Министерство общего и профессионального образования

Российской Федерации.

Кафедра: Электропривод и автоматизация промышленных процессов.

Пояснительная записка к курсовому проекту

по курсу систем управления электроприводом.

Руководитель:

“-----“-----------200г

Автор проекта

Студент группы

“-----“-----------200г

Проект защищен

с оценкой

-----------------------

-------------------------

“------“---------200г

200

**Содержание**

1. Введение

2. Выбор электродвигателя

3. Выбор структуры системы управления электроприводом

4. Выбор комплектного тиристорного электропривода

5. Выбор элементов силового электорооборудования в комплектном электроприводе

6. Функциональная и структурная схемы электропривода. Переход к относительным единицам.

7. Определение параметров силового электрооборудования

8. Выбор типа регуляторов и расчет их параметров

9. Построение статических характеристик замкнутой системы электропривода

10. Защиты в электроприводе и расчет их уставок

11. Исследование качества процессов в проектируемой системе электропривода

12. Вывод

Литература

**Введение**

В данном курсовом проекте необходимо спроектировать комплектный тиристорный электропривод постоянного тока на основании технических требований представленных в таблице №1. Для этого, выбран двигатель из указанного диапазона мощностей, определена структура системы управления, выбран тиристорный преобразователь и силовое оборудование к нему, произведен синтез регуляторов. На основании знаний полученных в курсе ТАУ произведена настройка системы управления на оптимальное быстродействие и устойчивость. Исследованы качества процессов в спроектированной системе.

Таблица 1.1

Исходные данные к курсовому проекту.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Наименование | Обозначение | Величина |
| Диапазон мощностей, в пределах которого следует выбирать двигатель. КВт |  | От 50до99 |
| Момент инерции механизма в долях от момента инерции двигателя. | Jм /Jд | 2.0 |
| Изменение момента статической нагрузки Мс в долях от номинального Мн | Мс/Мн | 0.8 |
| Колебания напряжения сети. | 🛆Uс=🛆Uс/Uс | 0.25 |
| Диапазон регулирования скорости вниз от номинальной | D1=nн/nmin | 5 |
| Диапазон регулирования скорости вверх от номинальной. | D2=nmax/nн | 1 |
| Допустимая статическая ошибка поддержания скорости при минимальной уставке. | 🛆nдин=🛆nс/nmin | 0.12 |
| Величина токоограничения при упоре | μ=Imax/Iн | 2.0 |
| Ускорение электропривода при пуске | λ=Iдин/Iн | 1.4 |

**2. Выбор электродвигателя**

Из указанного диапазона мощностей выбираю двигатель постоянного тока продолжительного режима работы типа П92, 220 В, защищенный, независимого возбуждения.

Таблица 2.1

Параметры двигателя типа П92.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Наименование | Размерность | Значение |
| Мощность, Рн | КВт | 75 |
| Угловая скорость вала – номинальная, Nн | Об/мин | 1500 |
| Угловая скорость вала – максимальная, Nмакс | Об/мин | 2250 |
| Ток якоря – номинальный, Iн | А | 381 |
| Ток возбуждения – номинальный, Iвн | А | 4,94 |
| Сопротивление обмоток (Rя+Rдп) | Ом | 0,016836 |
| Сопротивление обмотки возбуждения, Rов | Ом | 38,796 |
| Число полюсов | 2р | 4 |
| Число параллельных ветвей | 2а | 2 |
| Момент инерции якоря, Jя | Кг\*м2 | 7 |
| Масса | Кг | 705 |
| Напряжение на якоре, Uя | В | 220 |
| Поток одного полюса, Ф | МВб | 20.1 |

**3. Выбор структуры системы управления электроприводом**

Выбор структуры системы управления электропривода произведем с учетом требований технического задания на электропривод. В качестве внутреннего контура регулирования применяем контур регулирования тока якоря. Это обеспечит ограничение тока якоря допустимым значением при возможных перегрузках электропривода. Проверяем возможность применения в качестве внешнего контура регулирования, контур регулирования напряжения. Для проверки посмотрим, удовлетворяет ли данный выбор величине статической погрешности поддержания скорости.

Δnc=Δnc1+Δnc2 (3.1)

Δnc= 2,5%

Где Δnc1 и Δnc2- составляющие статической погрешности, вызванные приложением статической нагрузки и нестабильного потока возбуждения двигателя.

Δnc1- составляющая, вызванная приложением статической нагрузки в схеме с интегральным регулятором напряжения, когда можно принять Uя=const.

 (3.2)

где кяд - кратность тока короткого замыкания якорной цепи двигателя.

 (3.3)

Составляющую Δnc2 на стадии предварительных расчетов предсказать не удается из-за незнания величин разброса магнитного сопротивления машины и нестабильности тока возбуждения из-за нагрева обмотки, поэтому Δnс2 не учитываю.

Проверим, удовлетворяет ли полученная величина статической погрешности заданной.

Заданная величина

Рассчитанная величина

Таким образом, применение в качестве внешнего контура регулирования контур регулирования напряжения невозможно. Поэтому буду применять в качестве внешнего контура регулирования контур регулирования скорости двигателя.

**4. Выбор комплектного тиристорного электропривода**

На основании выбранного электродвигателя произведем выбор промышленного комплектного тиристорного электропривода постоянного тока серии КТЭУ.

Выбираем тиристорный электропривод КТЭУ 500/220-532-1ВМТД-УХЛ4.

800- Номинальный выходной ток

220- Номинальное выходное напряжение.

5- Однодвигательный электропривод с линейным контактором.

3- По режиму работы электропривод реверсивный с реверсом тока в якорной цепи.

2- Исполнение по способу связи с питающей сетью - реакторный.

1- С устройством аварийного динамического торможения.

1- Исполнение системы автоматического регулирования (САР) – САР скорости однозонная.

Наличие устройств:

В- Питания обмотки возбуждения двигателя.

М- Питания электромагнитного тормоза.

Т- Питания обмотки возбуждения тахогенератора.

Д- Динамического торможения электропривода.

УХЛ4- Климатическое исполнение.

Таблица 4.1

Параметры электропривода КТЭУ 500/220-532-1ВМТД-УХЛ4

|  |  |
| --- | --- |
| Номинальное напряжение , В | Номинальный ток, А |
| Электропривода | Выпрямителя |
| 220 | 230 | 381 |

Данный электропривод был выбран на напряжение больше номинального напряжения двигателя.

**5. Выбор элементов силового электрооборудования в комплектном электроприводе**

Для тиристорного электропривода выбираю трансформатор ТСЭП – 160/0,7У3.

Таблица 5.1

Параметры трансформатора ТСЭП – 160/0,7У3.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Наименование | Размерность | Значение |
| Линейное напряжение сетевой обмотки,U1л | В | 380 |
| Линейное напряжение вентильной обмотки,U2л | В | 202 |
| Напряжение короткого замыкания,Uкз | % | 4,5 |
| Потери короткого замыкания,ΔРкз | Вт | 2400 |
| Потери холостого хода, ΔРхх | Вт | 795 |
| Ток холостого хода,Iхх | % | 5.2 |
| Ток вентильной обмотки, I2н | А | 408 |
| Полная мощность,Sт | КВ\*А | 160 |

Расчет сопротивлений трансформатора

Где, rтр – активное сопротивление обмотки;

zтр - полное сопротивление обмотки;

хтр – индуктивное сопротивление обмотки.

Рассчитаем индуктивность трансформатора

Проверим в выбранном тиристорном преобразователе величину запаса по выпрямленному напряжению для статических режимов поддержания скорости.

 (5.1)

272,2 < 220+272,2\*0.25+13.47=301,645

Где Еd0- ЭДС идеально холостого хода преобразователя.

Ед- ЭДС двигателя при максимальной скорости

ΔU1- снижение напряжения преобразователя, вызванное колебаниями напряжения сети.

Iм- максимальный рабочий ток нагрузки

Rяц- суммарное сопротивление силовой цепи преобразователь-двигатель.

Сопротивление якорной цепи

=0.016836+0.011+0.0095=0.037 Ом (5.2)

где Rя- сопротивление якоря двигателя и добавочных полюсов

Rтр- эквивалентное активное сопротивление обмоток трансформатора приведенное к вторичной цепи.

Rэ- снижение выпрямленной ЭДС за счет коммутационных провалов.

Для трехфазной мостовой схемы выпрямления дополнительное сопротивление от обмоток трансформатора составляет:

Rтр=2rтр=2\*0.0055=0.011 Ом (5.3)

Потери ЭДС за счет коммутационных провалов.

 (5.4)

ЭДС двигателя при максимальной скорости вращения.

 В (5.5)

 В\*с (5.6)

Максимальный ток нагрузки

 А (5.7)

ЭДС идеально холостого хода преобразователя.

 В (5.8)

Из формулы (5.1) видно, что величина запаса по выпрямленному напряжению меньше, чем желаемая величина. Это может привести к насыщению тиристорного преобразователя, а это в свою очередь вызывает чрезмерную, неконтролируемую системой регулирования посадку скорости вращения двигателя при колебаниях напряжения сети или при перегрузке привода.

Рассчитаем требуемую индуктивность якорной цепи:

 мГн (5.9)

где Uн Iн – номинальные напряжение и ток якоря.

К - эмпирический коэффициент.

Рассчитаем индуктивность якоря двигателя:

 мГн (5.10)

где k – эмпирический коэффициент

pп – число пар полюсов двигателя

 (5.11)

Получили, что Lтреб>Lяц, т.е. индуктивности якорной цепи не достаточно для ограничения пульсаций тока, т.е. нужен сглаживающий реактор.

Реактор буду выбирать из условий Lp > Lтр - Lяц, Iрн > Iндв.

Выбираю сглаживающий реактор ФРОС – 125/0,543

Таблица 5.2

Параметры реактора ФРОС – 125/0,543

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Номинальный ток Iн, А | Индуктивность Lр, мГн | Сопротивление R, Ом |
| 500 | 0,75 | 0.003 |

Выберем тахогенератор. Будем выбирать тахогенератор по величине скорости вращения двигателя таким образом, чтоб при максимальной скорости вращения якоря двигателя у тахогенератора оставался запас по механической прочности (скорости вращения). Выбираю тахогенератор типа ПТ-22/1.

Таблица 5.3

Параметры тахогенератора типа ПТ-22/1.

|  |  |
| --- | --- |
| Технические данные тахогенератора | Характеристика тока возбуждения |
| Nн; об/мин | Iя; А | iв; А | Тип ячейки | Uв; В | Iв; А |
| 2400 | 0.5 | 0.35 | БФХ-0545 | 35 | 0.75 |

Принципиальная схема силовых, а так же релейно-контакторных цепей и цепи возбуждения комплектного электропривода представлены в графической части проекта.

**6. Функциональная и структурная схемы электропривода**

Переход к относительным единицам.

Для выполнения расчётов, связанных с выбором типа и параметров регуляторов, оценкой

статических и динамических показателей процессов в электроприводе, полезно составить для

выбранного варианта комплектного электропривода упрощенную принципиальную

(функциональную) (см.рис.6.2 ) и структурную(см.рис.6.3) схемы.

Структурная схема составлена на основании уравнений звеньев, записанных в относительных

единицах, что позволяет значительно упростить запись самих уравнений и последующие

расчёты. В качестве базовых величин принимаю[1]:

для напряжения и тока якоря – их номинальные значения

для момента на валу и электромагнитного момента двигателя – величину электромагнитного момента при номинальных токе якоря и напряжении на якоре

для скорости вращения двигателя – скорость его идеального холостого хода при номинальных магнитном потоке и напряжении на якоре

для напряжений на входе тиристорного преобразователя – то приращение входного напряжения, которое для преобразователя с линеаризованной статической характеристикой создают изменение выходного напряжения, равное базовому напряжению на нагрузке

для напряжений на входах датчиков обратных связей – показания датчиков при базовом значении измеряемой координаты. При этом величины коэффициентов усиления датчиков обратных связей (в абсолютных единицах) должны быть подобраны так, чтобы во всём возможном диапазоне измеряемой координаты выходное напряжение датчика соответствовало работе его на линейном участке статической характеристики.

для задающих напряжений (как во внешних так и во внутренних контурах регулирования ), сравниваем на входах регуляторов с напряжениями датчиков обратных связей ,- их значения, эквивалентные базовым величинам сигналов обратных связей, т.е. найденные на основании выражения:

Uзб=Uдб\*Rвхз/Rвх ос (6.1)

Здесь, Uзб , Uдб –базовые напряжения задания и датчика обратной связи, Rвхз,Rвх ос – сопротивления входных резисторов по каналам задания и обратной связи.

Таблица 6.1

Базовые значения переменных в электроприводе

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| N№ | Наименование переменной | Обозначение | Расчетная формула | Численное значение | Размерность |
|  | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1 | Напряжение на якоре, ЭДС преобразователя ТП и двигателя | Uя, Еп, Ед | Uн | 220 | В |
| 2 | Ток якорной цепи ЯЦ | Iя | Iн | 381 | А |
| 3 | Момент двигателя | М | Iн\*кФн | 518.16 | Нм |
| 4 | Скорость вращения двигателя | N | Uн/кФн | 217 | Рад/с |
| 5 | Коэффициент пропорциональности между ЭДС и скоростью двигателя | кФ | КФн | 1.36 | В\*с/рад |
| 6 | Ток возбуждения двигателя | Iв | Iв | 4.94 | А |
| 7 | Напряжение на обмотке возбуждения, ЭДС тиристорного возбудителя | Uв, Етв | Iвн\*Rв | 220 | В |
| 8 | Напряжение на выходе регулятора тока якоря | Uртя | F(Еп) | 10 | В |
|  | Напряжение на выходах датчика тока якоря ДТЯ и регулятора скорости РС | Uдтя, Uрс | Кдтя\*Iн | 5 | В |
| 10 | Напряжение на выходах датчика скорости ДС и задатчика интенсивности ЗИ | Uдс, Uзи | Кдс\*nб | 10 | В |

**7. Определение параметров силового электрооборудования**

Tд –механическая постоянная времени звена Д, учитывающего на структурной схеме механическую инерцию вращающихся масс двигателя и механизма

Тд=(Jд+Jм)nб/Mн=1.8\*7\*217/518.16=3.94 с (7.1)

Здесь Jд ,Jм – моменты инерции двигателя и рабочего механизма.

- Rяц – суммарное сопротивление силовой цепи преобразователь – двигатель.

Rяц= Rя+Rдп+Rко+2Rтр+Rэ=0.04 Ом (7.2)

- Lяц - суммарная индуктивность якорной цепи

 (7.3)

Тяц – электромагнитная постоянная времени якорной цепи.

Тяц=Lяц/ Rяц = 0,04 с (7.4)

Кяц – кратность тока короткого замыкания силовой цепи преобразователь – двигатель

Кяц = Uн / Iн\*Rяц = 14.4

τ - постоянная времени чистого запаздывания преобразователя

τ =Т/m=1/(50\*6)= 0.003 с (7.5)

Тп - постоянная времени фильтра преобразователя

Тп = 0,002 с (7.6)

**8. Выбор типа регуляторов и расчёт их параметров**

Вид передаточной функции и параметры регуляторов буду выбирать таким образом, чтобы выполнить заданные требования к настраиваемому контуру регулирования. Точный расчёт ведется с помощью логарифмических амплитудных частотных характеристик по методике, изложенной в курсе ТАУ.

Предварительный выбор параметров регуляторов (метод технического оптимума).

Настройка контура регулирования тока якоря (КРТЯ)

При настройке КРТЯ нужно стремиться к достижению максимально высокого быстродействия, чтобы не допустить в переходном процессе опасных бросков тока якоря при резком приложении чрезмерной статической нагрузки. Т.е. регулятор тока должен содержать пропорциональный (П) канал. Однако П - регулятор тока, сообщая контуру регулирования высокое быстродействие, оставляет большую статическую погрешность регулирования. Это препятствует максимальному использованию двигателя по току во всём диапазоне скоростей. Поэтому применяют пропорционально – интегральный (ПИ) регулятор тока.

 (8.1)

Введём расчётную постоянную времени:

Трт = Т1 / Кяц (8.2)

Т2 = Тi max = Tяц = 0,04 с (8.3)

 (8.4)

Т1 = (0.144…0.288) с

Настройка контура регулирования скорости (КРС).

При настройке КРС поддержание заданного значения скорости независимо от приложенных возмущений и достижение требуемых по качеству процессов пуска и торможения электропривода решаются проще и качественнее для быстродействующих КРС. Но предельное быстродействие КРС ограничено условиями его устойчивости и влиянием оборотных пульсаций напряжения тахогенератора. Для стандартных электроприводов принимают ωс = (15…20) рад/с.

Введём расчётную постоянную времени:

Трс = Тд / Крс (8.5)

Здесь Крс – коэффициент пропорционального регулятора скорости (РС).

Трс = 1/ωс = (0.066…0,05) с (8.7)

Крс = (59...78.8)

Проверим величину статической ошибки скорости 🛆nс в замкнутой системе с П-РС

🛆nсзамкн = 🛆Мс/ Крс = (1.3…1.0)% (8.8)

🛆nсзамкн < Δncзад ,

Значит достаточно П – РС.

 (8.9)

Уточнение параметров регуляторов

Уточнение проведем с помощью логарифмических амплитудных частотных характеристик (см.рис.8.1 и 8.2).

Т1=0.09 с Т2=0.03 с Крс=40

Расчет значений сопротивлений и емкостей РТ и РС.

Регулятор тока

wкрт = 100 рад/с

Kpт =Т2/Т1= 0.333

T1 = 0.09 c

R4 = R5= 63 кОм

R6 =10 кОм

T2 = R4 \* С4

С4 = 0.5 мкФ

Регулятор скорости.

wкрс = 20 рад/с Kpс = 40

R3 = 400 кОм

R1=R2 =5 кОм

**9. Построение статических характеристик замкнутой системы электропривода**

Строим следующие характеристики электропривода:

-электромеханическую n = f(Iя),

-внешнюю Uя = f(Iя),

-регуляторные Uрт = f(Iя). Uрс = f(Iя),

-механическую n = f(M),

1. Uя = Ед + Iя Rяд (9.1)

Ед = w = 1 – Δw = 1 – Iя / Kpc

Uя = 1 + Iя(1/ Крс + Rяц)

2. Uрс = Кдтя \* Iя \* R4/R5 (9.2)

3. Uрт = Еп / Кп (9.3)

Кп = Uн / Uун = 220 / 6.25 = 35,2

4. n = f(M) (9.4)

Iя = M

Зависимости представлены на рисунке 9.1.

**10. Защиты в электроприводе и расчет их уставок**

В релейно-контакторной части комплектного тиристорного электропривода выполнен ряд защит, исключающих аварийные режимы при сборке силовой схемы и обеспечивающих отключение электропривода при возникновении аварийных режимов в процессе работы.

Защита от аварийных режимов при сборке схемы.

Защита выполнена на реле КVI, КV3 и предназначена для запрета сборки схемы (включения линейного контактора), если на преобразователе или двигателе существует напряжение, превышающее порог срабатывания реле.

Настраиваются реле на минимальное напряжение втягивания. Для приводов 220 В – Uвт=0,35\*220=80 В.

Нулевая защита.

Защита выполнена на блокировочном контакторе КFV, в цепь катушки которого включены все остальные защиты от аварийных режимов работающего двигателя, а также блок-контакты аппаратов, контролирующих нормальную работу тиристорного преобразователя, возбудителя и системы регулирования.

Контактор KFV обеспечивает контроль наличия оперативного напряжения и исключает самозапуск двигателя после исчезновения оперативного напряжения и его повторной подачи.

Напряжение втягивания контактора KFV обычно принимается равным 145 В при напряжении оперативной сети 220 В.

Защита от перенапряжения.

Реализована на реле KV2 и предназначена для отключения двигателя при подаче на него недопустимо большого напряжения от преобразователя (например, вследствие аварии и полного его открытия).

Установка реле KV2 рассчитывается по формуле:

Uвт=(1,1…1,15) Uнд = (242...330) В

Где Uвт-напряжение втягивания KV2, Uнд -номинальное напряжение двигателя.

Максимально токовая защита.

Реализована на реле FAI. Защита предназначена для отключения двигателя при недопустимой технологической перегрузке.

Уставка реле рассчитывается по формуле:

Iвт = (1,1…1,25) Км\*Iн = (1,2…1,25)\*2,5\*632 = (1896…1975) А

где Iвт - ток втягивания реле FAI,

Км – перегрузочная способность двигателя,

Iн – номинальный ток двигателя.

Максимальная защита цепи возбуждения.

Защита выполнена на реле КА2 и предназначена для отключения двигателя при коротком замыкании в цепи обмотки возбуждения.

Уставка реле рассчитывается по формуле:

Iвт = 1,1 Iвн =5,324 А,

Где Iвт-ток втягивания КА2, Iв.расч - расчетное значение тока возбуждения двигателя, которое принимается при нерегулируемом потоке двигателя равным номинальному току возбуждения, при постоянно ослабленном потоке- току возбуждения при этом потоке, при регулируемом потоке-максимальному току возбуждения.

Защита от обрыва поля.

Защита реализована на реле КА1 и предназначена для отключения двигателя при обрыве в цепи обмотки возбуждения. Расчет уставки втягивания реле КА1 выполняется в зависимости от способа управления потоком возбуждения.

При постоянном потоке возбуждения ток втягивания реле КА1

Iвт = (0,5…0,7) Iвн = 2,42… 3,388А,

Защита от недопустимого увеличения скорости двигателя.

Защита выполняется посредством механического центробежного реле SR.как правило, центробежная защита выполняется на именниковых двигателях мощностью от 100 кВт и выше при условии регулирования потока возбуждения. Уставка центробужного реле обычно задается заводом-изготовителем двигателя и лежит в пределах:

Nвт = (1,1…1,2) nмакс = 1650…1800 об/мин,

Где nвт-скорость срабатывания центробежного реле, nмакс-максимальная рабочая скорость вращения двигателя.

**11. Исследование качества процессов в проектируемой системе электропривода**

Исследование влияния изменения параметра Т4 на вид переходных процессов представлена на рисунке 11.1 .

1.Крс=40 с

Пере регулирование σ=0

Время переходного процесса tпп=0,5 с

2. Крс=80 с

Пере регулирование σ=0

Время переходного процесса tпп=0,2 с

Крс=160 с

Пере регулирование σ=0

Время переходного процесса tпп=0,1 с

**12. Вывод**

В данном курсовом проекте был спроектирован комплектный тиристорный электропривод постоянного тока на основании технических требований представленных в таблице №1. Для этого, выбран двигатель П 102, определена структура системы управления, выбран тиристорный преобразователь КТЭУ 800/220-532-1ВМДТ-УХЛ4 и трансформатор ТСЭП – 250/0,7У3 к нему, произведен синтез регуляторов.

**Литература**

1.Усынин Ю. С. Управление замкнутыми электроприводами: Конспект лекций . Ч.1. –

2. Усынин Ю. С., Осипов О. И., Мацин В. П.. Системы управления электроприводов: Учебное пособие к курсовому проектированию.-

3. Лебедев Е. Д.. Управление вентильными электроприводами постоянного тока. М.: Энергия 1970

4. Справочные данные по электрооборудованию. В 2 – х т. Т. 1. Электрические машины общего применения. – Л.: Энергия, 1964.

**Спецификация**

Рисунок 8.1 ЛАЧХ для уточнения параметров КРТ

Рисунок 8.2 ЛАЧХ для уточнения параметров КРС.

Рисунок 11.1. Влияние параметра Крс на показатели качества переходных процессов

