $R_{Я_\Sigma}=R_{ЯД}+R_Ш$ (где $R_Ш$ – сопротивление обратной связи по току).

Расчет контура тока. Расчет начинается с внутреннего контура – контура тока. В этом контуре в качестве компенсируемой части объекта принимается входящая в него передаточная функция двигателя $W_{Д1}(s)$. Некомпенсируемым звеном является усилитель, постоянную времени которого принимаем за малую постоянную времени контура тока, т. е. $T_{\mu т}$ = $T_У$ (где $T_{\mu т}$ – малая некомпенсируемая постоянная времени контура тока). Тогда, в соответствии с изло-

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета
http://e.biblio.bru.by/

женным, ставится задача определения передаточной функции регулятора тока $W_{РТ}(s)$ из условия получения передаточной функции разомкнутого контура тока $W_{КТ}(s)$ в виде однократно интегрирующей системы, т. е.

$$W_{КТ}(s) = \frac{1}{T_0 s(T_{\mu m} s + 1)} ,$$

где T_0 – параметр, определяемый настройкой регулятора.

Для замкнутого контура тока имеем

$$W_{ЗКТ}(s) = \frac{1/k_T}{T_0 s(T_{\mu m} s + 1) + 1} = \frac{1/k_T}{T_0 T_{\mu m} s + T_0 + 1} . \qquad (3.1)$$

Выражение (3.1) может быть представлено как передаточная функция стандартного колебательного звена, т. е.

$$W_{ЗКТ}(s) = \frac{1/k_T}{T^2 s^2 + 2\zeta T s + 1},$$

где T – постоянная времени колебательного звена, $T = \sqrt{T_0 T_{\mu m}}$;

ζ – коэффициент затухания (или демпфирования) колебательного звена, $\zeta = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{T_0}{T_{\mu m}}}$.

При ζ = 1, т. е. при $T_0 = 4T_{\mu m}$, имеем предельный случай апериодического звена. Однако при выборе соотношения $T_0 = 2T_{\mu m}$, $\zeta = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{2T_{\mu m}}{T_{\mu m}}} = \frac{\sqrt{2}}{2} = 0,707$ обеспечивается большее быстродействие, поскольку в технических системах длительность процесса определяется временем вхождения в зону установившегося значения с точностью ± 5 %. В случае $T_0 = 2T_{\mu m}$ и ζ = 0,707 имеем колебательный процесс, но с максимальным перерегулированием всего 4,3 %. Вот почему в данном варианте быстродействие будет выше, чем при $T_0 = 4T_{\mu m}$. Настройка контура на соотношение $T_0 = 2T_{\mu m}$ и ζ = 0,707 является настройкой на модульный оптимум (МО).

Итак, для контура тока имеем

$$W_{КТ}(s) = \frac{1}{2T_{\mu m} s(T_{\mu m} s + 1)},$$

а т. к. $T_{\mu m} = T_У$, то

$$W_{КТ}(s) = \frac{1}{2T_У s(T_У s + 1)}. \qquad (3.2)$$

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета
http://e.biblio.bru.by/

С другой стороны, из структурной схемы (рисунок 3.2) имеем

$$W_{КТ}(s) = W_{РТ}(s)W_{У}(s)W_{Д1}(s)k_m,$$

откуда

$$W_{РТ}(s) = \frac{W_{КТ}(s)}{W_{У}(s)W_{Д1}(s)k_m}. \qquad (3.3)$$

Подставив в (3.3) выражения передаточных функций всех звеньев, а $W_{КТ}(s)$ из (3.2), получим передаточную функцию регулятора. При этом принято $W_{Д1}(s)$ без учета влияния ЭДС, так как в данном случае $T_{ЭМ} >> T_{Я}$:

$$W_{РТ}(s) = \frac{1}{2T_{У}s(T_{У}s+1)} \frac{(T_{У}s+1)(T_{Я}s+1)R_{Я_{\Sigma}}}{k_{У}k_m} = \frac{T_{Я}s+1}{2T_{У}s} \frac{R_{Я_{\Sigma}}}{k_{У}k_m},$$

или

$$W_{РТ}(s) = \frac{T_2 s+1}{T_1 s} = k_{РТ} + \frac{1}{T_1 s},$$

где $T_2 = T_{Я}$;

$$T_1 = 2T_{У}\frac{k_{У}k_{т}}{R_{Я\Sigma}};$$

$$k_{РТ} = \frac{T_2}{T_1}.$$

Расчет контура скорости

Контур скорости включает в себя замкнутый контур тока. Структурная схема представлена на рисунке 3.3. При настройке контура на модульный оптимум передаточная функция контура имеет вид:

$$W_{КС}(s) = \frac{1}{2T_{\mu c}s(T_{\mu c}+1)},$$

где $T_{\mu c}$ – некомпенсируемая малая постоянная времени.

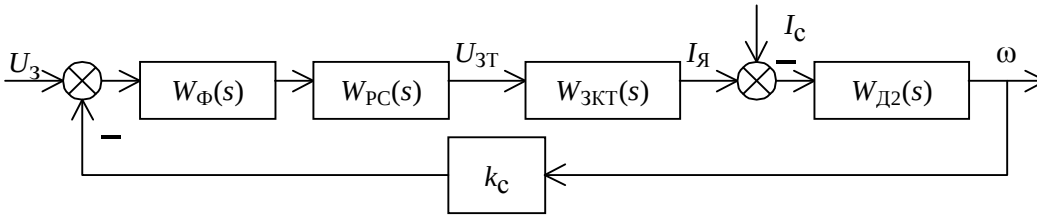


Рисунок 3.3 – Структурная схема для расчета контура скорости

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета
http://e.biblio.bru.by/

Из структурной схемы (см. рисунок 3.3) имеем

$$W_{КС}(s) = W_{Ф}(s)W_{РС}(s)W_{ЗКТ}(s)W_{Д2}(s)k_c .$$

Выражаем передаточную функцию регулятора скорости:

$$W_{РС}(s) = \frac{W_{КС}(s)}{W_{Ф}(s)W_{ЗКТ}(s)W_{Д2}(s)k_c}, \qquad (3.4)$$

где $W_{ЗКТ}(s) = \dfrac{1/k_m}{2T_У s(T_У s+1)+1} \approx \dfrac{1/k_m}{2T_У s+1}$.

Тогда, приняв за малую некомпенсируемую постоянную времени контура скорости $T_{\mu c}$ величину, равную сумме малой постоянной времени контура тока $2T_У$ и постоянной времени фильтра $T_Ф$, т. е. $T_{\mu c} = 2T_У + T_Ф$, получим из (3.4) передаточную функцию регулятора скорости

$$W_{РС}(s) = \frac{T_{ЭМ}}{2(2T_У + T_Ф)} \frac{k_m}{R_Я k_Д k_c} = k_{РС} . \qquad (3.5)$$

Таким образом, при настройке контура скорости на модульный оптимум получаем П-регулятор с коэффициентом передачи, определяемым выражением (3.5).

3.2 Порядок выполнения работы

1 В соответствии с вариантом (выдается преподавателем) рассчитать параметры регуляторов для системы электропривода (см. рисунок 3.2).

2 В среде MATLAB выполнить моделирование электропривода с рассчитанными параметрами регуляторов для режимов работы пуск, наброс (сброс) нагрузки (значение момента нагрузки выдает преподаватель).

3 Оформить отчет.

Контрольные вопросы

1 Поясните принцип подчиненного регулирования параметров электропривода.
2 Порядок расчета регуляторов тока и скорости на разные оптимумы.
3 Как понимаете термин «технический оптимум»?
4 Как понимаете термин «симметричный оптимум».

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета
http://e.biblio.bru.by/

4 Лабораторная работа № 4. Моделирование регулируемого электропривода переменного тока мехатронного модуля перемещения

Цель работы: моделирование регулируемого электропривода переменного тока со скалярной системой частотного регулирования мехатронного модуля перемещения.

4.1 Общие сведения

Модель электропривода включает модель двигателя (рисунок 4.1) в системе координат *y–x*, вращающихся с синхронной частотой поля в рабочем зазоре, и систему управления (преобразователь частоты с ПИ-регулятором скорости (рисунок 4.3).

Модель двигателя в осях *y–x* представлена на рисунке 4.1, а параметры двигателя для моделирования – в таблице 4.1 в соответствии с вариантом.

Таблица 4.1 – Характеристики АД для моделирования

Вариант	0	1	2	3	4	5
Тип двигателя	4А112	4А132	4А180	4А200	4А50	4А56
Мощность *P*, Вт	5500	11000	30000	45000	60	120
Частота *f*, Гц	50	50	50	50	50	50
Сопротивление статора *R*1, Ом	1,32	0,462	0,160	0,091	152,9	97,72
Индуктивность статора *L*1, Гн	0,169	0,0903	0,05	0,033	3,175	2,046
Сопротивление ротора *R*2, Ом	0,922	0,312	0,078	0,045	192	78,48
Индуктивность ротора *L*2, Гн	0,1715	0,0916	0,051	0,0334	3,095	2,155
Момент инерции *J*, кг·м^2	0,0206	0,0463	0,2245	0,434	0,0001	0,0002
Число пар полюсов	$2p = 4$	$2p = 4$	$2p = 4$	$2p = 4$	$2p = 4$	$2p = 4$

Схема подмодели АД с КЗ ротором. Схема подмодели АД с КЗ ротором, в среде Simulink, изображена на рисунке 4.1.

На дальнейших схемах подмодель АД с КЗ будет представлена в виде блока (рисунок 4.2).

Схема модели ПЧ-АД с ПИ-регулятором скорости. Схема модели ПЧ-АД, в системе MATLAB/Simulink, показана на рисунке 4.3.

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета
http://e.biblio.bru.by/

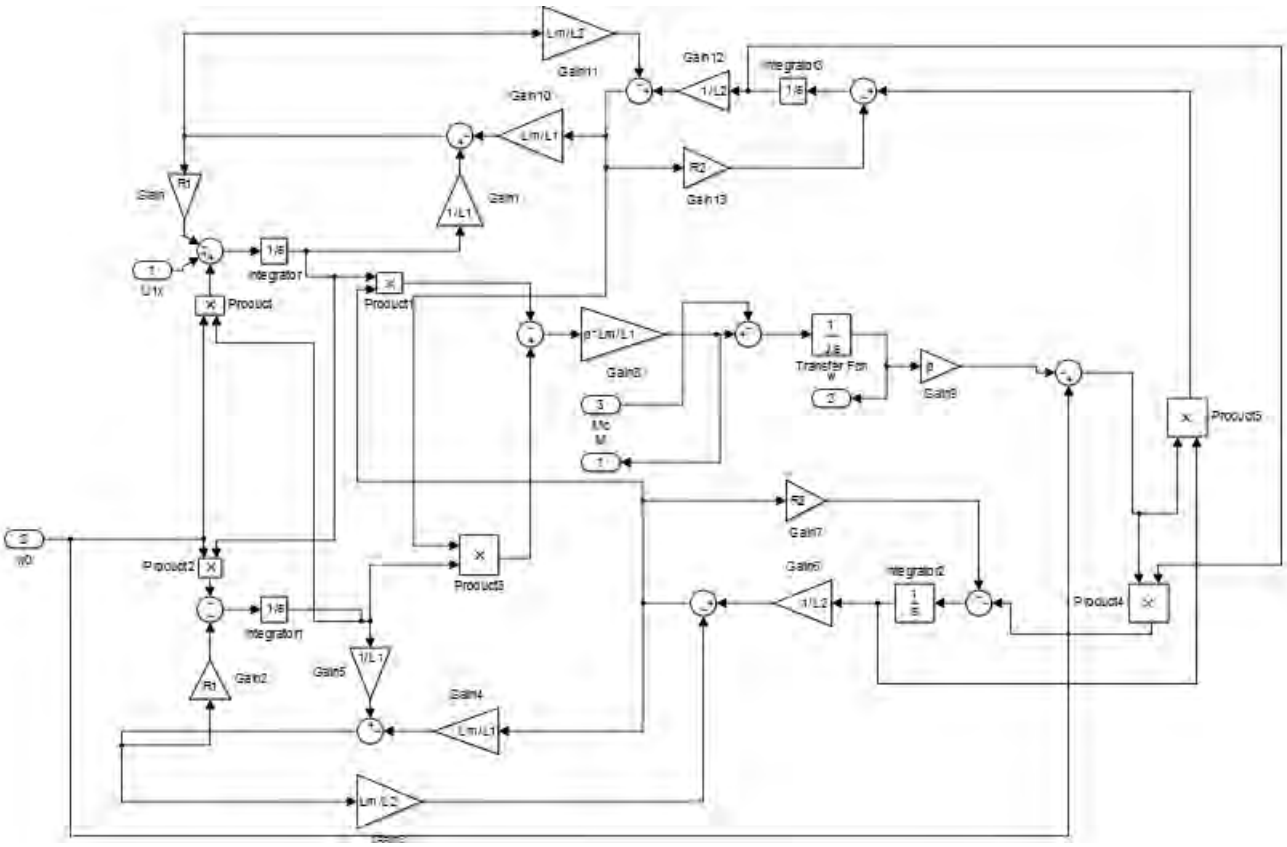


Рисунок 4.1 – Схема подмодели АД с КЗ ротором в системе Simulink

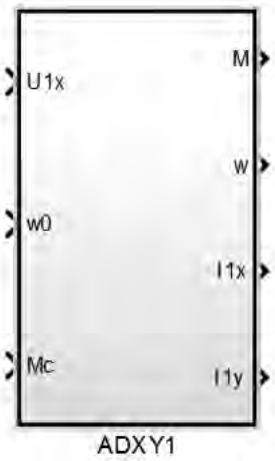


Рисунок 4.2 – Блок АД с КЗ ротором

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета
http://e.biblio.bru.by/

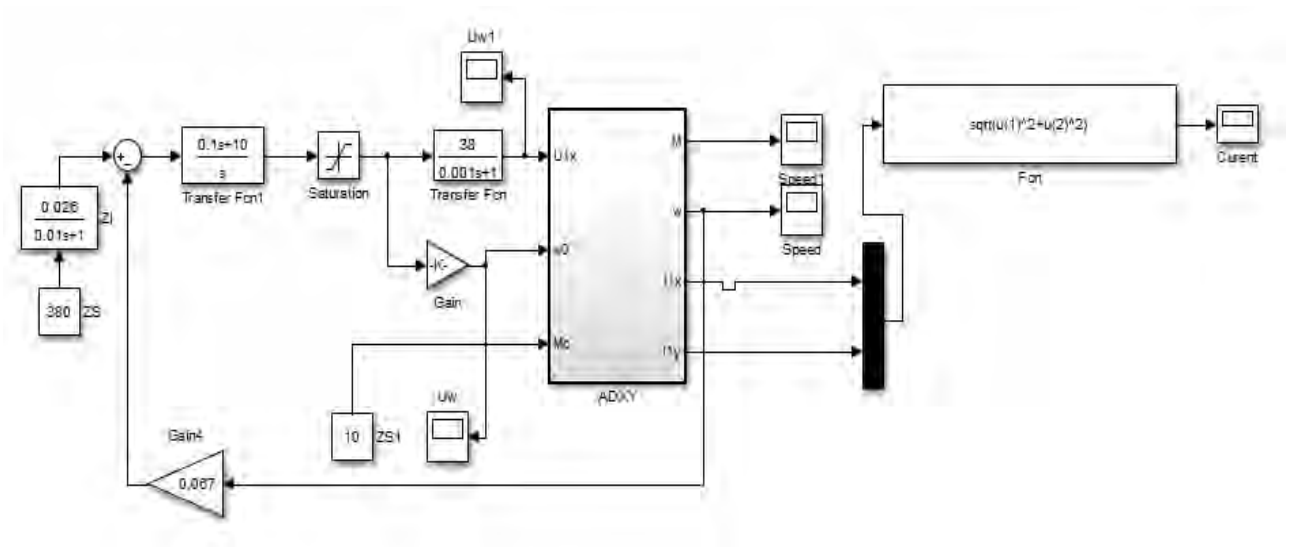


Рисунок 4.3 – Схема модели ПЧ-АД в системе Simulink

4.2 Порядок выполнения работы

1 В соответствии с вариантом (выдается преподавателем) рассчитать параметры двигателя, используемые для моделирования двигателя (см. рисунок 4.2), и выполнить его моделирование.

2 В среде MATLAB выполнить моделирование электропривода с рассчитанными параметрами регуляторов для режимов работы пуск, наброс (сброс) нагрузки (значение момента нагрузки выдает преподаватель).

Контрольные вопросы

1 Дайте понятие частотного регулирования скорости двигателей переменного тока.

2 Дайте понятие мехатронного модуля перемещения.

3 Преимущества использования асинхронных двигателей в исполнительных устройствах.

5 Лабораторная работа № 5. Изучение мехатронного модуля воспроизведения движения

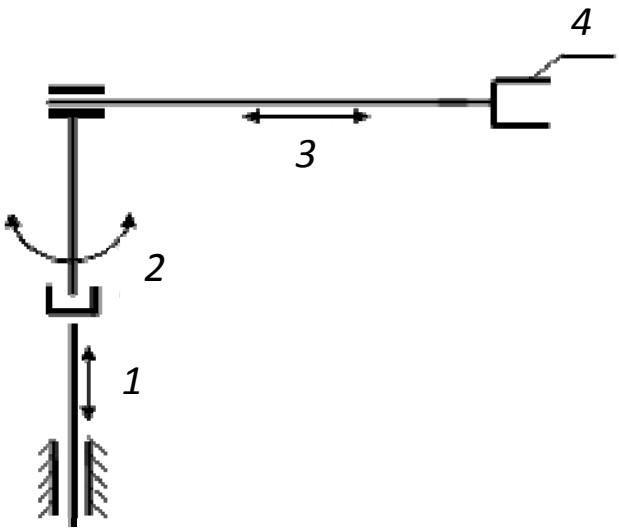
Цель работы: изучение конструктивных особенностей и приобретение навыков наладки работы мехатронных модулей на примере промышленного робота МП-9С.

5.1 Общие сведения

Промышленные роботы являются типичными представителями мехатронных технологических объектов и могут иметь цикловые, числовые, адаптивные системы управления и системы управления с элементами искусственного

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета
http://e.biblio.bru.by/

интеллекта. Робот МП-9С модульного типа имеет цикловую систему программного управления. Он может работать в составе робототехнических комплексов и гибких автоматизированных производств. Манипулятор робота МП-9С.01 (рисунок 5.1) представляет собой механизм с тремя степенями подвижности, каждая из которых перемещается с помощью двух пневмоприводов и имеет по две точки позиционирования.



1, *2*, *3* – степени подвижности; *4* – схват

Рисунок 5.1 – Кинематическая схема манипулятора

Робот состоит из трех систем: механической, управления и информационной. Механическая система (рисунок 5.2) включает в себя следующие основные элементы: корпус с узлом распределения и подготовки воздуха *1*; механизмы подъема *2* и поворота *3*; муфту с упорами *4*; управление поворота руки *5*; амортизаторы руки *6*; поворот *7*; захватное устройство *8*. Привод робота пневматический, работает от отдельного компрессора с ресивером. Управление работой робота осуществляется по цикловой программе с ограничением перемещений при помощи конечных регулируемых упоров, установленных на муфтах подъемника и поворота (см. рисунки 5.2 и 5.3). В качестве управляющего устройства робота используется микропроцессорное программируемое цикловое устройство МПЦУ-1-32; в качестве устройств обратной связи – электронные контакты (КЭМ), при подводе к которым постоянных магнитов, закрепленных на движущихся элементах робота, выдается сигнал о выполнении данного движения. Только после этого сигнала система управления выдает команду на следующее движение элемента робота, при его отсутствии робот останавливается.

Механизм подъема предназначен для обеспечения подъема и опускания руки манипулятора (см. рисунок 5.3).

Регулирование величины подъема и опускания руки проводится при помощи основных *1* и *4* и вспомогательного *6* упоров. На упорах *12* и *17* установлены КЭМы, а на кронштейне *14* – магнит *15*. Точность позиционирования ру-

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета
http://e.biblio.bru.by/

ки устанавливается при помощи винта *13*. Наладка винта механизма подъема руки заключается в следующем:

– передвинуть упоры *4* и *6* на необходимую величину, предварительно ослабив фиксацию к направляющей *3*;

– затянуть винт *10* упора *6*;

– микровинтом *7* установить точное положение.

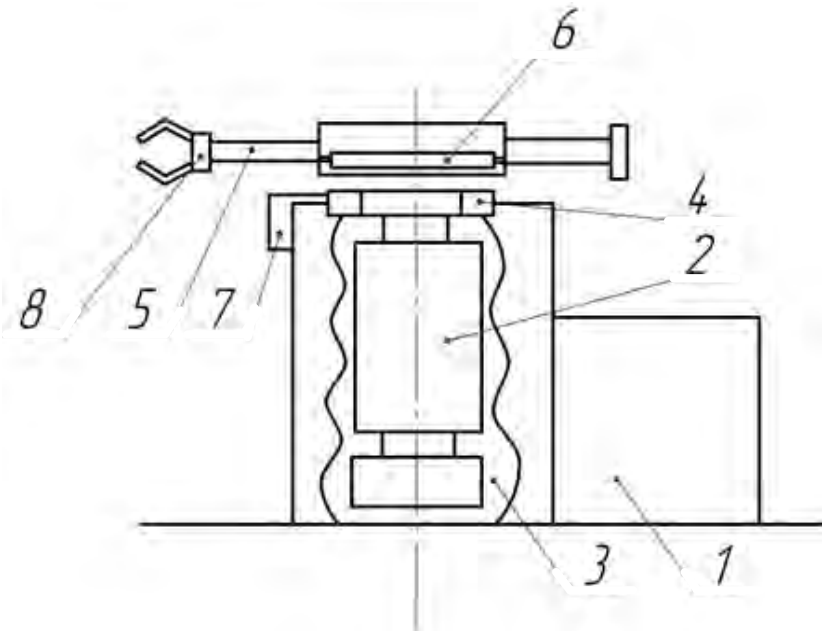


Рисунок 5.2 – Общий вид промышленного робота

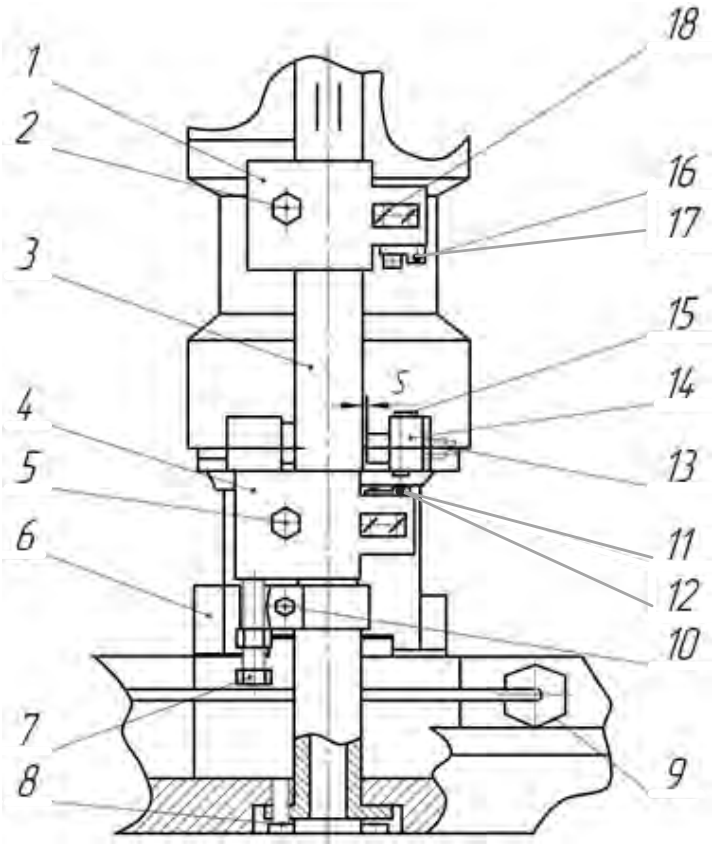
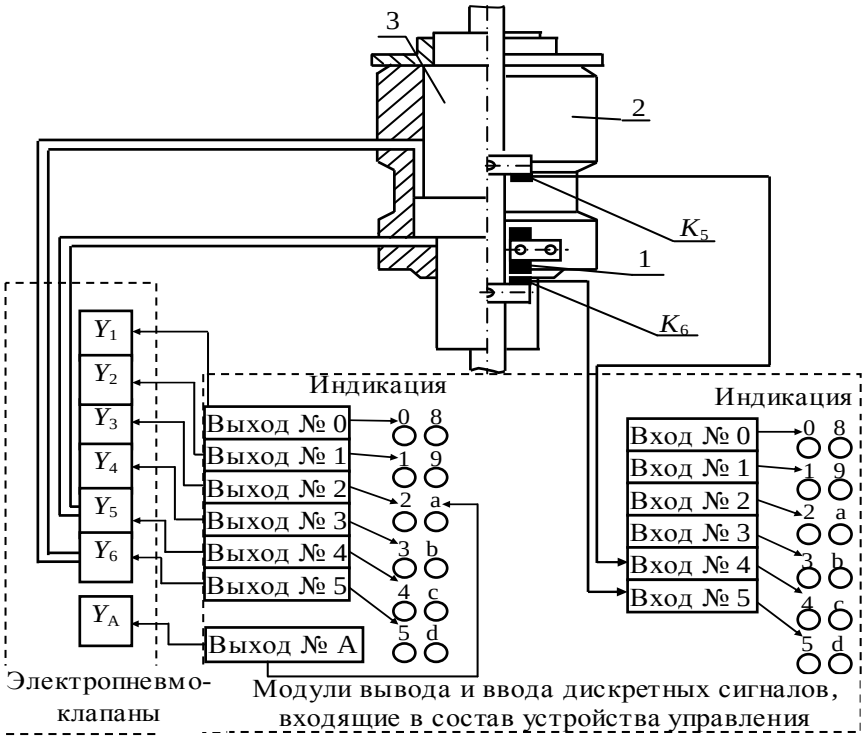


Рисунок 5.3 – Установка упоров механизма подъема

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета
http://e.biblio.bru.by/

На рисунке 5.4 изображены основные элементы механизма подъема манипулятора, электрические магнитоуправляемые контакты, электропневматические клапаны, а также элементы индикации модулей ввода и вывода дискретных сигналов устройства управления робота МП-9С.01.



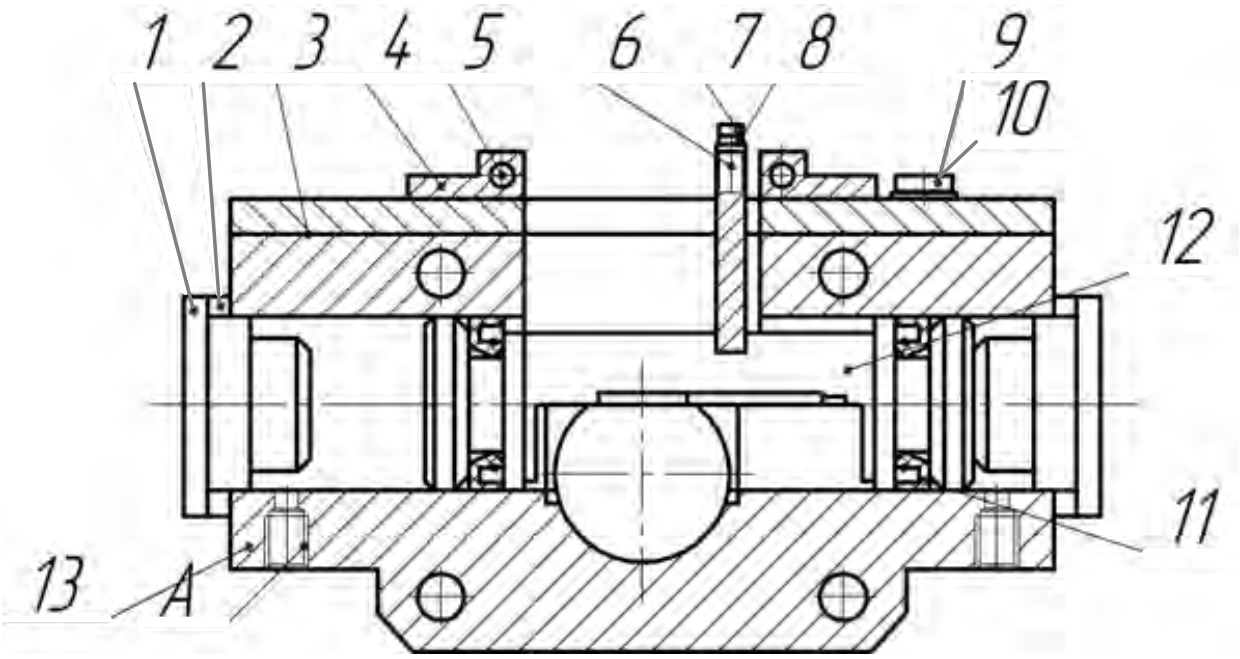
1 – магнит; 2 – корпус; 3 – шток; K_5, K_6 – контакты электрические магнитоуправляемые (КЭМ); Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5, Y_6, Y_A – электропневмоклапаны

Рисунок 5.4 – Механизм подъема (степень подвижности № 1)

Механизм поворота руки робота предназначен для поворота руки робота вокруг вертикальной оси. Он состоит из корпуса *13* в сборе (рисунок 5.5) и муфты с упорами (рисунок 5.6). В корпусе *13* – шток-рейка 12 с манжетами *11* и фланцами *1* и прокладками *2*. На рейке *12* закреплена планка *8* с магнитом *6*, на корпусе *13* – планка *3* и плата *4* с КЭМами. При перемещении рейки *12* магнит *6* подходит к КЭМу *5*, происходит его срабатывание – подается сигнал в систему управления о выполнении данного движения руки (см. рисунок 5.6). Муфта с упорами предназначена для соединения руки с валом механизма поворота робота. Она состоит из муфты *1*, основных *2* и регулировочных упоров *3*. При повороте руки упор *2* доходит до амортизатора и дожимает его выступ до предела, чем смягчает окончание поворота руки.

На рисунке 5.7 изображены основные элементы механизма поворота руки, электрические магнитоуправляемые контакты, электропневматические клапаны, а также элементы индикации модулей ввода и вывода дискретных сигналов устройства управления робота МП-9С.01.

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета
http://e.biblio.bru.by/



1 – фланец; *2* – прокладка; *3* – планка; *4* – плата; *5* – магнитоуправляемый контакт (КЭМ); *6* – магнит; *7* – винт; *8* – планка; *9* – винт; *10* – шайба пружинная; *11* – манжета; *12* – рейка; *13* – корпус

Рисунок 5.5 – Механизм поворота

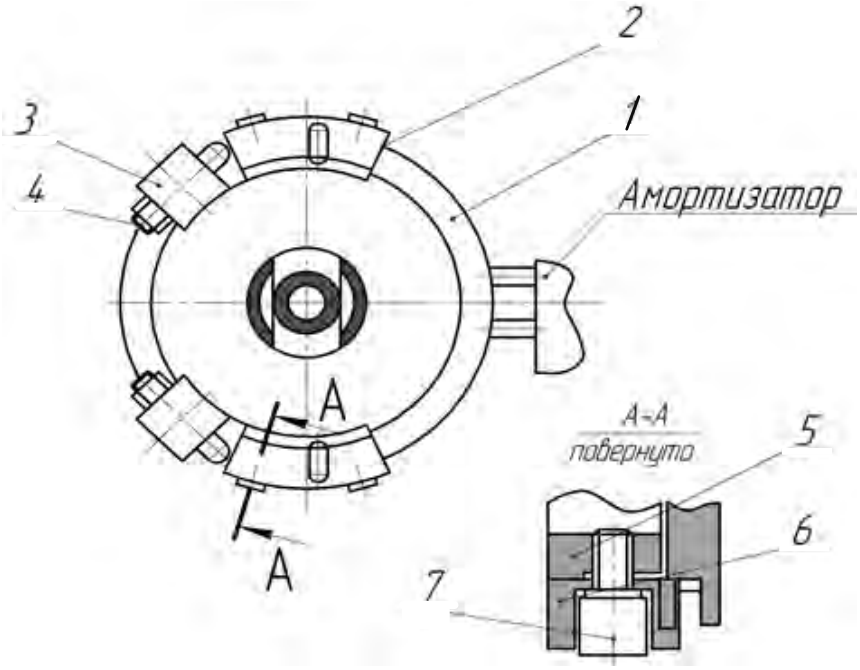
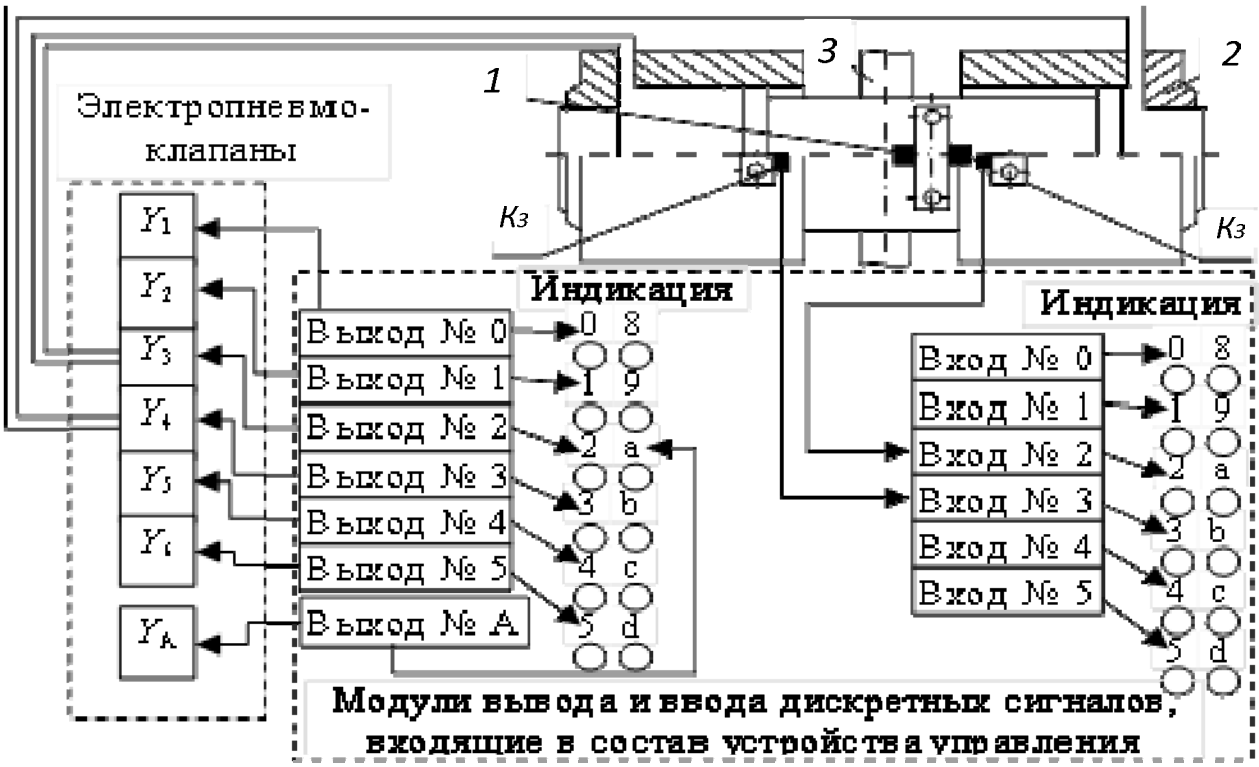


Рисунок 5.6 – Муфта с упорами

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета
http://e.biblio.bru.by/



1 – магнит; 2 – корпус; 3 – шток; K_3, K_4 – контакты электрические магнитоуправляемые (КЭМ); Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5, Y_6, Y_A – электропневмоклапаны

Рисунок 5.7 – Механизм поворота (степень подвижности № 2)

Механизм выдвижения руки предназначен для выдвижения (втягивания) руки робота в радиальном направлении относительно общей оси вращения манипулятора. На рисунке 5.8 изображены основные элементы механизма выдвижения руки, электрические магнитоуправляемые контакты, электропневматические клапаны, а также элементы индикации модулей ввода и вывода дискретных сигналов.

Промышленный робот МП-9С.01 оснащен программируемым цикловым устройством управления МПЦУ-1-32. Структурная схема устройства управления представлена на рисунке 5.9.

Схема передней панели МПЦУ изображена на рисунке 5.10.

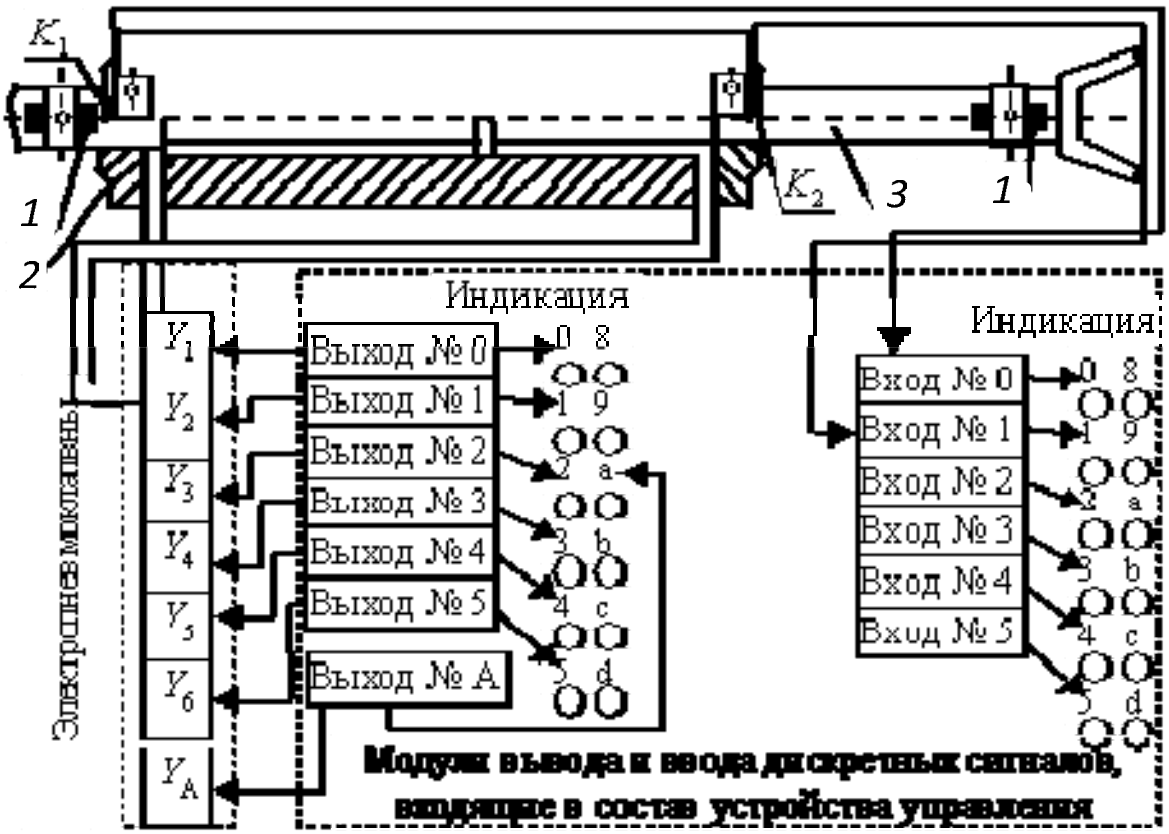
Пульт управления (ПУ) расположен на передней панели МПЦУ-1-32. На рисунке 5.10 он обведен пунктирным контуром. В его состав входят: поз. *10* – однострочный восьмиразрядный дисплей; поз. *11* – клавиатура; поз. *12–16* – индикаторы режимов работы МПЦУ-1-32.

Для получения навыков программирования используется виртуальный тренажер, эмулирующий работу микропроцессорной системы циклового управления.

Тренажер использует максимально приближенный интерфейс и возможности данного МПЦУ, что позволяет тренировать навыки в программировании и работы с реальным МПЦУ. В тренажере к МПЦУ подключены два цикловых робота, которые изменяют свое положение в зависимости от состояния

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета
http://e.biblio.bru.by/

выходных битов и меняют состояние входных в зависимости от своего положения (эмуляция конечных датчиков).



1 – магнит; *2* – корпус; *3* – шток; K_1, K_2 – контакты электрические магнитоуправляемые (КЭМ); Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5, Y_6, Y_A – электропневмоклапаны

Рисунок 5.8 – Механизм выдвижения руки (степень подвижности № 3)

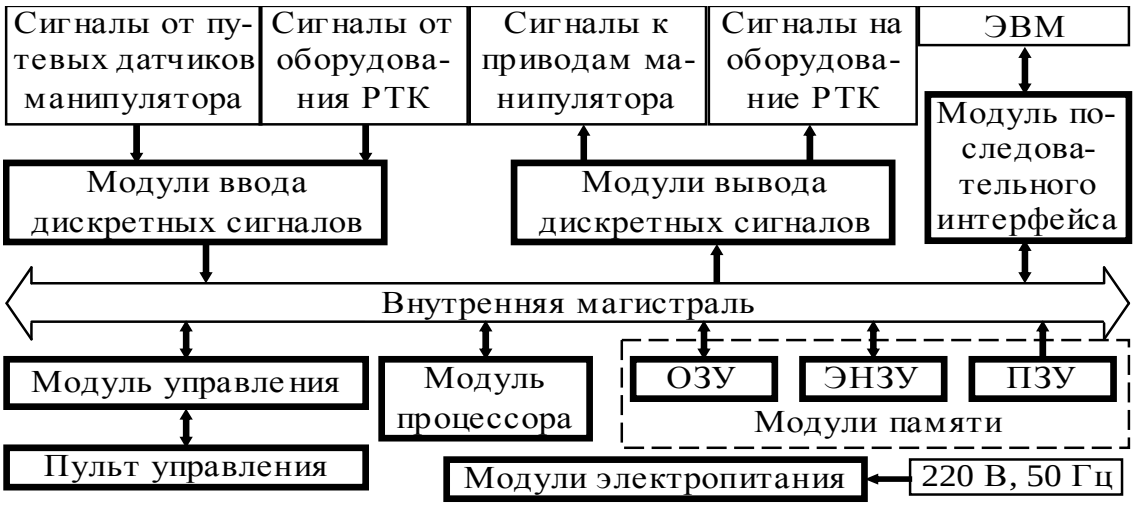
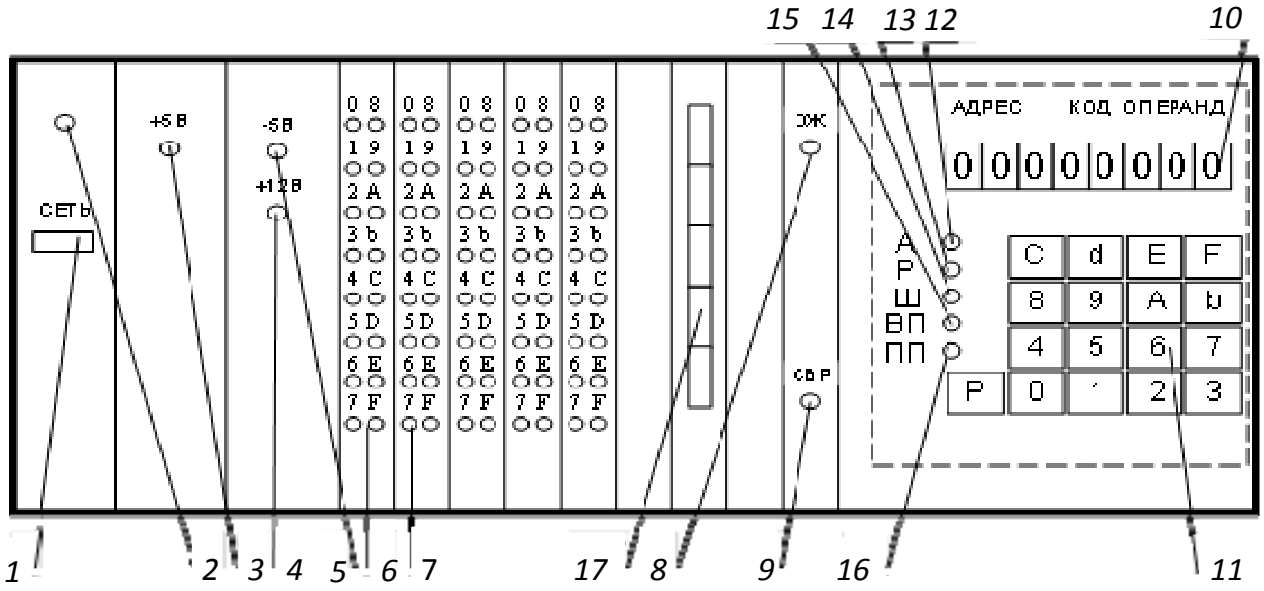


Рисунок 5.9 – Структурная схема устройства управления МПЦУ-1-32

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета
http://e.biblio.bru.by/



1 – кнопка включения МПЦУ-1-32; *2–5*, *8* – индикаторы; *6* – модуль ввода дискретных сигналов; *7* – модуль вывода дискретных сигналов; *9* – кнопка сброса; *10* – однострочный восьмиразрядный дисплей; *11* – клавиатура; *12–16* – индикаторы режимов работы МПЦУ; *17* – кнопки включения входов МПЦУ-1-32, не занятых сигналами от манипулятора

Рисунок 5.10 – Схема передней панели МПЦУ

Для запуска уже установленной программы нужно запустить файл MPCU.EXE.

Формат команды МПЦУ-1-32 представлен на рисунке 5.11. В старший байт команды записывается код команды; в младший – операнд. Слово команды МПЦУ делится на два поля длиной по восемь разрядов – поле кода операции и поле операнда.

N0, Nl, N2, N3 кодируются символами шестнадцатеричной системы исчисления 0–9, A, B, C, D, E, F.

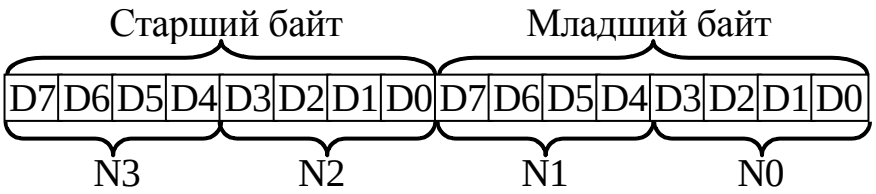


Рисунок 5.11 – Формат команды МПЦУ-1-32

Команды, работающие в режиме «ручное управление», представлены на рисунке 5.12.

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета
http://e.biblio.bru.by/

Команда			Тип движения	Электропневмо-преобразователь
Формат		Краткое содержание		
Код N3N2	Операнд N1N0			
F0	00	Выдвижение руки	3–2	Y_1
F1	00	Втягивание руки	3–1	Y_2
F2	00	Поворот вправо	2–2	Y_3
F3	00	Поворот влево	2–1	Y_4
F4	00	Подъем	1–1	Y_5
F5	00	Опускание	1–2	Y_6
FA	00	Сжатие схвата	–	Y_{11}
FB	00	Разжатие схвата	–	Y_{11}

Рисунок 5.11 – Формат команды МПЦУ-1-32

5.2 Порядок проведения работы

1 Изучить конструкцию и взаимодействие элементов робота при работе по методическим указаниям и непосредственно по роботу.

2 Разработать и вычертить траекторию и рабочую зону работы робота по полученному варианту задания.

3 Наладить на роботе механизм подъема и поворота по выданному варианту задания.

4 Написать программу перемещений рабочего органа робота в ручном режиме.

5 Проверить реализацию программы на виртуальном тренажере.

Варианты заданий представлены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Варианты заданий

Вариант	Исходное положение ПР	Последовательность шагов отработки команд								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	+H; +S; +φ; РЗ	–φ	–H	З	+H	–S	+φ	+S	РЗ	–S
2	+H; +S; –φ; РЗ	З	–H	–S	+H	+φ	РЗ	–S –H	–φ	+H +S
3	+H; +S; +φ; РЗ	+S	+H –S	+S	–H	З	–S	+H + φ	–H +S	РЗ

Примечание – +H, +S – соответствует максимальному перемещению вверх и вперед; –H, –S – соответствует минимальному подъему и вылету руки ПР; +φ – поворот вправо; –φ – поворот влево; РЗ, З – рука в разжатом и зажатом состоянии соответственно

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета
http://e.biblio.bru.by/

Контрольные вопросы

1 Из каких частей состоит робот?
2 Техническая характеристика ПР МП-9С.
3 Порядок наладки механизма поворота ПР МП-9С.
4 Порядок наладки механизма подъема ПР МП-9С.
5 Порядок программирования ПР МП-9С.
6 Органы управления ПР МП-9С.
7 Тип системы управления ПР МП-9С.

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета
http://e.biblio.bru.by/

6 Лабораторная работа № 6. Моделирование электропривода воспроизведения движения мехатронного устройства подъема груза

Цель работы: моделирование регулируемого электропривода переменного тока со скалярной системой частотного регулирования мехатронного модуля устройства подъема груза.

6.1 Общие сведения

Электропривод мехатронного модуля устройства подъема груза как электромеханическая система с упругими кинематическими связями образует систему из электрической и механической подсистем. В таких электроприводах решающую роль играет реакция системы электропривода на задающие воздействия при практически неизменных в течение времени перемещения возмущающих воздействиях (перемещаемый груз) с целью получения минимальной колебательности переходных процессов при ограничении рывка и ускорения перемещаемого груза. При моделировании электропривода механическая подсистема привода подъема может рассматриваться как трехмассовая система. В этом случае передаточные функции по скорости перемещаемого груза, скорости двигателя (при входном воздействии электромагнитный момент двигателя) имеют вид:

$$W_1(p)=\frac{T_3\cdot T_{пр}p^2+1}{p\cdot\left[T_3\cdot T_1\cdot T_K\cdot T_{пр}\cdot T_M\cdot p^4+\left(T_1\cdot T_M\cdot T_K+T_3\cdot T_{пр}\cdot T_K+T_3\cdot T_{пр}\cdot T_M\right)\cdot p^2+T_K+T_M\right]};$$

$$W_2(p)=\frac{T_1\cdot T_3\cdot T_K\cdot T_{пр}\cdot p^4+\left(T_{пр}\cdot T_3+T_1\cdot T_K\right)\cdot p^2+1}{p\cdot\left[T_3\cdot T_1\cdot T_K\cdot T_{пр}\cdot T_M\cdot p^4+\left(T_1\cdot T_M\cdot T_K+T_3\cdot T_{пр}\cdot T_K+T_3\cdot T_{пр}\cdot T_M\right)\cdot p^2+T_K+T_M\right]}.$$

Постоянные времени, используемые в данных передаточных функциях для целей лабораторной работы, приведены в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Значения постоянных времени, используемых при расчетах

Вариант	T_1, с	T_3, с	T_K, с	$T_{пр}$, с	$T_п$, с	$T_М$, с
1	2,98	0,37	0,0044	0,0034	0,1	0,0025
2	2,11	0,29	0,0035	0,0025	0,1	0,0015
3	1,98	0,25	0,0029	0,0019	0,1	0,0012
4	3,1	0,18	0,0018	0,0008	0,1	0,0007
5	3,5	0,4	0,005	0,001	0,1	0,001

Структурная схема контура регулирования скорости частотно-регулируемого электропривода переменного тока с регулятором скорости для электропривода перемещения груза приведена на рисунке 6.1, а при неучете упругих связей – на рисунке 6.2.

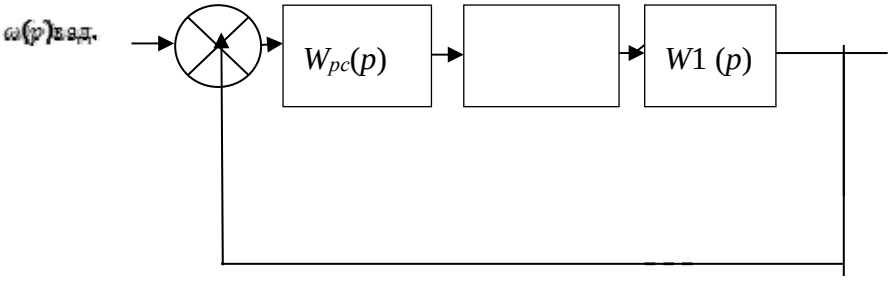


Рисунок 6.1 – Структурная схема электропривода при учете упругих связей

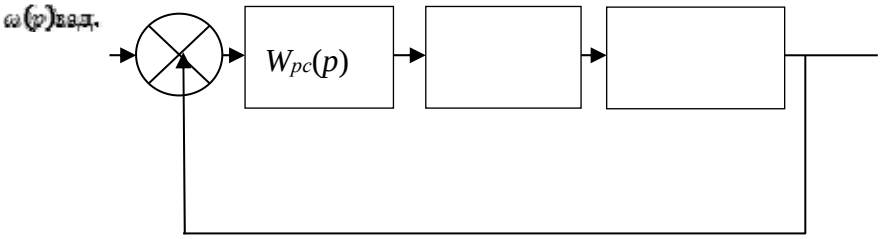


Рисунок 6.2 – Структурная схема электропривода при неучете упругих связей

Для структуры (см. рисунок 6.2) при стандартной настройке контура скорости на технический оптимум регулятор скорости пропорциональный с коэффициентом k:

$$k = \frac{(T_м + T_к)}{T_п}.$$

Для этого случая процессы по скорости кабины при единичном задающем сигнале без учета упругих связей механической подсистемы показаны на рисунке 6.3.

В частотно-регулируемых приводах, как правило, используется пропорционально-интегральный (ПИ) регулятор скорости, а не пропорциональный.

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета
http://e.biblio.bru.by/

Соотношения между коэффициентами усиления пропорциональной части $K_п$ и интегральной части $K_и$ ПИ-регулятора скорости и частотой среза $\Omega_{ср}$ проектируемой системы электропривода (см. рисунок 6.2) могут быть получены на основе амплитудно-частотного критерия оптимальности:

$$K_п(\omega) = \frac{\Omega_{ср}(T_м + T_к)}{\sqrt{2{,}5\eta}}; \qquad K_и(\omega) = \frac{4(T_м + T_к)\Omega_{ср}^2}{15\eta}, \tag{6.1}$$

где $\Omega_{ср}$ – частота среза контура регулирования скорости электропривода (выбирается значение, меньшее наименьшей резонансной частоты механической подсистемы);

η – КПД редуктора (редукторный регулируемый электропривод).

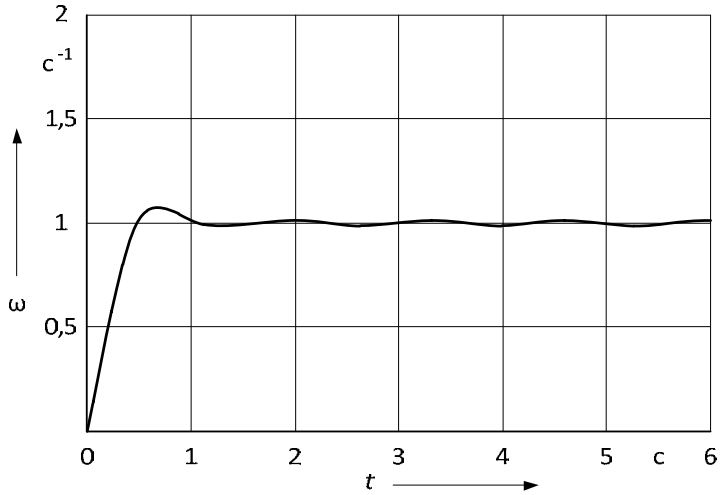


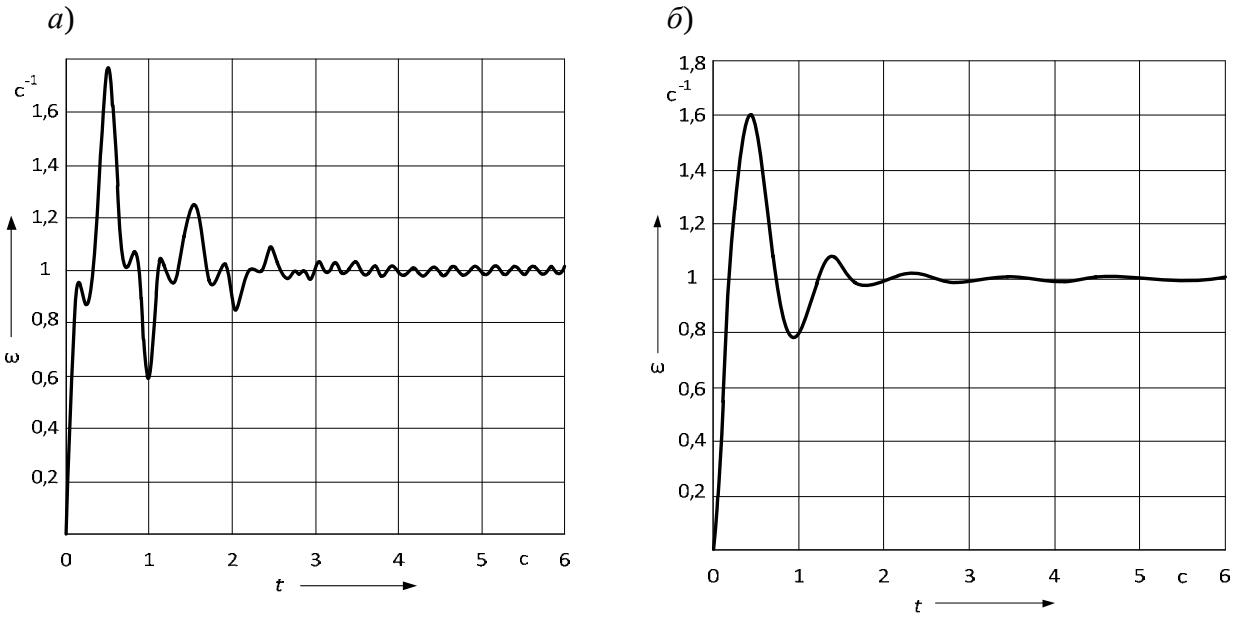
Рисунок 6.3 – Переходной процесс

Процессы по скорости перемещения груза с учетом упругих связей и без учета для единичного задающего воздействия при выборе параметров регулятора скорости по (6.1) показаны на рисунке 6.4.

Завышение частоты среза привода при настройке регуляторов увеличивает колебательность процессов (рисунок 6.5).

Для уменьшения колебательности процесса пуска необходимо формирование темпа разгона и торможения груза с учетом ограничений на рывок и ускорение с помощью задатчика или формирователя процесса пуска (торможения). Формирование меняющегося во времени сигнала задания на электропривод с упругими связями уменьшает колебательность в механической подсистеме. Требуемые тахограммы движения перемещения груза могут быть сформированы разными способами. Наиболее употребительна так называемая *S*-образная кривая пуска и торможения. На рисунке 6.6 показаны переходные процессы по скорости пуска кабины для электропривода (см. рисунок 6.1) при времени пуска 2 с и настройках регулятора скорости по (6.1). Увеличение времени пуска уменьшает колебательность процесса пуска.

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета
http://e.biblio.bru.by/



а – с учетом упругих связей; *б* – без учета упругих связей

Рисунок 6.4 – Переходные процессы по скорости перемещения груза (регулятор скорости пропорционально-интегральный; частота среза системы равна 10,67 рад/с) при единичном воздействии:

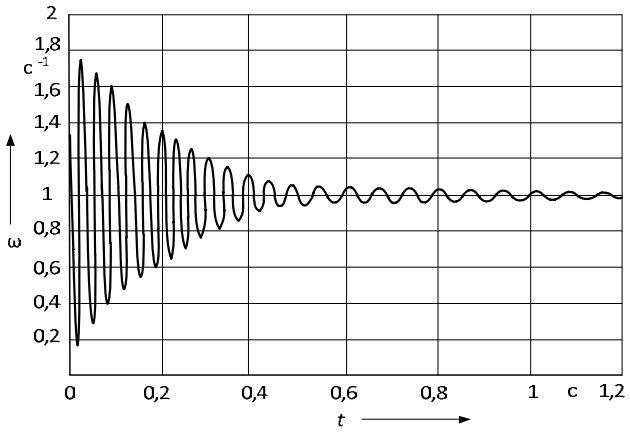
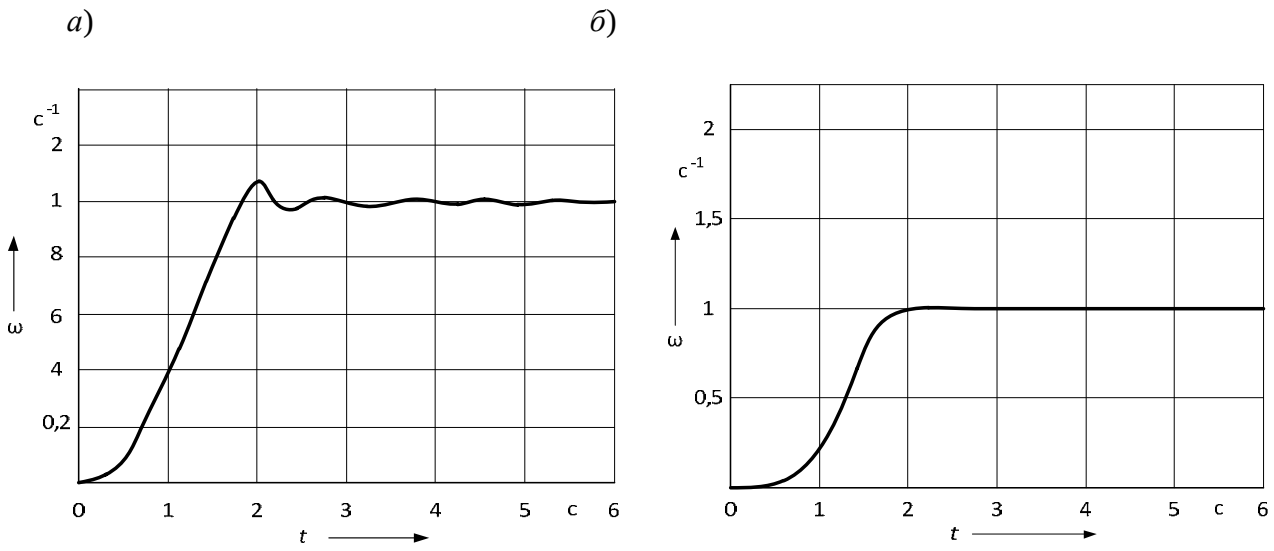


Рисунок 6.5 – Переходные процессы по скорости перемещаемого груза (регулятор скорости пропорционально-интегральный; частота среза равна 15 рад/с) при единичном задающем сигнале

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета
http://e.biblio.bru.by/



а – с учетом упругих связей; *б* – без учета упругих связей

Рисунок 6.6 – Переходные процессы по скорости кабины(регулятор скорости пропорционально-интегральный; частота среза системы равна 10,67 рад/с) при времени пуска 2 с

6.2 Порядок выполнения работы

1 По таблице 6.1 в соответствии с вариантом выбрать значения постоянных времени и получить передаточную функцию, описывающую механическую подсистему электропривода перемещения груза.

2 Рассчитать параметры ПИ-регулятора и П-регулятора привода.

3 Смоделировать электропривод (см. рисунки 6.1 и 6.2) при разных моментах нагрузки (задается преподавателем) и разных временах пуска и торможения (задается преподавателем).

Контрольные вопросы

1 Принцип частотного регулирования скорости в приводах переменного тока.

2 Необходимость формирователя напряжения в приводах подъемных механизмов.

3 Особенности реализации механической подсистемы в устройствах подъема грузов.

4 Принципы настройки регуляторов в регулируемых электроприводах переменного тока.

Список литературы

1 **Егоров, О. Д.** Робототехнические мехатронные системы / О. Д. Егоров, Ю. В. Подураев, М. А. Буйнов. – Москва : Высшая школа, 2015. – 340 с.

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета
http://e.biblio.bru.by/