1. **Введение.**

Электропривод представляет собой электромеханическую систему, состоящую из электродвигательного, преобразовательного, передаточного и управляющего устройств, предназначенную для приведения в движение исполнительных органов рабочей машины и управления этим движением.

Современное машинное устройство или, как его называют иначе, производственный агрегат состоит из большого числа разнообразных деталей, отдельных машин и аппаратов, выполняющих различные функции. Все они в совокупности совершают работу, направленную на обеспечение определенного производственного процесса. Необходимо хорошо знать назначение отдельных элементов, составляющих машинное устройство, так как без этого невозможно проектировать и создавать машину, а также невозможно правильно обслуживать ее в эксплуатации.

Различают регулируемый ЭП , параметры движения которого могут изменяться по внешним командам, и нерегулируемый. Наиболее совершенным видом регулируемого ЭП является электропривод постоянного тока, в котором регулирование осуществляется изменением среднего значения напряжения, приложенного к якорю электродвигателя постоянного тока. В последнее время в качестве источника регулируемого напряжения постоянного тока используют, как правило, тиристорные преобразователи (ТП). Такие электроприводы называются тиристорными.

Электропривод, разработанный в данном проекте, может быть использован в различных производственных механизмах, где требуется автоматическое регулирование скорости, большая жесткость механической характеристики и широкий диапазон регулирования.

  **3. Выбор структуры системы управления электропривода.**

 Выбор структуры системы управления электропривода производится с учетом требований технического задания на электропривод. Основными требованиями к электроприводу являются: поддержание заданной скорости вращения электропривода (с учетом требуемых диапазона регулирования скорости, допустимой статической погрешности поддержания скорости), величина токоограничения при упоре, ускорение электропривода при пуске.

 Для управления электроприводом принимаем двухконтурную схему с внешним контуром регулирования скорости и внутренним подчиненным контуром регулирования тока якоря двигателя.

 В качестве внутреннего контура принимаем контур регулирования тока якоря. Он применяется, если требуется обеспечить:

-ограничение тока якоря допустимым значением при перегрузках электропривода;

- пуск или торможение электропривода с максимально возможным темпом;

- дополнительную коррекцию во внешнем контуре регулирования скорости.

В качестве внешнего контура принимаем контур регулирования скорости.

  **4.** **Выбор комплектного тиристорного электропривода.**

 Основными техническими данными комплектных тиристорных электроприводов являются номинальные ток Iнтп и напряжение Uнтп. Номинальный ток комплектного электропривода должен быть больше номинального тока двигателя:

 Iнтп ≥ Iндв.

Номинальное напряжение двигателя должно быть меньше номинального напряжения комплектного привода на 5 - 10 %, что обеспечивает запас на регулирование скорости и на безопасное инвертирование при снижении напряжения питающей сети.

Выбор комплектного тиристорного электропривода производим по току, напряжению и регулируемой координате (в данном случае - скорости).

 Принимаем комплектный тиристорный электропривод унифицированной серии КТЭУ мощностью до 2000 кВт:

 КТЭУ-500/220-13212-УХЛ4.

 Цифры типообразования имеют следующие значения:

500 - номинальный ток электропривода;

220 - номинальное напряжение электропривода;

1 - электропривод однодвигательный;

3 - режим работы: реверсивный с изменением полярности напряжения на якоре;

2(первая) - исполнение ТП по способу связи с сетью: с трансформатором;

1 - основной регулируемый параметр: скорость, однозонное регулирование;

2(вторая) - состав коммутационной аппаратуры силовой цепи: с линейным контактором и динамическим торможением;

УХЛ4 - исполнение для районов с умеренным и холодным климатом.

 В состав КТЭУ входят:

* электродвигатель постоянного тока с тахогенератором;
* ТП для питания якоря электродвигателя, состоящий из силовых тиристоров с системой охлаждения, защитных предохранителей, разрядных и защитных RLC-цепей, СИФУ, устройств выделения аварийного режима, контроля предохранителей и защиты от перенапряжений;
* ТП для питания обмотки возбуждения;
* силовой трансформатор;
* коммутационная и защитная аппаратура в цепях постоянного и переменного тока;
* сглаживающий реактор в цепи постоянного тока;
* устройство динамического торможения;
* система управления электроприводом;
* комплект аппаратов, приборов и устройств, обеспечивающих оперативное управление, контроль состояния и сигнализацию электропривода;
* узлы питания электромагнитного тормоза;
* контрольно-испытательные стенды.

 Состав преобразовательной части ЭП.

Преобразовательная часть электропривода состоит из силовых тиристоров, системы их охлаждения, защитных RC-цепей, системы гальванического разделения и преобразования уровня управляющих импульсов, СИФУ, системы защит и сигнализации. К преобразовательной части относят также сетевой трансформатор, автоматические выключатели на стороне постоянного и переменного тока, сглаживающий реактор.

Сетевые трансформаторы по своим номинальным параметрам - напряжению и току - согласуются с номинальными параметрами электропривода. Автоматические выключатели применяют для защиты ТП и электродвигателя в аварийных режимах. В основном используются автоматические выключатели серий А3700 и ВАТ-42.

Назначение сглаживающих реакторов - уменьшать пульсации тока якоря электродвигателя, ухудшающие его коммутацию, зону прерывистых токов и скорость нарастания аварийного тока.

 Силовая часть ТП.

 Основной схемой преобразования в комплектных тиристорных электроприводах является трехфазная мостовая. Увеличение номинального тока ТП достигается параллельным включением тиристоров в плече. Защита тиристоров осуществляется предохранителями типа ПП57.

 Для выравнивания токов в параллельно включенных тиристорах применяют индуктивные делители тока. В вентильных однофазных блоках (БВО) индуктивность делителя равна 4 - 5 мкГн. Для снятия перенапряжений при коммутации тиристоров используют RC-цепи, включенные параллельно тиристорам. Для потенциального отделения цепей формирования управляющих импульсов тиристоров от высокопотенциальных цепей управляющих электродов устанавливают импульсные трансформаторы.

 В реверсивных электроприводах используется противопараллельное включение выпрямительных мостов. Для устранения уравнительных токов предусматривается раздельное управление выпрямительными мостами.

Силовая часть ТП состоит из тиристоров Т9-250, по 3 тиристора в плече. Вентиляция тиристоров принудительная. Предохранители для тиристоров не предусмотрены.

 Система импульсно-фазового управления.

Система импульсно-фазового управления (СИФУ) предназначена для преобразования выходного напряжения системы управления uу в последовательность подаваемых на тиристоры отпирающих импульсов, момент формирования которых смещен относительно моментов естественного отпирания тиристоров на угол α, зависящий от значения uу.

В современных электроприводах СИФУ выполняют как синхронные многоканальные, т. е. в них выполняется отсчет угла α от моментов естественного отпирания для каждого плеча моста (или для каждой пары противофазных плеч). СИФУ состоит из узла формирования опорных напряжений, компараторов, сравнивающих напряжение управления uу и опорные напряжения uоп, узлов, преобразующих моменты переключения компараторов в импульсы управления тиристорами, узлов ограничения диапазона изменения угла α и выходных усилителей. В реверсивных электроприводах СИФУ дополняется узлом выбора выпрямительного моста АВ.

 СИФУ имеет следующие технические данные:

Максимальное входное напряжение, В, не более ...........................8-10

Входной ток, мА, не более...............................................................5

Напряжение синхронизации с питающей сетью трехфазное, В......380 или 100

Допустимые коммутационные провалы, %\*град............................400

Температурный дрейф характеристики при изменении

 температуры от 1 до 40 С, %, не более.......................................4

Диапазон изменения угла управления, град....................................5 - 170

Асимметрия импульсов отдельных каналов, град, не более...........3

 СИФУ гальванически отделена от силовой части электропривода. В реверсивных электроприводах СИФУ дополняется узлом выбора выпрямительного моста АВ. Устройство раздельного управления АВ обеспечивает бестоковую паузу не более 5-7 мс с возможностью ее регулировки.

 СИФУ электроприводов серии КТЭУ выполняется с широким использованием операционных усилителей серии К5553УД2, логических интегральных микросхем серии К511.

СИФУ электроприводов серии КТЭУ имеют следующие особенности:

* косинусоидальное опорное напряжение;
* 6-канальное устройство фазосмещения;
* использование одного устройства фазосмещения для обоих выпрямительных мостов в реверсивных ЭП;
* высокочастотное заполнение узких отпирающих импульсов;
* использование сигналов с трансформаторов переменного тока для работы логического переключающего устройства.

 Система защит преобразовательной части.

Преобразовательная часть тиристорных ЭП снабжается быстродействующей системой защиты, назначение которой - обнаружить аварию и локализовать ее, уменьшить ее вредные последствия. Большая часть аварий влечет за собой появление значительных токов в тех или иных элементах силовой цепи, и поэтому основное назначение защиты - ограничивать рост тока в силовой цепи. Некоторые виды аварий могут вызвать выход из строя элементов схемы без увеличения тока; например, отключение принудительной вентиляции вызовет перегрев тиристоров даже при номинальном токе; некоторые элементы выходят из строя при появлении перенапряжений, в частности, приходящих из питающей сети.

ЭП имеют следующие виды защит:

* от выхода из строя тиристоров при внешних и внутренних коротких замыканиях, открывании тиристора в неработающей группе, опрокидывании инвертора;
* от перенапряжений на тиристорах;
* от аварийной перегрузки тиристоров;
* от развития аварийных процессов при исчезновении напряжения собственных нужд и силового напряжения;
* от недопустимой продолжительности работы при исчезновении принудительной вентиляции (где она применяется);
* от снижения тока возбуждения двигателя ниже допустимого;
* от превышения допустимого тока возбуждения;
* от перенапряжения на якоре двигателя;
* от превышения скорости двигателя;
* от неправильного порядка сборки схемы;
* от перегрузки двигателя, превышающей заданную в течение определенного времени (до 20 с) или защиту по среднеквадратичному току;
* от аварийных режимов маслонаполненного трансформатора;
* от включения ТП на вращающийся двигатель или при напряжении на выходе ТП, не равном нулю;
* от нарушения изоляции элементов силовой цепи.

При всех видах защит обеспечивается определенная селективность защит, не допускающая перегорания предохранителя или тиристора, если данная авария может быть отключена автоматическим выключателем или сеточной защитой ТП, переводящей импульсы управления в инвертор. Для облегчения эксплуатации и поиска неисправностей ЭП снабжены аварийной и предупреждающей сигнализацией. Аварийные и предупреждающие сигналы запоминаются с выдачей их на световую индикацию и во внешней цепи.

В ЭП серии КТЭУ защита основана на измерении тока нагрузки датчиком тока, подключенным к шунту, и переменного тока на входе выпрямителя с помощью трансформаторов тока. Предусмотрена система контроля состояния предохранителей и вентиляции.

 Системы управления ЭП.

Системы управления обеспечивают требуемые характеристики ЭП. Они состоят из аналоговых или цифровых регуляторов, изменяющих с необходимой точностью по заданному закону основную координату ЭП и ограничивающих допустимые значения промежуточных координат, логических систем, служащих для управления режимами ЭП, сигнализации и защиты.

В зависимости от использованной элементной базы системы управления выполняются аналоговыми, цифровыми и цифро-аналоговыми. Наибольшее распространение в настоящее время получили аналоговые системы. Преимущественное распространение получили системы, построенные на принципах подчиненного регулирования параметров с последовательной коррекцией.

Системы управления данного ЭП строятся из аналоговых элементов, которые объединяются в функциональные узлы, решающие определенные задачи, многие из которых повторяются в различных по своему назначению системах управления.

Системы управления КТЭУ строятся на типовых элементах унифицированной блочной системы регуляторов УБСР-АИ аналогового действия, объединенных по принципу единства конструкции, вида входных и выходных сигналов, напряжений питания. Элементы УБСР-АИ выполняются в виде двусторонних печатных плат с широким применением полупроводниковых и гибридных интегральных микросхем (ГИС) и являются наименьшими сменными модулями системы управления.

Особенностью элементной базы ячеек серии ЯФУ, применяемой в КТЭУ, является применение операционных усилителей (ОУ) типа К553УД2, логических элементов серии К511, бесконтактных ключей типа К284КН1, оптронов типа К293ЛП1А. Ячейки серии N построены на ГИС типов Р1 и Р5, логических элементах серии К561, сборках полевых транзисторов типа К190КТ2П в качестве бесконтактных коммутаторов, оптронах типа АО101.

Питание ячеек осуществляется стабилизированным напряжением ±15 В. Уровни выходных напряжений - до 10 В, сопротивление нагрузки - не менее 2 кОм.

**ОУ типа К552УД2 имеет следующие параметры:**

Коэффициент усиления по напряжению, не менее.........................2⋅104

Выходное напряжение при Rн 2 кОм, В...........................................±10

Входной ток, мкА..........................................................................до 1,5

Напряжение смещения нуля, приведенное ко входу, мВ,

не более...............................................................................................7,5

Ток потребления, мА.............................................................................6

Полоса пропускания в режиме с единичной отрицательной

обратной связью, МГц..................................................................до 0,8

Скорость нарастания выходного напряжения, В/мкс.......................0,5

**Логические элементы серии К511 имеют следующие**

**параметры:**

Входное напряжение логического 0, В, не более............................6

Входное напряжение логической 1, В, не менее.............................8

Выходное напряжение логического 0, В, не более.........................1,5

Выходное напряжение логической 1, В, не менее..........................13,5

Выходной ток, мА, не более............................................................12

Ток потребления, мА....................................................................15 - 35

Время задержки, мкс, не более........................................................0,4

Напряжение питания, В....................................................................15

Микросхема типа К284КН1Б содержит 3 независимых ключа со схемами управления.

**Основные параметры ключа:**

Сопротивление в проводящем состоянии, Ом...............................250

Ток утечки в непроводящем состоянии, мкА.................................0,01

Напряжение управления проводящего ключа, В.........................2,3-2,5

Напряжение управления непроводящего ключа, В.........................0-0,4

Ток управления, мА..........................................................................3

Время переключения, мкс................................................................3

Ток потребления от источника -15 В, мА......................................до 12

Микросхема К293ЛП1А - оптронный переключатель-инвертор: входному току Iвх около 10 мА соответствует логический 0 на выходе микросхемы при напряжении не более 0,4 В. При Iвх=0 на выходе появляется логическая 1 с напряжением 2,4 В.

**Основные параметры:**

Падение напряжения на входном излучающем диоде, В...............1,5

Потенциал разделяемых цепей, В................................................до 100

Время включения, мкс.....................................................................0,5

Выходной ток, мА..........................................................................до 20

Напряжение питания, В....................................................................5

 Срок службы электропривода составляет 15 - 20 лет, наработка на отказ в течение времени двухлетней гарантийной работы - 4000-6500 ч. Электропривод сохраняет свои номинальные параметры при изменении напряжения питающей сети 380 В на +10 или -15 %. КПД электроприводов без учета потерь в двигателе составляет в зависимости от мощности 0.9-0.97.

Коэффициент мощности составляет 0.82-0.85.

 **5. Определение параметров силового электрооборудования.**

Выбору и проверке подлежат трансформатор, сглаживающий реактор и коммутирующая аппаратура.

 Трансформаторное оборудование, используемое для КТЭУ, соответствует общим техническим требованиям ГОСТ 16772-77. Трансформаторное оборудование выбирается в соответствии с параметрами ТП.

 Принимаем трансформатор ТСЗП-160/0,7-УХЛ4 с номинальными данными:

 мощность - S=143, кВА;

 напряжение сетевой обмотки - U1= 380, В;

 Вентильная обмотка:

 напряжение - U2=202, В;

 ток - I2=408, А;

 Преобразовательная обмотка:

 напряжение - Uв=230, В;

 ток - Iв=500, А;

 Потери

 холостого хода - Pхх=795, Вт;

 короткого замыкания - Pкз=2400, Вт;

 Напряжение короткого замыкания - Uк=4,5 %;

 Ток холостого хода - Iхх=5,2 %;

 Обозначение типа трансформатора содержит следующие данные:

 Т - число фаз (трехфазный);

 СЗ - охлаждение естественное воздушное при защищенном исполнении;

 160 - типовая мощность в кВА;

 0,7 - класс напряжения сетевой обмотки в кВ;

 УХЛ4 - климатическое исполнение и категория размещения по

ГОСТ 15150-69.

 Реакторное оборудование, используемое в КТЭУ, соответствует общим техническим требованиям ГОСТ 16772-77.

 Принимаем реактор ФРОС-500/0,5У3, с номинальными параметрами:

- постоянный ток - Iн=500, А;

 - индуктивность - Lн=3,25, мГн;

- активное сопротивление - Rа=7,5, мОм.

Определим параметры силового электрооборудования.

Активное сопротивление якорной цепи:

Rяц=Rдв+2Rтр+Rр+Rц, где

Rдв - активное сопротивление двигателя;

Rтр - активное сопротивление трансформатора;

Rр - активное сопротивление реактора;

Rп - активное сопротивление тиристорного преобразователя.

Активное сопротивление трансформатора рассчитывается по формуле:



где Uка - активная составляющая напряжения короткого замыкания;

 Uка=Uк⋅0,31=4,5⋅0,31=1,395 %

 U1ф, I1ф - напряжение и ток первичной обмотки трансформатора;

 k - коэффициент трансформации;

 k=U1/U2=380/202=1,881;

где U1,U2 - напряжения первичной и вторичной обмоток трансформатора;

 I1ф=I2ф/k=262/1,881=216,9;

Находим активное сопротивление трансформатора:



Реактивное сопротивление трансформатора рассчитывается по формуле:



где Uкр - реактивная составляющая напряжения короткого замыкания;

 Uкр=Uк⋅0,95=4,5⋅0,95=4,275.

Находим реактивное сопротивление трансформатора:



Активное сопротивление тиристорного преобразователя:



где m - число тиристоров. В данном случае m=6.

Находим активное сопротивление якорной цепи:

Rяц=0,0369+2.0,004+0,0075+0,0117=0,0604, Ом.

Суммарная индуктивность якорной цепи:

Lяц= Lтр+ Lр+ Lдв,

где Lтр - индуктивность обмоток трансформатора, находится:



 где f1 - частота питающей сети - 50 Гц;

 Lр - индуктивность сглаживающего реактора;

 Lдв - индуктивность якоря двигателя, находится:



 где p - число пар полюсов двигателя;

 p=2.

 Найдем суммарную индуктивность якорной цепи:

Lяц=0,039⋅10-3+3,25.10-3+1,64⋅10-3=4,929⋅10-3, Гн.

 Электромагнитная постоянная времени якоря:



Жесткость естественной характеристики электропривода:



Механическая постоянная времени электропривода:



Максимальный ток якорной цепи двигателя (ток упора):

Iя max=2,5⋅Iн=2,5⋅385,2=963, А.

Определим коэффициенты передачи элементов электропривода. При этом будем считать, что рабочие области передаточных характеристик линейны, а сигнал управления, соответствующий максимальному значению управляемого параметра равен 10 В, т. е. максимальному уровню напряжения системы управления.

Коэффициент передачи тиристорного преобразователя:



 где Udном - номинальное напряжение на выходе тиристорного преобразователя;

 UСИФУmax - максимальное входное напряжение СИФУ.

Коэффициент передачи обратной связи по скорости:



 где ω0 - скорость холостого хода двигателя (принимаем её как максимальную).

Коэффициент передачи обратной связи по току:



Коэффициент передачи датчика напряжения:



Статизм системы при М=Мном:



 где k - суммарный коэффициент усиления элементов электропривода до двигателя;

k=kрс⋅kрт⋅kтп/kФ=8,57⋅1,61⋅23/1,965=161,5.

Uз - напряжение задания при максимальной скорости.

Uз=10 В.

Определим статизм системы:



 **6. Синтез регуляторов.**

Регулятор тока якоря получает на вход сигнал задания uзт с выхода регулятора скорости и сигнал обратной связи uдт с выхода датчика тока. На выходе он формирует напряжение управления uу в СИФУ ТП, определяющее угол управления тиристоров α. Параметры регулятора выбираются по соотношениям:

R2C=Tя; R1C=Tи;

Сигнал обратной связи по току снимается с шунта, установленного в главной цепи; датчик тока осуществляет гальваническое разделение цепей управления от главных цепей и усилению по напряжению. Возможно также использование датчика тока на основе трансформаторов тока, установленных на стороне переменного тока ТП, и ключей, изменяющих полярность обратной связи при переключении выпрямительных мостов.

На регулятор тока возлагаются также другие функции: ограничение скорости нарастания тока di/dt, улучшение динамики контура тока в зоне прерывистого тока, компенсация влияния ЭДС двигателя на характеристики контура, обеспечение режима стоянки электродвигателя, управление переключением выпрямительных мостов реверсивного ТП.

В системах подчиненного регулирования выходной сигнал регулятора скорости является сигналом задания тока uзт для регулятора тока. На регулятор скорости и связанные с ним узлы возлагаются дополнительные задачи: ограничение сигнала uзт допустимым значением, которое может зависеть от значения потока двигателя Ф, ограничение скорости изменения тока di/dt, формирование требуемой жесткости механических характеристик ЭП, прием сигналов задания скорости двигателя ωдв, обеспечение изменения ωдв с определенным ускорением и др.

В КТЭУ предусмотрена возможность использования двух задатчиков скорости: сельсинового командоаппарата UR и ступенчатого задатчика AQ на 3 ступени “вперед” или “назад”. Выходы этих задатчиков соединяются вместе и подаются на вход задатчика интенсивности. В каждый момент задает скорость тот задатчик, который выбран (разрешен) внешним сигналом. Имеется вход для общего запрета задания, а также конечные ограничения для хода “вперед” или “назад”. При нуле нуль-орган AU выдает сигнал, разрешающий сборку схемы.

 **7. Выбор защит и их уставок.**

Выключатели автоматические АК-63 предназначены для отключения при перегрузках и коротких замыканиях электрических цепей напряжением постоянного тока до 440 В (однополюсные до 240 В) или переменного тока частотой 50-60 Гц до 500 В, оперативных включений и отключений (до 30 в час) этих цепей.

Механическое и коммутационное износостойкость свободных контактов выключателей – 40000 циклов. Свободные контакты включателей допукают нагрузку в продолжительном режиме током 2,5 А. Предельный ток включения 10 А. Предельный ток отключения:

постоянный при напряжении 220 В и постоянной времени цепи 0,01 с – 0,25 А;

переменный частотой 50 Гц при коэффициенте мощности 0,4: при напряжении127 В будет 2,5 А, при напряжении 220 В – 1,6 А, при напряжении 380 В – 1,0 А, при напряжении 440 В - 0,5 А.

 Реле электромагнитные РЭВ800 применяют в схемах автоматического управления в качестве электромагнитных реле времени, контроля тока, контроля напряжения и промежуточных, они пригодны для работы прерывесто-продолжительном и повторно-кратковременном режимах.

 Реле контроля напряжения и промежуточные РЭВ821, РЭВ822, РЭВ825, РЭВ826 изготовляют с втягивающими катушками на номинальные напряжения 24, 48, 110 и 220 В. Масса реле не более 5 кг.

 Реле минимального тока РЭВ830 изготовляют с втягивающими катушками на номинальные токи 0,6; 1; 1,6; 2,5; 4; 6; 10; 16; 25; 40; 63; 100; 160; 250; 320; 400 и 630 А. Конструкция реле допускает применение токовых катушек на большие значения номинальных при сохранении номинального значения МДС, равного 2400 А. Реле регулируют на ток втягивания в пределах 30-80 %. Коэффициент возвратареле не номинируется и состовляет ориентировочно 0,3. Реле имеет один замыкающий, один размыкающий контакты. По условиям динамической устойчивости втягивающая катушка тока обеспечивает протекание 10-кратного по отношению к номинальному тока в течение 0,5 с. Номинальный ток контактов 10 А.

 Контакторы однополюсные постоянного тока типа КП207 предназначенны для коммутирования силовых электрических цепей генераторов и электродвигателей постоянного тока при номинальном напряжении 600 В. Они исполняются с замыкающими главными контактами. Контактор КП207 отличается от соответствующего исполнения контактора КП7 наличием отключающих пружин. Номинальный ток контактора КП207У3 2500 А, номинальное напряжение 600 В. Контакторы расчитанны на продолжительный режим работы при номинальном токе. Предельно допустимое число включений в час – 30. Собственное время срабатывания контактора КП207 (с учетом реле форсировки) замыкания – 0,25 с, размыкания – 0,05-0,08 с. Контакторы могут изготовляться со встроенным максимальным реле, имеющим один замыкающий и один размыкающий контакты. Установки тока срабатывания максимального реле контактора КП207У3 1250, 1600, 2500, 3750, 5000 А. Контакторы имеют три замыкающих и три размыкающих вспомогательных контакта, из которых один размыкающий контакт задействован в цепи форсировки катушки. Для расширения диапазона регулирования и повышения точности используются замкнутые системы регулирования. Идея замкнутых систем регулирования сводится к тому, что в системе автоматически компенсируется воздействие возмущающих факторов и угловая скорость или момент двигателя могут с большей точностью поддерживаться на требуемом уровне.

 Обратные связи делятся на жесткие и гибкие. Жесткие связи действуют как в переходном, так и в установившемся режимах работы, гибкие – только в переходном режиме. Различают положительные и отрицательные обратные связи. При увеличении регулируемой величины положительная связь еще больше ее увеличивает, а отрицательная, наоборот, уменьшает. Обратные связи могут передавать сигналы, пропорциональные значению или производной (иногда интегралу) от значения напряжения, тока (или момента), скорости, угла поворота и т. п. В этих случаях они называются ( жесткими или гибкими, положительными или отрицательными) обратными связями соответственно по напряжению, току, скорости, углу.

 Для осуществления автоматического регулирования необходимо измерить сигнал обратной связи, затем этот результат в виде напряжения сравнить ( произвести алгебраическое суммирование) с заданным в виде напряжения значением регулируемой величины и направить результат сравнения регулируемому объекту. Обычно энергии измерительного органа оказывается недостаточно для воздействия на регулирующий орган, поэтому возникает необходимость в применении усилительного устройства. Перечисленные элементы (измерительный орган, усилитель и регулирующий орган) входят в устройство регулятора, осуществляющего процесс регулирования.

 Таким образом, система автоматического регулирования состоит из регулируемого объекта и регулятора, реагирующего на изменение регулируемой величины.

 Ограничение момента, развиваемого приводом, до требуемого значения с определенной точностью может произойти, например, при снижении ЭДС преобразователя, питающего якорь двигателя постоянного тока независимого возбуждения. Автоматически это выполняется при использовании соответствующей обратной связи. В данном случае целесообразно применить отрицательную обратную связь по току, которая вступает в действие при достижении током ( или моментом при Ф = const) заданного значения.

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

Для построения статических характеристик воспользуемся передаточными функциями электропривода по контурам U®w и Мс®w:

 



 Построение естественной характеристики двигателя будем вести по двум точкам – при работе двигателя на холостом ходу и в номинальном режиме. При работе двигателя на холостом ходу отсутствует воздействие по каналу возмущения, поэтому расчет ведем только по каналу задания. В статическом режиме оператор p=0. Передаточная функция по каналу задания будет иметь вид:



 Значения скорости холостого хода при номинальном напряжении определяется:

w0=Wu®w(p)ЧUн=0,5089Ч220=111,96 рад/с.

 Падение скорости при номинальном моменте Dw определяется сигналом по возмущающему воздействию:



Dw= WM®w(p)ЧMc=0,0166.Ч716,25=11,89 рад/с;

#  Значение скорости при номинальном моменте равно

wн=w0-Dw=111,98-11,89=100,1 рад/с;

#  Построение основной характеристики ЭП.

# Строим также по двум точкам – при моменте номинальном и при М=0.

Скорость холостого хода остаётся неизменной (w0=111,96 рад/с), а падение скорости Dw изменится, так как увеличится сопротивление якорной цепи, что уменьшит жесткость характеристики.

 

 Падение скорости равно (Dw):

Dw=WMc®w(p)ЧMн=0,0295Ч430=12,66 рад/с.

#  Значение скорости при номинальном моменте (wн):

wн=w0-Dw=112,8-12,66=100,14 рад/с.

 Статическую характеристику замкнутой системы построим по двум точкам, используя значение номинальной скорости и жёсткости.

wн=104,7 рад/с,



где: w0з – скорость холостого хода замкнутой системы.