Содержание

Введение

1. Анализ исходных данных и выбор схемы

2. Принцип работы устройства

3. Расчёт цепи схемы управления

3.1. Расчёт генератора линейно изменяющегося напряжения

3.2. Расчёт сравнивающего устройства

3.3. Расчёт исполнительного устройства

4. Построение механической и регулировочной характеристик электродвигателя

Заключение

Список используемой литературы

# Введение

Машины постоянного тока до сих пор активно применяются в качестве двигателей (ДПТ) и генераторов (ГПТ). ДПТ имеют хорошие регулировочные свойства, значительную перегрузочную способность и сравнительно мягкие механические характеристики, а кроме того мало подвержены внешним воздействиям. Благодаря этому они активно используются в промышленности, особенно в областях регулирования и системах автоматики.

Исполнительные двигатели постоянного тока (ИДПТ) являются одной из наиболее распространенных составных частей исполнительных механизмов. Поэтому двигатель является либо чисто инерционным звеном, либо инерционным звеном, соединенным совместно с другими звеньями, он обладает способностью сглаживать пульсации управляющего напряжения *Uу*, усредняя его. Это позволяет использовать регулирующие устройства, работающие в импульсном режиме (управляемые выпрямители, широтно-импульсные усилители и т.п.), когда изменения напряжения управления, непрерывно подводимого к двигателю, а путем изменения времени, в течение которого к двигателю подводится накопительное напряжение.

Конструкция ДПТ сложнее и их стоимость выше, чем асинхронных двигателей. Однако в связи с широким применением автоматизированного электропривода и тиристорных преобразователей, позволяющих питать электродвигатели постоянного тока регулируемым напряжением от сети переменного тока, эти электродвигатели широко используют в различных отраслях народного хозяйства.

Эта работа направлена на построение устройства управления (УУ) к одному из многих представителей класса ИДПТ. Здесь будут рассматриваться основные принципы построения УУ ИДПТ и приведен расчет одного устройства для двигателя с мощностью *P* = 75 Вт и скоростью вращения *n* = 5000 об/мин.

**1. Анализ исходных данных и выбор схемы**

В данной курсовой работе предлагается рассчитать схему импульсного управления исполнительным двигателем постоянного тока (ИДПТ).

Наиболее подходящим по бланку задания двигателем является СЛ-525, т.к. у него высокая продолжительность непрерывной работы (2000 ч.), высокий КПД (59%). В дальнейшем будем использовать этот двигатель, все расчеты ведутся по его данным.

В соответствии с бланком задания двигатель СЛ-525 питается от двух независимых источников напряжения (двигатель с независимым возбуждением), которые подают энергию соответственно на якорную обмотку и обмотку возбуждения. Из этого следует, что принципиально возможно два варианта управления: якорное, когда обмотка возбуждения подключена постоянно к источнику с неизменным напряжением (а на якорную обмотку подают напряжение управления только при необходимости вращения двигателя) и полюсное, при этом якорная обмотка подключена на источник с неизменным напряжением, а напряжение, подводимое к обмотке возбуждения, изменяется. Фактически при полюсном управлении изменяется магнитный поток. Данный способ применяется сравнительно редко, т.к. при Uв = 0 в ИДПТ имеется остаточный поток, а, следовательно, и небольшой электромагнитный момент, приводящий к самоходу двигателя, что недопустимо в точных системах, где применяются двигатели. Кроме того, при данном способе управления регулировочные характеристики могут быть неоднозначны и нелинейны, что также можно отнести к недостаткам этого способа управления.

Поэтому в основу расчета следует положить принцип якорного управления двигателем. Одним из недостатков этого способа является большая мощность управления. Именно с целью ее уменьшения и следует использовать принцип импульсного управления двигателя по якорной обмотке.

При таком способе двигатель управляется напряжением, подводимым к якорю с определенной длительностью. Для оценки длительности импульса вводится относительная величина, равная и называемая коэффициентом заполнения (обратная величина - - скважность).



В этой формуле tu - время импульса, Т - период следования импульсов.

Работа двигателя при импульсном управлении состоит из чередующихся периодов разгона и торможения, причем периоды разгона должны быть малы по сравнению с электромеханической постоянной времени двигателя - тогда скорость вращения якоря w(t) не успевает к концу периода достигнуть установившегося значения.

Мгновенная скорость якоря электродвигателя будет непрерывно колебаться относительно среднего значения wСР, которое при неизменных моменте нагрузки и напряжении возбуждения однозначно определяется коэффициентом заполнения τ. Причем амплитуда этих колебаний тем меньше, чем больше отношение электромеханической постоянной двигателя к периоду следования импульсов Т. С ростом частоты управляющих импульсов и с увеличением электромеханической постоянной времени амплитуда колебаний скорости уменьшается. Среднее значение скорости увеличивается с ростом относительной продолжительности импульсов, подаваемых на электродвигатель, и зависит от момента нагрузки и напряжения импульса Umax, что необходимо учитывать при применении данного способа управления.

Вообще, к импульсному регулированию существуют два подхода:

* При постоянном τ изменяется напряжение питания, тогда управление сводится к подаче энергии в цепь якоря, изменяемой по величине, но в фиксированные моменты времени. Способ практически не используется, т.к. имеется полная аналогия якорного управления.
* Собственно импульсное регулирование, которое в свою очередь можно подразделить на частотно-импульсное и широтно-импульсное управление.

Названия этих методов говорят сами за себя.

Так при частотно-импульсном регулировании *τ* изменяется с изменением частоты следования импульсов. При этом длительность импульса не изменяется. По абсолютной величине она остается постоянной.

При широтно-импульсном регулировании частота импульсов остается постоянной, а *tu* изменяется.

Для дальнейшего рассмотрения и последующего расчета следует принять именно этот способ.

# 2. Принцип работы устройства

Структурную схему наиболее просто и часто встречающегося варианта широтно-импульсного регулирования работы двигателя можно увидеть на рис.1.

ГЛИН

Источник опорного напряжения

Устройство сравнения

Усили-тель

Квантую-щий элемент

Якорная обмотка двигателя

Исполнительный орган

Uоп

U(в)

Рисунок 1 - Структурная схема широтно-импульсного регулирования

На данном рисунке ГЛИН - это генератор линейно изменяющегося напряжения. С помощью него создается частота следования импульсов. Диаграммы, иллюстрирующие работу устройства, изображены на рис.2,3.

Схема работает следующим образом. ГЛИН подает импульсы на один из входов устройства сравнения - *U(t)*, на другой вход поступает сигнал постоянного уровня *Uоп* (рис.2, 3а). В случае, если *U(t) Uоп*, на выходе устройства сравнения возникает последовательность импульсов прямоугольной формы. Если же *U(t) > Uоп*, на выходе наблюдается низкий уровень сигнала (логический ноль). Импульсы возникают с частотой ГЛИН. Длительность импульсов изменяется посредством регулирования величины опорного напряжения (рис.2, 3б). Источник опорного напряжения реализуется с помощью потенциометра. В качестве устройства сравнения используется компаратор напряжения. Учитывая, что сигнал, выдаваемый компаратором невелик (*I* = 0,005А), его необходимо усилить. Для этого в схеме предусмотрен усилитель. В таком усилителе, как в обычном импульсном, нельзя использовать в качестве разделительных элементов конденсаторы и трансформаторы, поскольку вместе с изменением длительности импульса при неизменной частоте изменяется постоянная составляющая, которая не передается разделительными элементами. Таким образом, данный усилитель представляет собой усилитель постоянного тока. В данной курсовой работе усилитель выполнен на базе ключей с резистивной связью.



Рисунок 2

Рисунок 3

a

a

о

о

t

t

t

б

в

о

U(t)

Uk(t)

w(t)

t

t

t

б

в

о

о

о

U(t)

Uk(t)

w(t)

Uоп

Uоп

Импульсный сигнал, усиленный усилителем, управляет работой квантующего элемента, который является электронным прибором (транзистором или тиристором), работающем в ключевом режиме. Когда ключ открыт, напряжение от источника питания поступает на якорную обмотку двигателя. Скачок напряжения в виде импульса приводит к разгону двигателя, а пауза определяет режим торможения двигателя. Посредством чередования разгона и торможения двигателя устанавливается средняя скорость вращения его вала. Причем пульсации скорости являются незаметными благодаря инертности двигателя и достаточно большой частоте следования импульсов (рис.2в, 3в).

В данной схеме в качестве источника переменного напряжения используется именно ГЛИН, т.к. именно он обеспечивает плавность и линейность регулирования подачи импульсов. Если бы в качестве такого источника был использован, например, источник напряжения с сигналом вида U(t) = |sin wt|, то ближе к амплитуде данного сигнала имелась бы существенная нелинейность, и регулирование не было бы плавным.

**3. Расчет цепи схемы управления**

3.1 Расчет генератора линейно изменяющегося напряжения

Линейно изменяющимся (пилообразным) напряжением (ЛИН) называют импульсное напряжение, которое в течение некоторого времени изменяется практически по линейному закону, а затем возвращается к исходному уровню.

Как правило, высококачественные ГЛИН создают на основе операционных усилителей. Мы будем использовать схему изображенную на рис.4



Рисунок 4 - Схема ГЛИН

Как видно из схемы на рис.4.

При исключении из данной схемы тиристора, подключенного параллельно конденсатору C, получается интегратор. Выходное напряжение определяется выражением:



Когда выходное напряжение превысит напряжение *Uоп*, тиристор откроется и конденсатор *С* разрядится через него. При этом напряжение *UC = Uвых* снизится до уровня напряжения *Uоткр* на тиристоре в открытом состоянии, после чего тиристор закроется, и процесс зарядки конденсатора постоянным током повторится. Очевидно, для того чтобы операционный усилитель не входил в насыщение, необходимо выполнить условие [2,стр.212].



Далее выберем операционный усилитель К140УД5Б, он имеет следующие основные характеристики [3, стр.403]

Коэффициент усиления не менее *Кус* = 3 **⋅** 104

Входное дифференциальное сопротивление *Rвх.диф*=2,5 МОм

Напряжение питания *Uпит* = ±5..±18 В

Максимальное выходное напряжение *Uвых max* = ±11 В

Сопротивление нагрузки, не менее *Rн*=1 кОм

Так же подберем тиристор. Наиболее подходящим является тиристор КУ103К обладающий следующими основными характеристиками [6]

Напряжение в открытом состоянии *Uоткр*= 1 В

Обратное напряжение *Uобр* =10 В

Прямой ток управляющего электрода *Iпр*=15 мА

Исходя из величины *Iпр* зададимся *Uоп* и *Rб*, при этом учтем условие

, т.е .



Тогда, если ,



то получаем .



Как известно управление ДПТ, как правило, осуществляют на частотах *f =* 10..1000 Гц. Тогда по формуле:



получим при *C* = 0.1 мкФ, *f* = 900 Гц , *E* = 15 В тогда *R* равно:



# 3.2 Расчет сравнивающего устройства

Сигнал с выхода ГЛИН (операционного усилителя) подается на один из входов компаратора напряжения. Наиболее подходящим компаратором является К554СА2, который имеет следующие основные характеристики [5, стр.158].

Коэффициент усиления *К*u = 75**⋅**103

Напряжение высокого уровня (лог. 1) *U*1 = 2,5 ÷ 4 В

Напряжение низкого уровня (лог. 0) *U*0 = 0÷0.3 В

Напряжение питания *U*пит = +12 ; -6 В

Минимальное сопротивление нагрузки *R*n min = 2 кОм



Рисунок 5 - Схема сравнивающего устройства

Рассчитаем работу компаратора: пусть *Е*=19 В. Для этого необходимо рассчитать полюса подстроечного (переменного) сопротивления *R.* Обозначим полюс, соединяющий *+Е* с неинвертирующим входом компаратора, как *R’*, а другой (*+Е* - земля) – как *R”.* Входным током компаратора можно пренебречь ввиду большого входного сопротивления. Т.к *Uвх*, на входе компаратора не превосходит 10В, необходимо, чтобы *Umax R”*=10 В, тогда получаем т.к.

,то получаем при R” = 100 кОм,



Сопротивление лучше всего взять СП-2-3б из ряда Е6, сопротивление из этого ряда наиболее распространены, имеют достаточную мощность и хорошие характеристики (точность подстройки 1%, кОм).



# 3.3 Расчет исполнительного устройства

Исполнительное устройство в данной схеме представляет собой электрический ключ. Построение электрического ключа на основе составного биполярного транзистора обусловлено следующими факторами:

1) Отсутствие реверса в разрабатываемой схеме.

2) Сравнительная простота реализации электрического ключа на биполярном транзисторе.

3) Управление состоянием транзисторного ключа осуществляется с помощью управляющего входного сигнала.

4) Малый выходной ток компаратора.

5)Требования к минимальному сопротивлению нагрузки компаратора.

Реализация электрического ключа на основе составного биполярного транзистора приводит к уменьшению мощности, получаемой от предыдущего звена схемы. В этом случае пара транзисторов VT1, VT2 работает как один, но с коэффициентом усиления по току, равным:

.



При этом транзистор VT1 потребляет меньшую мощность и, как правило, обладает значительным коэффициентом по току.



Рисунок 6 - Составные транзисторы.

Выберем составные n-p-nтранзисторы, подключенные по схеме Дарлингтона. При работе составных транзисторов в ключевом режиме их включают обычно в цепь по схеме с общим эмиттером, как изображено на рис.6. Двигатель, которым необходимо управлять, как правило, включают в коллекторную цепь транзисторов. А для компенсации противо ЭДС якоря двигателя параллельно коллекторной цепи транзисторов включают диод VD1. Например, серии Д7Б с *Uобр max* = 100 В. Управляющий сигнал подают в цепь базы. При работе транзисторов в ключевом режиме цепь между коллектором и эмиттером может быть либо замкнута, либо разомкнута.



Рисунок 7 - Схема транзисторного ключа.

Т.к мы выбрали двигатель СЛ-525 [1], то получаем следующие входные данные для транзисторного ключа:

*Uном*= 110 В

*Pном*= 75 Вт

*Iном* = 1,2 А

Отсюда можем найти



Исходя из *Uном*и *Iном*выберем транзистор VT2. Наиболее подходящим транзистором оказался: n-p-n транзистор КТ809А, который имеет следующие характеристики [7, стр.429]:

Статический коэффициент передачи тока в схеме с ОЭ = 30



Обратный ток коллектора *IK0 max* = 3 мА

Постоянный ток коллектора *IK* = 3 А

Постоянное напряжение эмиттер-база *UБЭ max* = 4 В

Постоянный ток базы *IБ* = 1,5 А

Постоянное напряжение коллектор-эмиттер *UКЭ max* = 400 В

Постоянная рассеиваемая мощность коллектора *РК max* = 40 Вт

Рабочая температура pn– перехода *Tn раб* = - 60 +1250С

Максимальная температура перехода *Тп max* = 1500С

Зададимся значением *Еп*, пусть *Еп*= 110 В. Определим параметры схемы, необходимые для обеспечения режима насыщения транзистора.



Рисунок 8 - Выходные ВАХ транзистора КТ809А

Построим нагрузочную прямую по постоянному току. Далее имеем



При этом ток в коммутируемой цепи не зависит от параметра транзистора, а зависит только от параметров внешней цепи ( и ). Для обеспечения режима насыщения и крайнего верхнего положения рабочей точки необходимо в цепь базы транзистора подать соответствующий управляющий сигнал.



Минимальное значение тока базы должно быть не меньше . В общем случае:



Для реального тока базы должно выполнятся, условие, т.е. реальный ток базы больше или равен току насыщения базы. И, как правило, с целью повышения надежности работы транзисторного ключа при различных температурах, а также для удобства замены транзистора в случае выхода из строя, эти величины связывают через степень насыщения *S*. Но в нашем случае, т.к. мы используем схему на составных транзисторах, то достаточно задаться значением *S*, только для транзистора VT1, который будем рассчитывать далее. Значит для данного транзистора (VT2) будем иметь . Теперь из входных характеристик можно определить минимальное напряжение, которое необходимо подать на вход ключа для того, что бы перевести транзистор в режим насыщения.



Рисунок 9 - Входные ВАХ транзистора КТ809А

Как видно . Из расчетов для транзистора VT2 окончательно получаем,



, , .



В качестве транзистора VT1 используется транзистор КТ603А со следующими основными характеристиками [ 7, стр.317]:

Статический коэффициент передачи тока в схеме с ОЭ = 80



Обратный ток коллектора(при Тс = -400 ÷ +250С) IKO max = 1 мкА

Постоянный ток коллектора IK max = 1 А

Постоянный ток базы IБ max = 0,2 А

Постоянное напряжение эмиттер-база UБЭ max = 7 В

Постоянное напряжение коллектор -эмиттер UКЭ max =120 В

Постоянная рассеиваемая мощность коллектора РК max = 0,8 Вт

Максимальная температура коллекторного перехода Тп max = 1500С

Значит, общий коэффициент усиления по току базы будет: =30**⋅**80**=**2400



Для транзистора VT1 получаем, т.к. , то должно выполняться следующее соотношение: ==70 мА, где - ток базы транзистора VT2. Значит по уже известным формулам можно записать:



Зададимся значением степени насыщения S = 2, тогда получим мА, а затем построим выходные ВАХ для транзистора КТ603А.



Рисунок 10 - Входные ВАХ транзистора КТ603А

Получим, что . Рассчитаем необходимое сопротивление :



В режиме запирания транзистора в силу ничтожно малой величины теплового тока коллектора, на вход транзисторного ключа можно не подавать отрицательное запирающее напряжение. Для запирания транзистора будет достаточно и нулевого уровня напряжения.

**4. Построение механической и регулировочной характеристик электродвигателя**

При описании работы двигателя в установившемся режиме используют механическую и регулировочную статические характеристики.

Под *механической характеристикой* понимают зависимость установившейся средней частоты вращения ротора от среднего значения момента при неизменной отрицательной продолжительности импульсов *τu*.

Под *регулировочной характеристикой* понимают зависимость установившейся средней частоты вращения ротора от относительной продолжительности импульсов *τu* при неизменном среднем моменте на валу двигателя.

В зависимости от соотношения электромагнитной постоянной времени обмотки якоря *τя* и величины *Тu*, от схемы управления, момента нагрузки и тока в цепи якоря возможны два основных режима работы двигателя при импульсном управлении: режим прерывистого тока и режим непрерывного тока.

*Режим прерывистого тока* возможен при *τя< Тu* и характеризуется тем, что во время паузы *tn* ток в якоре равен нулю. В технических условиях на двигатель не было указано индуктивности его обмотки, поэтому можно предположить, что она очень мала, и *τя*заведомо удовлетворяет указанному условию. В этом случае характеристики двигателя определяются следующими выражением:

(\*)



где - средняя частота вращения вала двигателя;



*Мср : τu* - среднее за период *Тu* значение вращающего момента.

Все величины - в относительных единицах.

Выражение (\*) при *τu*=const представляет собой уравнение механической характеристики, а при *Мср*= const уравнение регулировочной характеристики. Из анализа этого выражения можно сделать выводы:

1. Механические характеристики линейны и начинаются из одной общей точки холостого хода (=1, *Мср*=0). Жесткость механических характеристик, т.е. отношение приращения момента к приращению частоты вращения ротора, уменьшается по мере уменьшения τu.



1. Регулировочные характеристики нелинейны. Регулирование возможно только при *Мср ≠* 0, т.к. при *Мср* = 0 установившееся значение средней частоты вращения ротора =1, при любом τu.



Согласно бланку задания нам требуется построить характеристики двигателя в абсолютных единицах. В числе прочих справочных данных для двигателя имеются следующие:

Номинальная частота вращения *nном*=4400 об/мин

Номинальный момент на валу двигателя *Mном*=0,196 Н∙м

Пусковой момент *Mпуск*=0,49 Н∙м

Теперь запишем уравнение (\*) с учетом того что

, а



(\*\*)



теперь подставив в уравнение (\*\*) точки (*Mном; nном*) и (*Mпуск;0*)(условие равенства скорости двигателя 0 в момент пуска), и для простоты вычислений приняв =1, получаем:



об/мин



Теперь мы можем построить механические и регулировочные характеристики для данного двигателя.

Построим механические характеристики для =0,5, =0,25 и =0,1 проще всего это сделать, воспользовавшись уравнением (\*\*) приняв при этом *n*=0.Найдем координаты первой точки:



|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 1 | 0.5 | 0.25 | 0,1 |
| n,об/мин | 0 | 0 | 0 | 0 |
| M ,Н∙м | 0,49 | 0,245 | 0,1225 | 0,049 |

Что касается второй точки то, как следует из свойств механической характеристики описанных выше, это будет точка (0,).Теперь построим механические характеристики.



Рисунок 11 - Механические характеристики.

Теперь построим регулировочные характеристики, для этого воспользуемся уравнением (\*\*). Составим следующую таблицу:

При Н∙м



|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1 |
| n,об/мин | 0 | 3666 | 4888 | 5499 | 5866 | 6111 | 6285 | 6416 | 6518 | 6599 |

При Н∙м



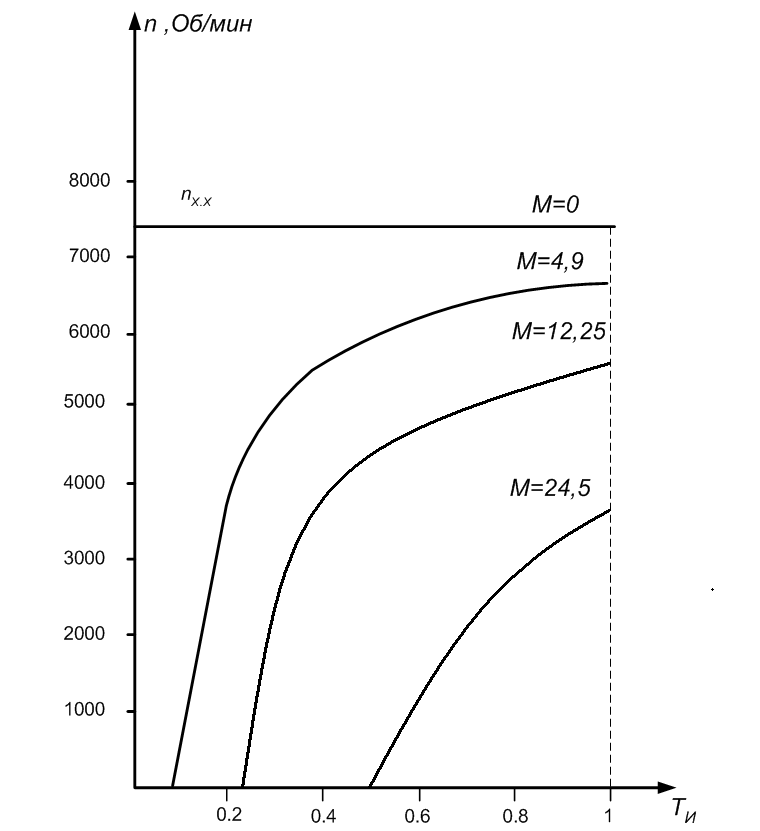
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 0,25 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1 |
| n,об/мин | 0 | 1222 | 2750 | 3666 | 4277 | 4714 | 5041 | 5296 | 5500 |

При Н∙м



Теперь построим регулировочные характеристики двигателя:

Рисунок 12 - Регулировочные характеристики.



Далее изобразим относительный график заполнения импульса и частоты вращения ротора при высоте импульсов *Uном* и моменте на валу двигателя *Mном*.



Рисунок 13 - Относительный график заполнения импульса и частоты вращения ротора

Где величины *n1*и *n2* определяются по формулам:



Где - среднее в интервале значение вращающего момента двигателя, отн.ед.; -статический момент сопротивления на валу отн.ед.; -момент инерции ротора;



-постоянная машины.



# Заключение

В результате выполнения курсовой работы было рассчитано устройство импульсного управления исполнительным двигателем постоянного тока. В основу расчета лег принцип широтной модуляции сигнала. Применение интегральных схем значительно упростило устройство и повысило его надежность.

При расчете было сделано допущение о малой индуктивности якоря, и весь расчет велся на активное сопротивление обмотки двигателя.

Кроме того, ввиду большого быстродействия транзисторных ключей и сравнительно малой частоты генерирования линейно изменяющегося напряжения переходные процессы в электронных компонентах также не принимались в рассмотрение, и весь расчет велся для устойчивого режима.

В ходе исследования работы двигателя при переменном *τu*и различных значениях момента *М* были построены механические и регулировочные характеристики электродвигателя в абсолютных единицах, по которым можно определить характер работы двигателя.

# Список используемой литературы

1. Копылов. Справочник по электрическим машинам. – М.:Энергоатомиздат, 1989г – 688с.
2. Основы промышленной электроники. Под ред. проф. В.Г.Герасимова. - М.: Высшая школа, 1986г - 336с.
3. Интегральные микросхемы. Справочник. Под ред. Б.В.Тарабрина. - М.: Радио и связь, 1983г -528с.
4. Брускин Д.Э., Зорохович А.Е., Хвостов В.С. Электрические машины и микромашины. – М.: Высшая школа, 1990г -528с.
5. Подлипенский В.С., Петренко В.Н.Электромагнитные и электромашинные устройства автоматики. – К.: Вища школа, 1987г -592с.
6. Справочник по полупроводниковым диодам, транзисторам и интегральным схемам. Под общ. ред. Н.Н.Горюнова. -М.: Энергия, 1976г -744с.
7. Транзисторы для аппаратуры широкого применения. Справочник. Под ред. Б.Л.Перельмана. -М.: Радио и связь, 1981г -656с.
8. Лукашенков А.В. Электронные устройства автоматики и телемеханики. Лабораторная работа №16. Расчет и исследование бестрансформаторных усилителей мощности. Методические указания. -Тула.: ТулПИ, 1988г -32с.