Выполнение контрольной работы заключается в составлении ответов на задания, указанные в соответствии с заданным вариантом. Ответы должны быть полными, с соответствующими пояснениями, с указанием необходимых формул, с разъяснением физических процессов в элементах автоматизированного электропривода, с представлением необходимых графических зависимостей, с учетом требований ГОСТ на обозначения в электрических схемах и требований по оформлению работ, предъявляемых в негосударственном частном образовательном учреждении высшего образования

Номер варианта обучающийся получает от преподавателя.

Контрольные работы выполняются в течение семестра и представляются преподавателю до экзаменационной сессии.

В связи с неоднозначностью задания к КР по дисциплине «Наладка и эксплуатация приводов» рекомендуется принять следующий набор вопросов в КР 1-4, табл. 1.

Если уже выбраны другие вопросы, переделывать не надо, оставьте выбранные Вами вопросы, по одному вопросу в каждой контрольной работе. Расчетные задачи исключил, однако, если выполнены расчеты для конкретного двигателя по месту Вашей работы, оставьте их.

Табл.1

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Последняя цифра студ билета | КР №1 | КР №2 | КР №3 | КР №4 |
| 3 | 8 | 5 | 6 | 1 |

***Перечень контрольных работ***

Контрольная работа №1

НАЛАДКА КОНТУРА РЕГУЛИРОВАНИЯ ЯКОРНОГО ТОКА В СИСТЕМЕ ТП-Д

1. Выписать параметры электродвигателя в соответствии с номером варианта.
2. Выбрать тиристорный преобразователь для электродвигателя.
3. Начертить силовую схему системы ТП-Д с цепями обратных связей.
4. Начертить структурную схему системы ТП-Д.
5. Рассчитать параметры объекта регулирования системы ТП-Д (тиристорного преобразователя, якорной цепи двигателя и электромеханического преобразователя).
6. Определить передаточную функцию регулятора тока якоря для настройки на модульный оптимум.
7. Рассчитать параметры регулятора тока якоря.
8. Начертить структурную схему контура регулирования якорного тока с рассчитанными параметрами.
9. Реализовать регулятор тока якоря на операционном усилителе.
10. Начертить принципиальную электрическую схему РТ.

Контрольная работа №2

НАЛАДКА КОНТУРА РЕГУЛИРОВАНИЯ СКОРОСТИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ В СИСТЕМЕ ТП-Д

1. Начертить структурную схему контура регулирования скорости с внутренним контуром регулирования якорного тока (использовать данные контрольной работы №1).
2. Определить передаточную функцию регулятора скорости при настройке контура на модульный оптимум.
3. Рассчитать параметры регулятора скорости, построить зависимость выходного напряжения РС от ошибки на входе с учетом ограничения выходного напряжения РС.
4. Реализовать регулятор скорости на операционном усилителе.
5. Начертить принципиальную электрическую схему РС.
6. Рассчитать статическую просадку скорости при величине нагрузки на валу, равной номинальному моменту двигателя, сравнить ее с просадкой скорости в разомкнутой системе.
7. Определить передаточную функцию регулятора скорости при настройке контура регулирования на симметричный оптимум.
8. Рассчитать параметры регулятора скорости.
9. Реализовать РС на операционном усилителе, с учетом добавочного фильтра по заданию на входе РС.
10. Начертить принципиальную электрическую схему РС.
11. Рассчитать параметры задатчика интенсивности скорости для обеспечения заданного ускорения.
12. Реализовать задатчик интенсивности скорости на операционных усилителях.
13. Начертить принципиальную электрическую схему задатчика интенсивности.

Контрольная работа №3

НАЛАДКА СИСТЕМЫ СКАЛЯРНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПЧ-АД

1. Выписать параметры асинхронного двигателя в соответствии с номером варианта.
2. Рассчитать параметры Т-образной схемы замещения фазы асинхронного двигателя.
3. Начертить функциональную схему системы скалярного управления ПЧ-АД.
4. Рассчитать время пуска для наладки задатчика интенсивности на входе ПЧ, обеспечивающего заданную величину динамического момента.
5. Определить значение минимальной частоты исходя из условия обеспечения заданной величины пускового момента.
6. Рассчитать величину начального подъема напряжения характеристики функционального преобразователя.
7. Начертить характеристику функционального преобразователя для нагрузки Мс = const (подъемно – транспортные механизмы с учетом ограничения выходного напряжения на уровне номинального.

Контрольная работа №4

НАЛАДКА СИСТЕМЫ ВЕКТОРНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПЧ-АД

1. Начертить структурную схему объекта регулирования ПЧ-АД в системе векторного управления с ориентацией по вектору потокосцепления ротора.
2. На основании данных контрольной работы №3 рассчитать параметры структурной схемы объекта регулирования.
3. Рассчитать параметры контурных регуляторов в системе векторного управления с ориентацией по вектору потокосцепления ротора.
4. Начертить структурную схему системы векторного управления с ориентацией по вектору потокосцепления ротора с рассчитанными параметрами.
5. Описать работу системы векторного управления в режиме пуска, торможения, наброса (сброса) нагрузки.

***Методические указания по выполнению практических и контрольных работ***

1. Организация самостоятельной работы при изучении дисциплины

Методические указания предназначены для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине Наладка и эксплуатация систем управления электроприводов при подготовке к лекционным, практическим занятиям и выполнении контрольных работ.

В основной части методических указаний представлен теоретический материал, необходимый для качественного усвоения изучаемого материала, в приложениях представлены варианты заданий для практических и контрольных работ, технические характеристики электродвигателей, преобразователей, приведены примеры расчетов и реализации регуляторов, датчиков, функциональных преобразователей.

Перед выполнением практических занятий и контрольных работ, обучающийся должен внимательно изучить теоретический материал по теме самостоятельной работы. При этом используется материал лекций и содержание учебных пособий, представленных в списке основной и дополнительной литературы. После этого обучающийся выписывает технические данные для своего номера варианта и выполняет практическое задание или контрольную работу.

1. Оформление контрольных работ и практических занятий

При оформлении контрольных работ и практических занятий необходимо выполнять следующие требования:

* все расчеты выполняются в основных единицах измерения международной системы;
* все позиции формулы должны быть расшифрованы;
* нумеруются только те формулы, на которые далее следуют ссылки в тексте;
* при выполнении расчетов сначала приводится формула в общем виде, а затем - в числовом выражении для всех позиций формулы;
* рисунки и таблицы должны следовать сразу за первой ссылкой на них в тексте;
* в названиях разделов и подразделов сокращения не допустимы;
* литературные источники должна иметь сквозную нумерацию, если в тексте нет ссылок на соответствующую литературу, ее не должно быть в списке использованных источников;
* схемы выполняются с соблюдением стандартных условных графических изображений.

1. Методические указания по выполнению практических занятий и контрольных работ

3.1. *Объект регулирования в системе ТП-Д*

* + 1. 3.1.1 Технические данные электродвигателя.

Полные технические данные и параметры электродвигателя приведены в каталогах и справочниках. Для системы двухзонного регулирования скорости необходимо привести кривую намагничивания, для построения которой можно использовать универсальную кривую намагничивания электродвигателя (приложение А) .

3.1.2. Выбор и характеристика тиристорного преобразователя

Выбор тиристорного преобразователя (ТП) проводится в соответствии с методиками, рассмотренными в курсах «Преобразовательная техника» и «Теория электропривода».

Выбор ТП производится по номинальным данным электродвигателя в соответствии с соотношениями:

*, *

где **– номинальное выпрямленное напряжение ТП, В;

** – номинальный выпрямленный ток ТП, А;

** – перегрузочная способность по току двигателя и ТП соответственно.

Технические данные по ТП приведены в приложении Д. Для питания двигателя выбирается реверсивный ТП с раздельным управлением вентильными группами и мостовой схемой выпрямления. Напряжение питающей сети 380 В (0,4 кВ), поэтому для электродвигателей с номинальным напряжением 220В необходимо применить трансформаторный вариант питания ТП, а при Uндв = 440 В применить подключение ТП к питающей сети 380В через токоограничивающий реактор.

При выполнении практических занятий и контрольных работ необходимо привести принципиальную электрическую схему силовых цепей электропривода, особое внимание уделить месту подключения датчиков обратных связей и элементам защиты ТП и двигателя:

* защита от аварийных токов в цепи переменного тока;
* защита от перенапряжений на обмотках трансформатора и тиристорах;
* защита от аварийных токов в цепи выпрямителя;
* защита от включения ТП на вращающийся двигатель;
* защита от обрыва поля и перенапряжений на обмотке возбуждения двигателя, и др. виды защит.

Кроме того, необходимо привести тип и технические данные трансформатора (реактора) для расчета параметров объекта регулирования.

3.1.3. Выбор и характеристика тиристорного возбудителя

Для двухзонной СУЭП скорости необходимо выбрать нереверсивный тиристорный возбудитель (ТВ), который может входить в состав комплектного тиристорного электропривода. Выбор ТВ производится из условий:

*, *,

где **– номинальные напряжение и ток ТВ;

** – номинальные напряжение и ток возбуждения двигателя;

** – коэффициент форсировки возбуждения.

Для обеспечения максимального быстродействия контура регулирования тока возбуждения (потока) необходимо принять коэффициент форсировки α = 3 – 5, для чего нужен ТВ с максимально возможным выпрямленным напряжением, т.е. Udнв = 440 – 460 В.

Принципиальная электрическая схема ТВ должна быть совмещена с принципиальной электрической схемой силовой части электропривода.

3.1.4. Основные параметры объекта регулирования

На рис.1 – 4 представлены структурные схемы объектов регулирования системы ТП – Д.

* *Тиристорный преобразователь и возбудитель.*

Коэффициенты усиления ТП и ТВ рассчитываются по зависимости Кп=Ed0/Uуmax.

С ТП и ТВ совмещен эквивалентный фильтр прямого канала регулирования с некомпенсируемой постоянной времени Тμ.



В случае применения адаптивного регулятора тока или стандартного регулятора тока некомпенсируемую постоянную времени ТП и ТВ можно принять одинаковыми в пределах 0,005 – 0,01 с.

В случае применения двойного регулятора тока (двойной контур регулирования якорного тока) ТП представляется безынерционным звеном, а эквивалентный фильтр прямого канала реализуется первым (внутренним) замкнутым контуром регулирования тока. Здесь реализовано предельное быстродействие и некомпенсируемая постоянная времени для шестипульсной схемы ТП составляет 3,3 мс. Некомпенсируемая постоянная времени ТВ в этом случае лежит в пределах 0,005 – 0,01 с.

* **Якорная цепь электропривода**

В СУЭП скорости и позиционной СУЭП применяют двигатели серии Д, которые можно включать без сглаживающего дросселя. В двухзонной СУЭП при использовании двигателей серии П относительно небольшой мощности (без компенсационной обмотки) индуктивности цепи выпрямленного тока (якорь двигателя и трансформатор или реактор) обычно достаточно для снижения пульсаций выпрямленного тока до (10 – 15)% и сглаживающий дроссель также не нужен.



Поэтому эквивалентное сопротивление якорной цепи системы ТП-Д можно определить по формуле:

*,*

где **– активное сопротивление якоря двигателя, Ом;

β = 1,24 – 1,32 – коэффициент приведения сопротивления к рабочей температуре двигателя;

** - активное сопротивление якорной обмотки и обмотки дополнительных полюсов двигателя при температуре (20 – 25)оС, Ом;

aв = 2 – схемный коэффициент для мостовой схемы выпрямления;

**– активное сопротивление трансформатора (реактора), Ом;

** – потери короткого замыкания трансформатора, Вт;

** – номинальный фазный ток трансформатора, А;

**– индуктивное сопротивление трансформатора, Ом;

** – полное сопротивление фазы трансформатора, Ом;

ек% - ЭДС короткого замыкания трансформатора, %;

U2фн – номинальное вторичное фазное напряжение трансформатора, В.

Эквивалентная индуктивность якорной цепи системы ТП – Д определяется по формуле:

 ,

где La = 0,6\*Uн/(рп\* Iн\*ωн) – индуктивность якоря некомпенсированного двигателя, Гн;

Uн, Iн ,ωн,рп – номинальные напряжение, ток, частота вращения и число главных полюсов двигателя, соответственно;

Lт = Xт/(2\*π\*fс) – индуктивность трансформатора (реактора), Гн.

Эквивалентная постоянная времени Тэ якорной цепи системы ТП – Д определяется по формуле:

.

Электромагнитная постоянная времени двигателя (необходима в СУЭП, где применяется датчик ЭДС) рассчитывается по формуле:

.

* *Механическое звено электропривода.*

Суммарный момент инерции электропривода JΣ , приведенный к валу двигателя, определяется выражением:

,

где Jдв – момент инерции двигателя, кг\*м2;

Jмех – момент инерции механизма, кг\*м2.

Электромеханическая постоянная времени *Т*мэлектропривода рассчитывается по формуле:

,

где с = кФн = (Uн - Iн\*Ra)/ ωн – постоянная двигателя, Вс.

Электромагнитная постоянная времени цепи возбуждения двигателя рассчитывается по формуле:



где рп– число пар главных полюсов двигателя,

aв – число параллельных ветвей обмотки возбуждения;

Rв - активное сопротивление цепи возбуждения, приведенное к рабочей температуре, Ом;

Фн, Fн – номинальный магнитный поток и намагничивающая сила, приходящиеся на один главный полюс двигателя, соответственно;

σн = (1,1 – 1,2*)* – коэффициент рассеяния;

w – число витков обмотки возбуждения , приходящееся на один главный полюс двигателя.

Электромагнитная постоянная времени контура вихревых токов *Тк*принимается равной:

.

Суммарная электромагнитная постоянная времени цепи возбуждения ТВΣ рассчитывается по формуле:

*.*

Коэффициент цепи возбуждения (аппроксимирует кривую намагничивания двигателя при построении контура регулирования магнитного потока) рассчитывается по формуле:

*,*

где Iвн – номинальный ток возбуждения двигателя, А.

* **Цепи обратных связей**

Коэффициенты обратных связей должны обеспечить работу элементов СУЭП (операционных усилителей, датчиков) в рабочем диапазоне ±10 В. В общем виде коэффициент обратной связи Кoi для *i* – го параметра X*i* может быть рассчитан по формуле:

.

Рекомендуется выбирать максимальное значение напряжения обратной связи равное 10 В.

Тогда коэффициент обратной связи по току якоря двигателя определится:

*,*

где *λ* – перегрузочная способность двигателя по току,

Кш, Кдт – передаточные коэффициенты шунта и датчика тока соответственно.

Коэффициент обратной связи по скорости двигателя определится:

,

где Ктг, Кдел – коэффициенты передачи тахогенератора и делителя напряжения цепи обратной связи по скорости двигателя, соответственно;

ωmax = Edo/(кФн) – для однозонной СУЭП скорости;

ωmax = 1,5\* ωн – для двухзонной СУЭП скорости (определяется диапазоном регулирования скорости второй зоны);

ωmax = ωн  - для позиционной СУЭП.

Коэффициент обратной связи по ЭДС двигателя (датчика ЭДС) определяется по формуле:

.

Постоянная времени фильтра Тф датчика ЭДС принимается в зависимости от реализации датчика от Тф = Та (инерционный датчик) до Тф = 2 – 5 мс.

Коэффициент обратной связи по току возбуждения рассчитывается по формуле:

*,*

где Кшв, Кдтв – передаточные коэффициенты шунта и датчика тока возбуждения, соответственно.

Коэффициент обратной связи по потоку двигателя может быть рассчитан по формуле:

.

Коэффициент обратной связи по положению Коп определяется рабочим диапазоном датчика углового положения – сельсина и фазовыпрямляющего устройства (ФВУ), максимально измеряемый угол поворота которого *φmax* равен одному радиану, поэтому

.

На рис. 3,а приведена структурная схема объекта регулирования для СУЭП положения, а на рис. 3,б – для СУЭП перемещения, которые с точки зрения построения системы регулирования не имеют принципиальных отличий. Отличие заключается в том, что в СУЭП перемещения используется датчик рассогласования по положению, состоящий из сельсина – датчика, сельсина – приемника и ФВУ.

Передаточное отношение измерительного редуктора рассчитывается из условий реализации всех возможных перемещений, включая и большие. Ориентировочно передаточное отношение редуктора определяется соотношением:



где (0,5 – 0,8)– коэффициент запаса, учитывающий не идеальность элементов СУЭП;

ωmax = ωн– максимальная скорость позиционирования;

uзп max = 10В – максимальное задание на перемещение;

ε = Мдин/JΣ – угловое ускорение (замедление) электропривода, определяемое заданным динамическим моментом Мдин , т.е. работой задатчика интенсивности скорости (ЗИ).

3.2. *Построение системы управления электроприводом*

Современные системы электроприводов постоянного тока строятся, в основном, по принципу подчиненного регулирования координат с последовательной коррекцией.

Передаточные функции замкнутых контуров регулирования таких систем оптимальны с точки зрения обеспечения минимальной интегральной квадратичной ошибки регулирования по задающему воздействию и являются передаточными функциями фильтров Баттерворса соответствующих порядков. Настройка этих систем соответствует настройке на модульный (технический) оптимум. При этом получаются оптимальные переходные процессы, обеспечивающие максимальное быстродействие при минимальном перерегулировании. Передаточная функция регулятора *i* - го контура регулирования при настройке на модульный оптимум определяется по формуле:

(1)

где Tμ – некомпенсируемая постоянная времени СУЭП;

Woi(p) – передаточная функция объекта регулирования *i*- го контура (звена, подлежащего компенсации настройкой регулятора);

koi-1, koi – коэффициенты обратных связей предыдущего и рассматриваемого контуров.

В случае, когда под воздействием момента нагрузки основные показатели качества регулирования электропривода (статическая просадка скорости или статическая ошибка регулирования по положению) не удовлетворяют поставленным требованиям, применяют астатические системы регулирования, построенные по симметричному оптимуму или отвечающие «минимальному показателю колебательности».

*3.2.1. Наладка контура регулирования якорного тока*

В простых случаях, когда не требуется повышенных показателей качества системы регулирования и предельного быстродействия, регулятор тока якоря строится при следующих допущениях:

* пренебрегают внутренней обратной связью по ЭДС двигателя;
* не учитывают режим прерывистых токов;
* считают все параметры объекта регулирования неизменными;
* пренебрегают реакцией якоря двигателя.

На рис.5 представлена структурная схема контура регулирования якорного тока. Тогда в соответствии с соотношением (1) получается пропорционально – интегральный (ПИ) регулятор тока (РТ) якоря с передаточной функцией:



(2)

где Tит - постоянная времени интегрирования РТ.



Передаточные функции замкнутого контура регулирования якорного тока соответствуют оптимальным передаточным функциям второго порядка:

(3)

(4)

Передаточная функция разомкнутого токового контура, настроенного на модульный оптимум, равна:

при этом частота среза контура тока определяется отношением:



* **Адаптивный регулятор тока с эталонной моделью**

При питании электродвигателя постоянного тока от реверсивного тиристорного преобразователя (РТП) с раздельным управлением вентильными группами при снижении тока меньше граничного, определяемого выражением:



где Edo - ЭДС тиристорного преобразователя при угле регулирования равном нулю;

ωo = 2πfc = 314 c-1 – угловая частота напряжения питающей сети частотой 50 Гц;

p = 6 – пульсность схемы выпрямления для мостовой схемы выпрямления;

а также при реверсе тока якоря наступает режим прерывистого тока работы ТП. В зоне прерывистого режима переходные процессы тока заканчиваются в пределах интервала проводимости вентилей λ < 60o, в этом случае можно пренебречь электромагнитными переходными процессами в цепи ТП-Д. При этом существенно изменяются параметры объекта регулирования (снижается коэффициент передачи ТП, исчезает электромагнитная инерция якорной цепи, поэтому ТЭ = 0, увеличивается эквивалентное сопротивление ТП, которое существенно превышает Rэ цепи ТП-Д), система регулирования практически размыкается, резко ухудшаются динамические свойства СУЭП – снижается быстродействие, возрастает перерегулирование.

Для повышения качества работы СУЭП в режиме прерывистых токов применяют определенные конструктивные решения, например, используют адаптивный регулятор тока с эталонной моделью. Адаптация заключается в изменении структуры регулятора тока с пропорционально – интегральной на интегральную с одновременным повышением коэффициента интегральной части в 5 – 10 раз по сравнению с непрерывным режимом.

Передаточная функция РТ в прерывистом режиме должна быть равна:



где T'ит *=* (0,1 – 0,2)Tит*–* постоянная времени интегрирования регулятора тока в прерывистом режиме.

На рис. 6 представлена структурная схема контура регулирования якорного тока с эталонной моделью. Применение эталонной модели позволяет:

* при неточной настройке параметров СУЭП или нестабильности параметров СУЭП и объекта регулирования получить свойства контура регулирования тока, близкие к стандартным – оптимальным;
* улучшить свойства СУЭП в зоне режима прерывистых токов;
* снизить влияние внутренней обратной связи по ЭДС двигателя не свойства СУЭП.

Эталонная модель в точном варианте реализации имеет передаточную функцию оптимального фильтра второго порядка:



в упрощенном (аппроксимируемом) варианте – передаточную функцию фильтра первого порядка:



На вход эталонной модели подается сигнал напряжения задания якорного тока uзт, поэтому на выходе эталонной модели получается стандартный (оптимальный) переходный процесс якорного тока в масштабе сигнала обратной связи по току. Сигнал эталонного процесса сравнивается с фактическим переходным процессом якорного тока (сигналом uот) и их разность (ошибка) с коэффициентом передачи ka добавляется к основному сигналу с выхода РТ, подгоняя реальный переходный процесс к оптимальному.

Коэффициент передачи ka в контуре модели выбирается из условия обеспечения устойчивой работы СУЭП (для исключения автоколебаний) по формуле:



где ωгр= 0,5ωоp = 942 с-1 – граничная частота для трехфазной мостовой схемы выпрямления.

Коэффициент kaуточняется при наладке электропривода (обычно ka ≤ 25).

* **Двойной регулятор тока**

В том случае, когда постоянная времени ТП относительно мала (менее одной мс), для повышения качества работы СУЭП электропривода в режиме прерывистых токов возможно использование двойного контура регулирования якорного тока.

При построении двойного регулятора тока ТП принимают безинерционным звеном с коэффициентом передачи kп.

На рис. 7 представлена структурная схема двойного РТ. Замкнутый первый (внутренний) контур регулирования тока с пропорциональным (П) РТ1 в непрерывном режиме имеет передаточную функцию инерционного звена, реализующего предельное быстродействие из условий дискретности ТП с эквивалентной постоянной времени фильтра T'a = 3,3 мс для шестипульсной схемы выпрямления и T'a = 1,67 мс для двенадцатипульсной схемы выпрямления:



Отсюда можно определить коэффициент передачи (передаточную функцию) первого РТ из условия:



тогда

На основании вышеизложенного, передаточная функция первого замкнутого контура регулирования якорного тока может быть представлена в виде:



где .

В этом случае замкнутый внутренний контур регулирования якорного тока представляет собой эквивалентный фильтр прямого канала регулирования с некомпенсируемой постоянной времени , которая применяется при дальнейшей реализации СУЭП.

Передаточная функция второго контура регулирования соответствует передаточной функции оптимальной системы второго порядка (3,4) и в соответствии с (1) передаточная функция второго РТ2 записывается в виде:



т. е. второй регулятор тока – интегральный.

В режиме прерывистых токов, когда ток прерывается, внутренний токовый контур размыкается, т. к. сигнал обратной связи по току равен нулю, и коэффициент интегрального РТ2 увеличивается в kрт1раз, компенсируя изменение параметров объекта регулирования в прерывистом режиме.

Имеются и другие варианты СУЭП с двойными регуляторами, например, с внутренним контуром регулирования напряжения.

* *Анализ влияния внутренней обратной связи*

*по ЭДС двигателя. Компенсация влияния ЭДС*

При построении контура регулирования тока внутренняя обратная связь по ЭДС двигателя не учитывается, однако в некоторых случаях она оказывает существенное влияние на работу СУЭП электропривода. На рис. 8 приведена структурная схема контура регулирования тока с учетом внутренней обратной связи по ЭДС двигателя. В этом случае контур регулирования якорного тока становится статическим с коэффициентом передачи в статическом режиме, равном:

Относительная статическая ошибка по току при скачке задания составляет:



при этом возрастает перерегулирование в токе.

Анализ влияния обратной связи по ЭДС двигателя на свойства СУЭП тока и скорости позволяет сделать следующие выводы:

* уменьшается коэффициент передачи замкнутого контура тока, что снижает быстродействие СУЭП и приводит к недоиспользованию двигателя по току;
* в режиме токоограничения (регулятор скорости находится в насыщении) происходит увеличение тока выше уровня токоограничения при приложении чрезмерной нагрузки в стопорных режимах;
* увеличивается колебательность токового контура;
* увеличивается время восстановления скорости при набросе нагрузки;
* увеличивается ударное падение скорости.

Если относительная ошибка регулирования тока превышает заданную, следует применить дополнительную положительную обратную связь, компенсирующую влияние обратной связи по ЭДС двигателя.

На рис. 8 показан наиболее рациональный вариант компенсирующей обратной связи по ЭДС, которая воздействует непосредственно на ТП (на дополнительный вход суммирующего усилителя адаптивного РТ или на дополнительный вход П-РТ1 двойного регулятора тока). В СУЭП однозонного регулирования скорости в качестве компенсирующего сигнала вместо сигнала по ЭДС двигателя можно использовать сигнал обратной связи по скорости Uос, тогда передаточная функция компенсирующего звена будет равна:



Иногда в качестве компенсирующего сигнала используют сигнал по напряжению двигателя. В некоторых случаях компенсирующую обратную связь подают через реальное дифференцирующее звено на дополнительный вход РТ (показано на рис.8 штриховыми линиями). В этом случае передаточная функция компенсирующего звена примет вид:



где - постоянная дифференцирования.

На практике необходимость применения компенсирующей обратной связи по ЭДС уточняется окончательно при наладке электропривода.

* *Оценка величины производной якорного тока.*

*Задатчик интенсивности тока.*

Одним из факторов, ограничивающих быстродействие СУЭП электропривода, является предельно допустимая скорость нарастания якорного тока. Это ограничение обусловлено ухудшением коммутации машины при повышении производной тока, а также особенностями механической части оборудования из–за возможной необходимости ограничения скорости нарастания момента (тока), т. е. ограничения рывка.

Максимальное значение производной тока оценивается при скачке задания якорного тока, равном уровню токоограничения в СУЭП, в относительных единицах (т. е. в номинальных токах в секунду) по соотношению:



где I\*зад - заданный ток по отношению к номинальному току.

Если значение производной тока превышает допустимое, необходимо применять задатчик интенсивности тока (ЗИТ), включаемый на входе РТ. На рис. 9 показана структурная схема задатчика интенсивности тока, постоянная времени интегратора которого определяется выражением:

где *U0* - напряжение ограничения выхода нелинейного (релейного) элемента (*U0* ≤ ± 10В).



3.2.2. Наладка контура регулирования скорости

Передаточная функция регулятора второго контура регулирования (контура регулирования скорости), настроенного на модульный оптимум в соответствии со структурой объекта регулирования определяется выражением:



(5)

т. е. регулятор скорости (РС) получился пропорциональным (П – РС). Система с П – РС и ПИ – РТ получила название однократноинтегрирующей и является астатической по заданию и статической по нагрузке.

Передаточные функции замкнутого контура регулирования скорости являются оптимальными передаточными функциями третьего порядка и определяются соотношениями:

где *Q3(p)* - оптимальный полином третьего порядка.

Передаточная функция разомкнутого конура регулирования скорости и частота среза контура скорости равны:

Для систем подчиненного регулирования с последовательной коррекцией, имеющих передаточные функции фильтров Баттерворса, при построении СУЭП и их теоретическом анализе внутренние контуры регулирования можно рассматривать в упрощенном виде. При этом передаточные функции внутренних контуров регулирования апроксимируются апериодическим звеном соответствующего быстродействия в соответствии с выражением:

где (*i-1*) – номер рассматриваемого внутреннего контура регулирования (где *i≥2*). Тогда внешний контур представляется оптимальным звеном второго порядка соответствующего быстродействия.

В частности, при рассмотрении контура регулирования скорости (*i = 2*), передаточная функция замкнутого контура регулирования тока упрощается:

где Tμт - эквивалентная (некомпенсируемая) постоянная времени контура тока,

а передаточная функция замкнутого контура скорости принимает вид:



* *Пропорциональный регулятор ЭДС (скорости)*

В СУЭП скорости с отрицательной обратной связью по ЭДС двигателя при определении передаточной функции регулятора ЭДС (РЭ) необходимо учитывать фильтр датчика ЭДС, а на входе РЭ со стороны задания необходимо включить такой же фильтр, как и в цепи датчика ЭДС.

На рис. 10 представлена структурная схема СУЭП регулирования скорости с обратной связью по ЭДС и эквивалентные структурные преобразования с учетом фильтра датчика ЭДС (суммирование малых постоянных времени) в эквивалентном фильтре (т. е. замкнутом контуре тока) прямого канала регулирования.

Тогда на основании данной структурной схемы передаточная функция регулятора ЭДС при настройке на модульный оптимум определится выражением:

Таким образом, РЭ получился пропорциональным (П – РЭ). На величину коэффициента передачи РЭ существенное влияние оказывает величина постоянной времени фильтра датчика ЭДС. Поэтому при расчете РЭ необходимо определиться со структурой датчика ЭДС отчего будет зависеть постоянная времени его фильтра, например, при реализации инерционного датчика постоянная фильтра будет равна постоянной времени якоря двигателя (Tф= Tа), а при реализации быстродействующего датчика постоянная времени фильтра будет определяться фильтром выходного ОУ в пределах от 2 до 5 мс.

Теоретический анализ СУЭП с обратной связью по ЭДС проводят по структурной схеме, приведенной на рис. 10.б, поэтому передаточная функция замкнутого контура регулирования ЭДС соответствует оптимальной передаточной функции второго порядка:





Передаточная функция разомкнутого контура и частота среза контура ЭДС примут вид:



где T'μт=2Tμ+Tф - эквивалентная постоянная времени замкнутого контура регулирования тока.

* *Пропорционально – интегральный регулятор скорости*

*(ПИ-РС)*

При приложении статического момента в СУЭП с П-РС появляется статическая просадка скорости, определяемая соотношением:



В СУЭП электропривода с П-РЭ статическая просадка скорости будет больше:

Статическая просадка скорости определяется при номинальной нагрузке (Мс=Мн).

В позиционных СУЭП с П-РС статическая просадка скорости определяет статическую ошибку регулирования по положению с соответствии с выражением:

где kрпм - коэффициент передачи регулятора положения при малых перемещениях.

Если статическая ошибка регулирования превышает заданную, необходимо применять астатическую СУЭП скорости с ПИ регулятором скорости.

Астатические СУЭП скорости (двукратно интегрирующие) обычно строятся по симметричному оптимуму с ПИ регулятором скорости, передаточная функция которого имеет вид:

где Tис - постоянная времени интегрирования регулятора скорости.

Возможно использование варианта ПИ регулятора скорости, обеспечивающего «минимальный показатель колебательности» СУЭП, с передаточной функцией:



Для снижения перерегулирования в СУЭП при управлении со стороны задания на входе ПИ – РС необходимо включать фильтр с передаточной функцией:

В этом случае при настройке на симметричный оптимум передаточная функция замкнутого контура регулирования скорости соответствует оптимальной передаточной функции четвертого порядка:



* *Пропорционально – интегральный регулятор ЭДС*

*(скорости)*

В СУЭП скорости с отрицательной обратной связью по ЭДС, ПИ регулятор ЭДС должен строиться с учетом фильтрации датчика ЭДС по методике, аналогичной построению пропорционального РЭ. На рис. 11 показана исходная (а) и эквивалентная преобразованная (в) структурные схемы с учетом фильтра датчика ЭДС в замкнутом контуре регулирования тока.

Для симметричного оптимума на основании преобразованной структурной схемы можно записать передаточную функцию разомкнутой системы следующим образом:

где T'μт=2Tμ+Tф - эквивалентная постоянная времени замкнутого контура регулирования тока.



Рис.11 Структурная схема СУЭП ЭДС с ПИ - РС

Передаточные функции разомкнутой СУЭП и элементов структурной схемы позволяют записать равенство:



из которого легко можно получить передаточную функцию ПИ регулятора ЭДС:



Для снижения перерегулирования в СУЭП на входе ПИ регулятора ЭДС со стороны задания включается дополнительный фильтр с передаточной функцией:



* *Регулятор скорости в двухзонной СУЭП*

В двухзонной СУЭП передаточная функция объекта регулирования, подлежащая компенсации настройкой регулятора скорости (рис. 4) имеет вид:



Поэтому, передаточная функция регулятора скорости получается пропорциональной, зависящей от величины магнитного потока:

После несложных преобразований можно получить следующую зависимость коэффициента передачи РС от магнитного потока двигателя:



(6)

где kрсн – коэффициент передачи РС при номинальном магнитном потоке (5).

Из (6) видно, что во второй зоне регулирования при ослаблении магнитного потока изменяются параметры объекта регулирования, поэтому для обеспечения неизменной настройки контура регулирования скорости на модульный (или симметричный) оптимум, необходимо изменять коэффициент передачи РС обратно пропорционально изменению относительного магнитного потока Ф*\**. При уменьшении магнитного потока коэффициент передачи РС должен увеличиваться, что приводит к увеличению напряжения задания тока uзт и увеличению якорного тока для поддержания постоянного момента двигателя, т.е. постоянного ускорения.

На рис. 12 представлены структурные схемы, обеспечивающие постоянство настройки контура регулирования скорости во второй зоне регулирования.

Для этого может применяться делительное устройство (ДУ), на входы которого подаются напряжение с выхода РС и напряжение, пропорциональное величине магнитного потока. При реализации такой структурной схемы необходимо иметь датчик магнитного потока (рис. 12,а).

Если реализация такого датчика затруднена, то можно применить множительно – делительное устройство (МДУ), на вход умножения которого подается сигнал, пропорциональный скорости вращения двигателя, а на вход деления – сигнал, пропорциональный ЭДС двигателя (см. рис. 12,б).

При допущении, что во второй зоне ЭДС двигателя остается постоянной, можно упростить реализацию РС, оставив только множительное устройство на входы которого подают сигнал с выхода РС и сигнал модуля скорости вращения.

В системе двухзонного регулирования необходимо предусмотреть изменение величины токоограничения во второй зоне в соответствии с эксплуатационной характеристикой двигателя [2,7,12]. Для этой цели применяют устройство, которое в зависимости от скорости вращения двигателя при переходе во вторую зону снижает величину уставки напряжения ограничения блока ограничения (БО) промежуточного операционного усилителя (ПУ), тем самым ограничивая величину напряжения задания якорного тока в зависимости от скорости вращения электропривода (см. рис. 12,в).

Регулятор скорости в данной системе регулирования может иметь как П так и ПИ структуру.



* *Задатчик интенсивности скорости*

Во всех электроприводах, включая позиционные, задание на скорость формируется задатчиком интенсивности скорости (ЗИ), который формирует заданное ускорение и замедление электропривода (в большинстве случаев одинаковые по модулю). Структурная схема ЗИ скорости аналогична структурной схеме ЗИТ (рис.9). При заданном ускорении электропривода и выбранном уровне ограничения релейного элемента U0 постоянная времени интегратора ЗИ определяется соотношением:



В случае СУЭП с отрицательной обратной связью по ЭДС двигателя постоянная времени интегратора ЗИ определяется следующим соотношением:

*3.2.3. Наладка системы регулирования ЭДС*

Система регулирования ЭДС двигателя в двухзонной СУЭП скорости электропривода является взаимосвязанной через ЭДС электродвигателя с системой регулирования скорости изменением подводимого к якорю электродвигателя напряжения (П или ПИ – РС, ПИ – РТ п. 3.2.2).

На основании структурной схемы объекта регулирования (рис. 4), система регулирования ЭДС строится по принципу систем подчиненного регулирования и состоит из внутреннего контура регулирования тока возбуждения (магнитного потока) электродвигателя и внешнего контура регулирования ЭДС. В первой зоне регулирования (скорость электропривода меньше номинальной) СУЭП регулирования ЭДС стабилизирует ток возбуждения (магнитный поток) электродвигателя на уровне номинального (регулятор ЭДС находится в ограничении). Во второй зоне регулирования (скорость выше номинальной) регулятор ЭДС выходит из ограничения и начинает стабилизировать ЭДС электродвигателя на номинальном уровне снижением тока возбуждения (магнитного потока) при увеличении скорости вращения электропривода.

* *Наладка контура регулирования тока возбуждения*

*(магнитного потока)*

Если подойти к реализации контура регулирования тока возбуждения так же, как это рассматривалось при реализации контура регулирования якорного тока, то в этом случае передаточная функция регулятора тока возбуждения будет определяться в соответствии со структурной схемой на рис. 4 и 13,а соотношением:

Как видно из данной передаточной функции реализация такого регулятора затруднена.

Поэтому на практике поступают следующим образом: в цепь обратной связи по току возбуждения вводят фильтр с постоянной времени Tк и нелинейный элемент ФП, моделирующий кривую намагничивания двигателя (рис. 13,б).



В этом случае сигнал обратной связи с выхода ФП пропорционален величине магнитного потока двигателя, что позволяет перейти к регулированию магнитного потока (обратная связь показана пунктирной линией на рис. 13,б) и тогда регулятор тока возбуждения становится регулятором магнитного потока.

Поскольку магнитный поток при регулировании изменяется от номинального значения до минимального, то для упрощения реализации регулятора потока можно линеаризовать кривую намагничивания двигателя, введя коэффициент линеаризации kf, равный:

В этом случае передаточная функция регулятора тока возбуждения (потока) примет вид:



Т. е. регулятор получился пропорционально – интегральным, реализация которого не вызывает затруднения.

Если принять коэффициенты пропорциональности и обратной связи равными

 ; ,

то в этом случае их произведение дает значение коэффициента обратной связи по току возбуждения:



При наладке контура регулирования тока возбуждения (потока) необходимо предусмотреть меры по ограничению снижения тока возбуждения меньше минимального значения.

* *Наладка контура регулирования ЭДС*

В контур регулирования ЭДС входят регулятор ЭДС, замкнутый контур регулирования тока возбуждения (потока), звено, подлежащее компенсации, и обратная связь по ЭДС, реализуемая датчиком ЭДС (рис. 14). Как видно из рис.14 в соответствии с настройкой контура на модульный оптимум передаточная функция регулятора ЭДС имеет вид:



где - постоянная интегрирования регулятора ЭДС.

Так как параметры объекта регулирования зависят от частоты вращения электропривода, то наладка регулятора ЭДС должна изменяться во второй зоне (при ослаблении магнитного потока) обратно пропорционально относительной частоте вращения электропривода.

Если датчик ЭДС будет представлен инерционным звеном с передаточной функцией:

,

то в этом случае, аналогично СУЭП регулирования скорости с внешним регулятором ЭДС и внутренним регулятором якорного тока, передаточная функция регулятора ЭДС с учетом Tдэ, примет вид:

.

|  |
| --- |
| Рис. 14. Структурная схема контура регулирования ЭДС |

Таким образом, регулятор ЭДС получился интегральным, и при подаче на вход интегратора напряжения задания номинальной ЭДС двигателя с потенциометра R1 (рис. 15), при неподвижном электроприводе (сигнал отрицательной обратной связи по ЭДС равен нулю) выход интегратора будет линейно увеличиваться. Поэтому в схеме регулирования необходимо предусмотреть ограничение выхода интегратора на уровне задания номинального тока возбуждения (номинального магнитного потока), для чего в обратной связи регулятора ЭДС включают блок ограничения (рис. 15). Для обеспечения отрицательной обратной связи по ЭДС двигателя на входе РЭ при изменении направления вращения электропривода, в цепь обратной связи после датчика ЭДС включают схему выделения модуля сигнала (СВМ1 на рис. 15).

|  |
| --- |
| Рис. 15 Функциональная схема регулятора ЭДС |

Так как постоянная интегрирования регулятора должна изменяться во второй зоне регулирования, на выходе РЭ устанавливают делительное устройство ДУ (рис.15), на вход которого подается больший из двух сигналов: сигнал задания номинальной скорости электропривода с потенциометра R2, и модуль сигнала действительной скорости вращения (обратной связи по скорости) с выхода СВМ2. В первой зоне скорость вращения электропривода меньше номинальной, поэтому диод VD2 закрыт и на вход ДУ поступает постоянный по величине сигнал, пропорциональный номинальной скорости. Во второй зоне скорость вращения электропривода становится больше номинальной, поэтому диод VD1 закрывается большим по величине сигналом обратной связи по скорости, и на вход ДУ поступает сигнал, пропорциональный текущему значению скорости вращения электропривода, что сохраняет неизменной настройку контура регулирования ЭДС во второй зоне регулирования.

*3.2.4. Построение контура регулирования положения*

Система регулирования положения (перемещения) является трех контурной с контурами регулирования якорного тока, скорости и положения.

Контур регулирования якорного тока настраивается на модульный оптимум как было рассмотрено в п. 3.2.1

Контур регулирования скорости в зависимости от допустимой ошибки регулирования положения может быть настроен либо на модульный оптимум, если ошибка регулирования положения меньше заданной, либо на симметричный оптимум, если ошибка регулирования положения больше заданной (п. 3.2.2).

Наладка контура регулирования положения должна обеспечить выполнение следующих требований, предъявляемых к позиционным СУЭП:

* обеспечение максимального быстродействия;
* обеспечение необходимой точности регулирования;
* отсутствие перерегулирования при отработке заданного перемещения.

При отработке заданного перемещения возможны три режима работы системы:

* отработка малых перемещений, когда система является линейной, т. е. ни одна регулируемая координата не достигает установившегося значения, в этом режиме задатчик интенсивности на входе РС работает в режиме слежения;
* отработка средних перемещений, когда установившегося значения достигает якорный ток, т.е. система работает с заданным ускорением, формируемым задатчиком интенсивности, при этом электропривод работает по треугольной тахограмме;
* отработка больших перемещений, когда установившегося значения достигают ток и скорость вращения электропривода (регулятор положения находится в ограничении), электропривод работает по трапецеидальной тахограмме.
* *Наладка регулятора положения при отработке малых*

*перемещений*

Если передаточную функцию регулятора положения (РП) выбрать в соответствии с настройкой на модульный оптимум, то в этом случае получается пропорциональный регулятор положения с частотой среза контура положения в два раза меньшей частоты среза контура регулирования скорости:



,

при этом обеспечивается оптимальный переходный процесс системы третьего порядка, имеющий перерегулирование, что является недопустимым для позиционных СУЭП.

Поэтому при расчете РП при малых перемещениях, чтобы устранить перерегулирование по положению, снижают быстродействие контура регулирования положения, и частота среза контура положения выбирается из соотношения:

В этом случае коэффициент передачи РП, обеспечивающий работу контура без перерегулирования при отработке малых перемещений, обозначают kрпм и рассчитывают по формулам:

* если регулятор скорости пропорциональный:



* если регулятор скорости пропорционально - интегральный:



Отклонение от расчетного значения приводит или к перерегулированию или к режиму «дотягивания», что увеличивает время отработки заданного перемещения. Коррекцию рассчитанного коэффициента регулятора проводят при моделировании СУЭП в режиме малых перемещений добиваясь работы без перерегулирования за минимально возможное время.

* *Наладка регулятора положения при отработке*

*больших перемещений*

При отработке больших перемещений электропривод работает по трапецеидальной тахограмме, т.е. скорость достигает установившегося значения. В этом случае РП заходит в ограничение, поэтому его выход должен быть ограничен на уровне максимального задания скорости (Uвых рп=Uзс max=kосωн). При отработке больших перемещений РП должен обеспечить оптимальное торможение со скорости ωн за минимальное время с постоянным ускорением (замедлением) εдоп. Поэтому коэффициент передачи РП при отработке больших перемещений обозначается kрпб и рассчитывается по формуле:



При снижении коэффициента передачи РП от расчетного возникает режим «дотягивания», т.е. оставшийся отрезок пути система отрабатывает с меньшим, чем заданное ускорением (замедлением). При увеличении коэффициента передачи – возникает перерегулирование при отработке заданного перемещения.

* *Наладка регулятора положения при отработке средних перемещений. Нелинейный регулятор положения*

При отработке средних перемещений электропривод работает по треугольной тахограмме. При этом стремятся обеспечить одинаковое ускорение и замедление электропривода. Выбор момента начала торможения и обеспечение заданного темпа торможения есть два взаимосвязанных условия. Их выполнение обеспечивает решение основной задачи позиционирования – остановку механизма в заданной позиции.

При торможении со скорости ω≤ωн, как известно из физики и теоретической механики, мгновенные значения скорости и текущего позиционного рассогласования Δuп при выполнении условия ε = const, связаны следующей нелинейной функциональной зависимостью:



где Δuп = ΔSkоп – ошибка (рассогласование) перемещения.

Практически это означает, что, обеспечивая средствами системы регулирования данную функциональную связь скорости движения с позиционным рассогласованием, можно реализовать требуемый равнозамедленный процесс, приводящий механизм в заданную позицию. При этом коэффициент передачи регулятора положения будет определяться зависимостью:

Как видно из приведенной выше формулы, коэффициент передачи РП при отработке средних перемещений должен изменяться в соответствии с изменением позиционного рассогласования.

Из этой зависимости видно, что при Δuп стремящемся к нулю (отработка заданного перемещения), коэффициент передачи регулятора положения стремится к бесконечности. Однако, при отработке малых перемещений величина коэффициента передачи РП должна быть ограничена величиной kрпм для обеспечения оптимального переходного процесса. При отработке больших перемещений РП должен обладать коэффициентом передачи kрпм. Поэтому для оптимальной работы СУЭП при отработке всех перемещений необходим нелинейный регулятор положения, у которого в зависимости от величины позиционного рассогласования соответственно изменяется коэффициент передачи.

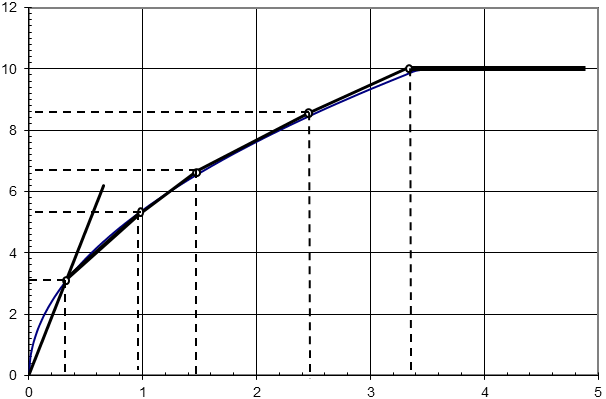
Характеристика регулятора положения (зависимость UвыхРП = f(Δuп ))строится в следующей последовательности. По зависимости



выполняется построение параболической характеристики регулятора положения (рис.16).

 Затем строится линейная зависимость UвыхРП=kрпмΔuп и определяется точка сопряжения параболы и линейной характеристики, соответствующая разделению отработки малых и средних перемещений. Разделение режимов работы будет происходить при позиционном рассогласовании, равном:

При отработке больших перемещений выход регулятора положения должен быть ограничен величиной задания максимальной скорости вращения Uвыхрп = Uзс max=kосωн. Таким образом, характеристика регулятора положения имеет три участка: линейный при отработке малых перемещений (0≤Δuп≤Δuпо ), параболический до участка ограничения при отработке средних перемещений, и участок ограничения выходного напряжения регулятора при отработке больших перемещений с максимальной скоростью (Δuп > 3,35В, рис. 16).



Δuп

UвыхРП

Δuпо

Рис. 16. Характеристика нелинейного регулятора положения

Для реализации нелинейного РП выполняют кусочно – линейную аппроксимацию характеристики РП (на рис.16 шесть участков характеристики) и реализуют РП на базе функционального преобразователя.

*3.2.5. Реализация регуляторов*

Реализация необходимых передаточных функций элементов СУЭП осуществляется соответствующим выбором операторных сопротивлений входных цепей и цепи обратной связи ОУ как по инверсному, так и по прямому входу.

Например, для схемы ОУ, приведенной на рис. 17, связь между входными и выходным напряжением (передаточная функция по инверсному и прямому входам) определяется зависимостью:

где Zi(p)- операторное изображение сопротивления *i*-ой цепи.

При разработке принципиальной электрической схемы системы регулирования основное внимание необходимо уделить правильности полярности напряжений задающих, выходных и обратных связей, для обеспечения необходимой обратной связи (отрицательной или положительной).

Выбор потенциометров, резисторов, конденсаторов необходимо проводить с учетом стандартных величин и мощности, причем в схеме необходимо учесть возможность подстройки основных параметров передаточных функций регуляторов (коэффициенты усиления, постоянные интегрирования и дифференцирования, фильтры, ограничение выходных сигналов) в пределах ± 20% от рассчитанных.

При реализации системы управления электропривода на операционных усилителях прдставляют спецификацию выбранных элементов с указанием типов и их основных конструктивных параметров.



Например, при реализации ПИ регулятора тока можно применить схему, представленную на рис.18, с использованием инверсного входа ОУ. Если задаться положительной полярностью входного напряжения +Uзт, то для обеспечения отрицательной обратной связи полярность напряжения обратной связи по току с выхода датчика тока должна быть отрицательной -Uот, тогда на вход ТП будет подаваться напряжение управления отрицательной полярности за счет инверсии задающего напряжения.



Следовательно, напряжение выбора выпрямительной группы ТП (напряжение логического переключающего устройства) в двигательном режиме работы должно быть одинаковой полярности с напряжением управления ТП, т.е. отрицательной.

Для формирования сигнала на входе ЛПУ необходим релейный элемент, на вход которого подается сигнал, задающий значение якорного тока, т.е. сигнал с выхода регулятора скорости.

Поскольку регулятор тока имеет интегральную составляющую, то при неподвижном электроприводе в результате дрейфа нуля ОУ, может появиться выходное напряжение регулятора тока при нулевом задании. В этом случае включение электропривода в работу произойдет с броском якорного тока. Для исключения этого режима в обратной связи регулятора предусмотрен контакт Кл1, шунтирующий регулятор во время стоянки электропривода.

Рассмотрим пример реализации задатчика интенсивности тока, принципиальная схема которого представлена на рис. 19.

Для обеспечения одинакового коэффициента передачи по входам ОУ DA2 и DA4 необходимо выполнить условие равенства величин сопротивлений входных резисторов и резистора в цепи обратной связи: R5 = R6, и R10 = R11. Поэтому принимаются величины сопротивлений резисторов R5 = R6 = R10 = R11= 10 кОм. Выходное напряжение релейного элемента DA2 ограничено на уровне ± 10В. Тогда для обеспечения необходимого темпа изменения выходного сигнала при постоянной времени Тзит = 0,0175 с, задаются величиной емкости конденсатора C2, например, равной 1,0мкФ, и рассчитывается величина сопротивления подстроечного резистора *R*8:

*R*8 = 0,0175/1,0 = 17,5 кОм.

С учетом возможности подстройки значения Тзит в пределах 20% от расчетного значения, принимается величина сопротивления резистора R8 = 22кОм. Тип подстроечного переменного резистора СП5-2В, рассеиваемой мощностью 0,5 Вт, остальные резисторы общего назначения типа МЛТ рассеиваемой мощностью 0,125 Вт и допуском ±5%. Конденсатор C2 типа К73-11 полиэтилентерефталатный низковольтный с допуском ±5%.



При реализации нелинейных зависимостей, например, датчика магнитного потока, поступают следующим образом. За исходную принимается кривая намагничивания электродвигателя, представленная на рис. 20 пунктирной линией. Принимается номинальное значение входной величины датчика потока (выход датчика тока возбуждения) равное 8В. При этом выходное напряжение датчика потока, соответствующее номинальному магнитному потоку, также принимается равным 8В. Выполняется кусочно - линейная аппроксимация кривой намагничивания с ограничением максимального выходного напряжения на уровне 8,6В (конечная точка третьего участка). При этом получилось четыре участка характеристики датчика магнитного потока.

В соответствии с участками характеристики составляется принципиальная электрическая схема датчика потока (нелинейного преобразователя), представленная на рис. 21. Для запирания диодов в цепи обратной связи ОУ применяется отдельный источник питания Uип2 гальванически развязанный от источника питания ОУ.

Определяются коэффициенты передачи для каждого из участков:

  .

Задаются величиной сопротивления входного резистора R29 = 100 кОм и рассчитываются величины сопротивлений резисторов в цепи обратной связи ОУ DA15:



Исходя из стандартного ряда Е24 , величины сопротивлений резисторов принимаются равными:

R30=160 кОм*, R31*=200кОм, R32=120кОм.



Величина емкости конденсатора C10 находится из равенства, где *Tк* – постоянная времени контура вихревых токов.

Величины сопротивлений потенциометров R25 – R27 принимаются на порядок меньшими, чем величины сопротивлений R31 R32, поэтому выбираются R25 = R26 = R27 = 20 кОм, типа СП5-2В, рассеиваемой мощностью 0,5 Вт и допуском ±5%, остальные резисторы общего назначения типа МЛТ рассеиваемой мощностью 0,125 Вт допуском ±5%. Диоды VD1 – VD3 выбираются типа Д105, т.е. маломощные с малым обратным током величиной 0,005мА и напряжением 75 В.

На потенциометрах R27, R26, R25 выставляются значения напряжений, при которых происходит открывание диодов в соответствии с реализуемой кривой (рис. 20), т.е. 3,2В; 6,9В и 8,6В соответственно. После открывания диода VD3 происходит ограничение выходного напряжения ОУ на уровне 8,6В (коэффициент передачи равен нулю).



Также можно реализовать нелинейный регулятор положения, исключив конденсатор C10 и обеспечив реализацию характеристики регулятора в двух квадрантах, для чего необходимо добавить схему реализации нелинейности в другом квадранте, изменив полярность напряжения Uип2 и схему включения диодов на противоположную.

Аналогично осуществляется реализация всех оставшихся элементов СУЭП.