Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования

«Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»

Кафедра «Электроэнергетика и электротехника»

**Расчёт автоматизированного электропривода**

Методические указания по дисциплине

### Б.1.1.12 «Электрический привод»

Для студентов направления подготовки

13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Саратов 2020

#### **ЗАДАНИЕ НА КУРСОВОЙ ПРОЕКТ**

1. Выбрать электродвигатель и элементы системы управления автоматизированного электропривода, обеспечивающего при заданной нагрузочной диаграмме (***рис.1***) диапазон регулирования скорости вращения ***D*** с относительной ошибкой ***δ***.

При пуске двигателя и перегрузках вращающий момент должен удерживаться в пределах от ***М1*** до ***М2***.

Номинальная угловая скорость ***ωн.*** Привод нереверсивный.

1. Составить принципиальную схему привода.
2. Рассчитать статические характеристики на ***ЦВМ***.
3. Построить статические характеристики привода для верхнего и нижнего пределов диапазона регулирования.

##### **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

Целью курсового проектирования является обобщение и углубление знаний, полученных при изучении курса “Электрический привод”.

Автоматизированный электропривод с унифицированными системами регулирования в последнее десятилетие завоевал прочные позиции среди всех видов электроприводов, и область применения его постоянно расширяется.

Всё большее распространение получает комплексный электропривод на базе законченной унифицированной конструкции, включающей в себя все основные элементы электропривода с полной или повышенной заводской готовностью. Создание его требует комплексного подхода к выбору двигателя, источников питания, системы регулирования с единых позиций на базе всесторонней унификации.

Бурное развитие вычислительной техники обеспечило её широкое применение для автоматизации проектирования и научных исследований. Внедрение систем автоматизированного проектирования (***САПР***) позволяет в среднем в 5-6 раз повысить производительность труда проектировщиков, сэкономить до 30% материалов. Курсовое проектирование студентов затрагивает один из основных этапов ***САПР***–поиск оптимального технического решения на первичной стадии проектирования.

В настоящее время в качестве регулируемых электроприводов широко применяют приводы с двигателями постоянного тока независимого возбуждения. При этом регулирование скорости вращения производится изменением напряжения на якоре при помощи тиристорных преоб-разователей. Отечественная промышленность выпускает ряд комплектных тиристорных регулируемых приводов и отдельно тиристорных преобразователей [1]. При выполнении курсового проекта следует ориентироваться именно на них.

Для стабилизации скорости вращения в этих приводах применяется обратная связь по скорости или (в случае приводов малой мощности и диапазоне регулирования ***D***<100) по ***ЭДС*** якоря. Для ограничения величины вращающего момента вводится отсечка по току и ограничивается величина выходного сигнала. Расчёт статики привода рекомендуется провести в следующем порядке.

**1. ВЫБОР ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ**

Электродвигатель выбирается исходя из эквивалентного момента и номинальной скорости вращения. Эквивалентный момент определяется по нагрузочной диаграмме производственного механизма (***рис.1***) одним из методов [2]. Им может быть как двигатель общего применения серии ***П***, так и специальный, предназначенный для регулируемого электропривода. Технические данные двигателей общего применения широко представлены в каталогах [3]. В приложении приведены технические данные некоторых специальных электродвигателей.

***МС***

***МС1***

***МС2***

***МС3***

***МС1***

***t1***

***t2***

***t3***

***t1***

***0***

***t***

Рис.1 Нагрузочная диаграмма

производственного механизма

Параметры двигателя, необходимые для дальнейшего расчёта ***Rg*** и ***Lg*** определяются по методике, изложенной в [4]. Коэффициент передачи двигателя, представляющий собой отношение изменения выходной величины (угловая скорость) к изменению входной (напряжение на якоре), при номинальном потоке можно определить по формуле

**~**

RH

а)

**~**

RH

б)

~

~

~

RH

в)

RH

~

~

~

г)

Рис.2 Схемы тиристорных преобразователей

,

где ***Iян*** – номинальный ток якоря, определяемый как разность между номинальным током двигателя и номинальным током цепи возбуждения;

***Uн*** – номинальное напряжение двигателя.

При определении сопротивления якорной цепи необходимо помимо сопротивлений собственного якоря, добавочных полюсов и компенсационной обмотки (приведённых к температуре 75*˚С*), учесть также сопротивления шунтов и тахометрического моста, если их предполагается использовать.

**2. ВЫБОР СХЕМЫ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ**

Схема преобразователя (точнее – схема ‑ выпрямителя) должна требовать наименьшее число вентилей (тиристоров) и в то же время уровень пульсаций выпрямленного тока не должен превышать допустимых пределов. Мостовые схемы выпрямления требуют вдвое большее число вентилей, чем схемы с нулевым проводом. Но при мостовой схеме выпрямления существенно ниже уровень пульсаций. Кроме того, при мостовой схеме к вентилям прикладывается более низкое обратное напряжение и лучше используется согласующий трансформатор.

В отечественной практике находят применение следующие схемы (в порядке возрастания сложности).

1. Однофазная с неуправляемым мостом и регулировочным тиристором (***рис.2, а***);
2. Однофазная с полууправляемым мостом (***рис.2, б***);
3. Трёхфазная с нулевым проводом (***рис.2, в***);
4. Трёхфазная мостовая (***рис.2, г***).

Наименьшие пульсации тока получаются при схеме на ***рис.2, г***, при схеме на ***рис.2, в***, уровень пульсаций выше, а самый высокий уровень пульсаций – при схеме на ***рис.2, а*** и ***рис.2, б***.

Трансформатор в схеме ***рис.2, в*** необходим для получения нулевой точки источника питания с изолированной нейтралью. В остальных схемах при мощности преобразователя менее 6*кВА* применение согласующего трансформатора не обязательно.

Количественно все эти схемы характеризуются рядом коэффициентов. Это коэффициент пульсаций ***КП***, характеризующий наибольший уровень пульсаций (при ***α***=90˚), коэффициент ***КН***, определяющий наибольшую величину напряжения, прикладываемого к тиристору, коэффициент загрузки тиристоров по току ***КТ***, коэффициент использования трансформатора ***КМ*** коэффициент схемы ***КС***.

Величины этих коэффициентов для приведённых схем предоставлены в ***табл.1***. Здесь ***Еdo*** – наибольшая величина выпрямленной ***ЭДС***, ***Uв макс*** – наибольшее напряжение, прикладываемое к вентилю, ***Un*** – переменная составляющая выпрямленного напряжения, ***Id*** – выпрямленный ток (ток нагрузки), ***U2*** и ***I2*** – напряжение и ток вторичной обмотки трансформатора (линейные значения), ***SТР*** – мощность трансформатора.

Серийные преобразователи небольшой мощности [1] при диапазоне регулирования скорости до 100 имеют однофазные схемы. При этом, если мощность привода ***Р***<0,2 *кВт,* то используется наиболее простая схема на ***рис.2, а*** (приводы ***ЭТО*** ***1***). При большей мощности используется схема на ***рис.2, б*** (приводы ***ЭТО 2*** и преобразователи ***ПТО***). Если диапазон регулиро-

Таблица 1

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Схема преобразователя | m |  |  |  |  |  |
| Однофазная мостовая | 2 | 0,94 | 1,57 | 1,0 | 1,92 | 1,11 |
| Трёхфазная  с нулевым проводом | 3 | 0,52 | 2,09 | 0,58 | 1,35 | 1,48 |
| Трёхфазная мостовая | 6 | 0,25 | 1,05 | 0,82 | 1,05 | 0,74 |

вания шире, то требования к уровню пульсаций выше и используются трёхфазные схемы (приводы и ***ПТЭР***).

**3. РАСЧЁТ ПАРАМЕТРОВ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА**

Подробная методика расчёта основных параметров силового трансформатора изложена в [5]. Ниже представлены основные положения этой методики.

Требуемое напряжение вторичной обмотки

, *В,*

здесь ***Кс*** – коэффициент схемы из ***табл. 1***;

***Кз*** =1,1 – коэффициент запаса, учитывающий возможное снижение напряжения в сети;

***КR*** =1,05 – коэффициент запаса, учитывающий падение напряжения в вентилях и коммутацию тока в вентилях.

По каталогу выбирается ближайшее большее напряжение вторичной обмотки ***U2***.

Требуемая мощность трансформатора

, *ВА,*

здесь ***Кi*** = 1,05+1,1 – коэффициент запаса, учитывающий отклонение формы тока от прямоугольной,

***КМ*** – коэффициент схемы из ***табл. 1***.

 - максимальная ***ЭДС*** преобразователя.

Среднее значение выпрямленного тока ***Id*** следует принимать равным номинальному току двигателя. По рассчитанной ***SТР*** по каталогам выбирается трансформатор. Для тиристорных приводов выпускаются специальные трансформаторы типа ***ТТ***, имеющие повышенную величину напряжения короткого замыкания ***UК%*** и дополнительную обмотку для питания цепей управления. Технические характеристики этих трансформаторов представлены в приложении.

Допускается использовать трансформаторы других типов. После выбора необходимо определить его параметры.

 

 

**4. ВЫБОР ВЕНТИЛЕЙ**

Выбор вентилей производится по среднему значению тока и наибольшему обратному напряжению.

Среднее значение тока вентиля

, *А*,

где ***m*** – коэффициент, зависящий от схемы выпрямления, выбирается по ***табл.1*** (при использовании схемы на ***рис.1, а*** следует принять ***m*** = 1).

Номинальный ток вентиля

, *А*,

где ***К3*** – коэффициент запаса, выбирается в зависимости от возможных перегрузок. При наличии отсечки по току ***К3*** = 2,0 – 2,5.

Наибольшее обратное напряжение, прикладываемое к вентилю,

,

где ***КН*** – коэффициент схемы,

 ***КЗ*** – коэффициент запаса, учитывающий разброс параметров трансформатора.

Для защиты вентилей от коммутационных перенапряжений, устанавливаются специальные цепочки. (Расчёт ***RC*** цепочек в данной работе не предусмотрен). Поскольку такая защита не может полностью устранить перенапряжения, номинальное напряжение вентилей принимается несколько большим

.

Затем по рассчитанным ***Uвн*** и ***Iвн*** по каталогу или справочнику выби-раются нужные вентили, а также способ их охлаждения.

**5. РАСЧЁТ ПАРАМЕТРОВ ЯКОРНОЙ ЦЕПИ**

Индуктивность якорной цепи рассчитывается, исходя из условия, что величина пульсаций тока не должна превышать 2–5%. Это диктуется условиями проектирования электродвигателей. Поэтому должно выпол-няться условие

,

здесь ***XL*** – индуктивное сопротивление якорной цепи, *Ом,*

***Iп макс***– наибольшая величина переменной составляющей тока в цепи якоря при номинальной нагрузке двигателя, *А*.

Тогда требуемая индуктивность якорной цепи

, *Г*,

где ***fn*** – частота пульсаций выпрямленного тока, *Гц,* определяется, исходя из схемы выпрямления.

Индуктивность якорной цепи складывается из индуктивности якоря двигателя и индуктивности трансформатора. Если их общая индуктивность меньше, чем требуемая, то необходимо предусмотреть установку сглаживающего дросселя, имеющего индуктивность

, *Г*.

Активное сопротивление якорной цепи складывается из сопротивлений якоря двигателя, трансформатора, сглаживающего дросселя и коммутационного сопротивления, учитывающего коммутацию тока в вентилях.

Коммутационное сопротивление определяется по формуле

, *Ом*,

где ***m*** – число коммутаций за один период.

Сопротивление дросселя принимается по справочным данным. Если таких данных нет, то его можно принять ориентировочно, исходя из условия, что для ограничения потерь падения напряжения на дросселе не должно превышать 2 *В* (при номинальном токе).

Если используется трёхфазная мостовая схема выпрямления, то ток течёт по двум фазам трансформатора одновременно, поэтому рассчитанные ранее ***RTP, XTP, LTP*** следует увеличить вдвое. По данному разделу рекомендуется литература (4, 5).

**6. РАСЧЁТ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ**

Расчёт параметров системы управления следует вести, исходя из допустимой статической ошибки ***δ*** в поддержании заданной скорости.

При этом рекомендуется следующий порядок:

1. По статическим характеристикам определяются коэффициенты передачи отдельных звеньев и их общий коэффициент передачи.
2. Определяется требуемое значение коэффициента передачи всей системы в разомкнутом состоянии.
3. Определяется коэффициент передачи промежуточного усилителя.

Для определения коэффициентов передачи отдельных звеньев необходимо построить предполагаемую функциональную схему системы электропривода. На ***рис.3*** представлена функциональная схема системы электропривода с обратной связью по скорости и отсечкой по току.

Статические характеристики некоторых систем импульсно – фазового управления (***СИФУ***) приведены в (1, 4, 5). На ***рис.4*** приведена статическая (регулировочная) характеристика ***СИФУ***, используемых в серийных электроприводах (1). Статическую регулировочную характеристику тиристорного преобразователя (***ТП***) можно построить по её аналитическому выражению:

для однофазных преобразователей

;

для трёхфазных преобразователей

.

Методика определения коэффициентов передачи изложена в (4). При их определении необходимо помнить два обстоятельства. Во-первых, регулировочные характеристики ***СИФУ*** и ***ТП*** нелинейны, поэтому при разных напряжениях управления коэффициенты передачи будут иметь разные значения.

Во-вторых, относительное значение статической ошибки зависит от скорости вращения. На нижней границе диапазона регулирования оно выше, чем на верхней. Поэтому расчёт рекомендуется провести дважды, то есть и для верхней и для нижней границы диапазона.

У

СИФУ

ТП

Д

ТО

***U3***

***δU***

***UТО***

***I2***

***UУ***

***α***

***UТГ***

ТГ

***ω***

***Еd***

Рис.3 Функциональная схема электропривода

Общий коэффициент передачи в разомкнутом состоянии

.

Для определения требуемого значения коэффициента передачи рекомендуется в начале определить наибольшую статическую ошибку системы электропривода в разомкнутом состоянии. При этом следует принять самое неблагоприятное сочетание возмущающих воздействий, то есть:

,

здесь  и  - составляющие ошибки, вызванные соответственно конечной жёсткостью механической характеристики привода с разомкнутой системой управления и колебаниями напряжения в сети;

***ΔU -*** наибольшая величина колебаний напряжения преобра-зователя, вызванных колебаниями напряжения в сети (0,5…2 *В*);

***Кg*** – коэффициент передачи двигателя;

 - перепад скорости вращения двигателя при неизменной ***ЭДС*** преобразователя и изменении нагрузки в заданных пределах, причём

, *с-1.*

Затем по выражению



определяется относительная величина этой ошибки. В замкнутом состоянии эта ошибка уменьшается до величины

.

поэтому требуемое значение общего коэффициента передачи равно

к двигателю

#### ТП

## СИФУ

#### У

БТО

ТА

V2

V1

R3

**+**

**~**

V2

}к тахогенератору

Рис.5 Схема отсечки со стабилитронами

,

где  - заданное значение относительной статической ошибки.

Если требуемое значение ***КТР*** оказалось больше, чем ***К***, то следует изменить структурную схему системы, введя в неё промежуточный усилитель ***У***. Коэффициент передачи (или коэффициент усиления) его должен быть не менее, чем .

**7. РАСЧЁТ ПАРАМЕТРОВ ОТСЕЧКИ**

***ω***

***ωо***

***ωотс***

***ωогр***

***1***

***2***

А

***3***

***Iотс***

***Iогр***

***Iк***

***I(М)***

***0***

Рис.6 Статическая электромеханическая характеристика электропривода

В зоне действия отсечки по току уровень входного сигнала должен быть ограничен. Для этого применяют промежуточный усилитель с насыщением [4] или используют стабилитроны. В последнем случае может быть использована схема, представленная на ***рис.5***.

В качестве датчика тока в тиристорных электроприводах обычно используются трансформаторы тока в комплекте с выпрямителями (блок токоограничения ***БТО***), устанавливаемые в цепи переменного тока преобразователя [1].

Напряжение стабилизации стабилитрона ***V1***, ограничивающего входной сигнал, выбирается из условия

,

здесь ***Uу макс*** – напряжение управления, обеспечивающее наибольшее значение ***ЭДС*** преобразователя по характеристике ***СИФУ***.

С другой стороны,

,

где ***Uу отс*** – напряжение направления на входе ***СИФУ***, обеспечивающее ток отсечки на верхнем пределе диапазона регулирования.

Напряжение управления ***UУ*** на входе ***СИФУ***, соответствующее заданному току якоря ***IЯ*** и скорости вращения ***ω*** определяется следующим образом. Рассчитывается ***ЭДС*** преобразователя

.

По статической характеристике преобразователя  определяется угол управления ***α***, обеспечивающий данное значение ***Ed***. Затем по статической характеристике ***СИФУ*** в соответствии с полученным ***α*** определяется ***UУ***.

Если условие (7.2) не выполняется, необходимо увеличить вторичное напряжение согласующего силового трансформатора ***U2***.

Параметры отсечки по току – коэффициент передачи ***КТО*** и напряжение стабилизации стабилитрона ***V2***, вводящего отсечку в действие, определяются по уравнениям:

; ,

здесь ***IОТС*** – ток нагрузки, при котором отсечка вступает в действие;

***IК*** – ток короткого замыкания, то есть ток при неподвижном якоре;

***UУК*** – напряжение на входе ***СИФУ***, обеспечивающее при непод-вижном якоре ток ***IКЗ***, определяется по регулировочным характеристикам ***СИФУ*** и преобразователя.

Токи отсечки и короткого замыкания определяются по формулам:

, .

**8. ПОСТРОЕНИЕ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК**

Статические механические характеристики электропривода с обратной связью по скорости или ***ЭДС*** якоря и отсечкой по току состоят из трёх участков (***рис.6***). Участок ***1*** – работа электропривода в режиме стаби-лизации скорости вращения. Участки ***2*** и ***3*** – работа электропривода в режиме ограничения вращающего момента. При этом ограничение величины входного сигнала начинается после точки ***А***. Методика построения статических характеристик приведена в [4].

Для повышения точности расчёт статических характеристик рекомендуется производить не по абсолютным значениям скорости вращения, а по её изменениям.

При этом напряжение сети следует считать неизменным и равным номинальному значению.

Так как статические характеристики состоят из отрезков прямых, то их построение удобно вести по характерным точкам.

1. Для верхнего диапазона регулирования точка, соответствующая номинальной нагрузке

, *с-1*.

1. Точка, соответствующая идеальному холостому ходу (***IЯ*** = 0)

, *с-1*,

где ***Δω0З*** – изменение скорости вращения электропривода с замкнутой системой управления.

Изменение скорости вращения в замкнутой системе с обратной связью по скорости вращения определяется соотношением

,

где ***К=К0·КУ*** – суммарный коэффициент усиления системы в разомкнутом состоянии.

1. Точка, соответствующая началу действия отсечки (***IЯ = IОТС***),

, *с-1*,

где ***ΔωОТС.З*** – изменение скорости вращения при возрастании тока якоря от ***IН*** до ***IОТС*** в замкнутом состоянии системы.

1. Точка, соответствующая началу ограничения входного сигнала,

, *с-1,*

где ***ΔωОГР.З*** - изменение скорости вращения при возрастании нагрузки от номинальной до начала ограничения входного сигнала.

Изменение скорости вращения ***ΔωОГР.З*** определяется по формуле

.

В режиме стабилизации частоты вращения задающее напряжение ***UЗ*** остаётся без изменения, поэтому ***ΔωОГР.З*** соответствует изменению напряжения тахогенератора на величину

.

Здесь ***UУН*** – напряжение управления (на входе ***СИФУ***), соответствующее номинальной нагрузке.

Нагрузка, при которой начинается ограничение входного сигнала, определяется уравнением:

,*А,*

где ***UУ.ОГР*** – напряжение управления ограничения.

Для определения ***UУ.ОГР*** ***ЭДС*** преобразователя можно приближенно рассчитать по формуле

.

Для нижнего предела регулирования скорость вращения в номинальной точке определяется соотношением

.

Дальнейший расчёт аналогичен.

**9. РАСЧЁТ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОПРИВОДА НА ЦВМ**

программа расчёта статических характеристик написана на алгоритмическом языке ***БЕЙСИК*** для ***ЦВМ*** ***“Электроника”*** ***Д3-28***. программу необходимо набрать на дисплее, либо воспользоваться готовой программой, записанной на магнитной ленте компакт-кассете. Для этого необходимо обратиться к преподавателю или инженеру-электронику. Текст программы приводится ниже.

10 DATA

11 DATA

15 READ I1,R1,M1,M2,K1,K2,K3,K4,U1,U2,U3,U4,W1,K5

20 REM РАСЧЁТ ТОКА КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

25 LET I2=M2K1

30 REM РАСЧЁТ ТОКА ОГРАНИЧЕНИЯ

35 LET I3=I2-(U3-U4)/K4

40 REM РАСЧЁТ ТОКА ОТСЕЧКИ

45 LET I4=M1K1

50 REM РАСЧЁТ НОМИНАЛЬНОЙ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ

55 LET W=W1

60 REM РАСЧЁТ СКОРОСТИ ХОЛОСТОГО ХОДА

65 LET D3=(I1R1K1)/(1+K2)

70 LET WD=W+D3

75 REM РАСЧЁТ СКОРОСТИ ОТСЕЧКИ

80 LET D1=((I4-I1) R1K1)/(1+K2)

85 LET W2=W-D1

90 REM РАСЧЁТ СКОРОСТИ ОГРАНИЧЕНИЯ

95 LET D2=(U1-U2)/K5K3

100 LET W3=W-D2

105 PRINT ΄IXX=0 IОТС=΄, ΄I4; ΄IОГР=΄, I3; IКЗ=΄, I2;

110 PRINT ΄WXX=΄, W0; ΄WОТС=΄, W2; ΄WОГР=΄, W3; ΄W=0΄

115 END

Исходными данными для расчёта являются ***IЯН, ω, RЯЦ, Кд, К, КТО, Ку, UСТ***. напряжения уравнения ***UУН, UУК, М1, М2***.

Числовые значения этих величин вводятся в программу по оператору DATA в следующей последовательности:

***IЯН, RЯЦ, М1, М2, Кд, К, КТ2, КТО, UСП, UУН, UУ.ОГР, UУК, ω, КУ.***

Расчёт проводится дважды: для верхнего и нижнего диапазонов регулирования.

Результаты расчёта характеристик на ***ЦВМ*** необходимо сравнить с результатами расчёта вручную.

**10. СОСТАВЛЕНИЕ СХЕМЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА**

Схема электропривода состоит из схемы силовой части и схемы системы управления. При этом схема силовой части должна быть вычерчена полностью. С обозначением всех элементов. Систему управления допу-стимо изобразить в виде отдельных блоков (блок питания, ***СИФУ***) и т. д.

**11. ОФОРМЛЕНИЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА И ЗАЩИТА**

Курсовой проект должен быть оформлен в виде пояснительной записки на ластах формата ***11***. графическая часть проекта должна содержать 4 листа формата ***22***:

Лист ***1*** – График нагрузки с указанием величины эквивалентного момента;

Лист ***2*** – Статические характеристики ***СИФУ*** и ***ТП*** с указанием расчётных точек;

Лист ***3*** – Принципиальная схема электропривода;

Лист ***4*** – Статические характеристики электропривода для верхнего и нижнего диапазонов регулирования.

Защита курсового проекта производится каждым студентом индивидуально в соответствии с графиком защиты.

Пример расчёта. Выбрать электродвигатель и элементы системы управ-ления нереверсивного автоматизированного электропривода, обеспечи-вающего при диапазоне регулирования ***D*** = 150 стабилизацию скорости вра-щения с относительной ошибкой ***δ*** = 5%. При пуске двигателя и перегруз-ках вращающий момент должен удерживаться в пределах 22…26 *Нм*. Па-раметры графика нагрузки ***МС1***=3,2 *Нм*, ***МС2***=20,5 *Нм*, ***МС3***=15,1 *Нм*, ***t1***=30 *с,* ***t2***=10 *с*, ***t3***=15 *с*. Номинальная скорость вращения ***ωН***=210 *с-1*.Регулирование частоты вращения производится вниз от номинальной.

Решение. Заданный диапазон регулирования достаточно широк. Поэтому принимаем замкнутую систему управления электроприводом с обратной связью по скорости.

**1. Выбор электродвигателя**

Определяем эквивалентный момент

,

.

По каталогу выбираем двигатель ***ПБСТ 42*** с номинальными данными ***UН***=220 *В*, ***РН***=2,9 *кВт*, ***nН***=2200 *об/мин*, ***IН***=15 *А*, ***RЯ15***˚=0,47 *Ом*. ***Rдп15***˚=0,244 *Ом*, ***Rω***=660 *Ом*.

Номинальный момент двигателя

.

Рассчитываем параметры двигателя





.

**2.** В соответствии с заданным диапазоном регулирования принимаем трёхфазную мостовую схему выпрямления. Для согласования напряжений двигателя и сети предполагаем использовать трансформатор.

1. **Расчёт параметров силового трансформатора.**

Требуемое напряжение вторичной обмотки

.

Требуемая мощность трансформатора

.

По каталогу выбираем трансформатор ***ТТ-6*** с номинальными данными

***ST***=6 *кВА*, ***U2***=2087, ***UK%***=10%, ***I2Ф***=17 *A*.

Схема соединения первичной обмотки трансформатора при питании от сети 380 *В* – “звезда”.

Определяем параметры трансформатора

.

Так как мощность потерь короткого замыкания трансформатора в каталоге не приведена, активное сопротивление трансформатора определяем ориентировочно, приняв ***cosφK***=0,65.

При этом

.

.

.

1. **Выбор вентилей**

Среднее значение тока через вентиль

.

Номинальный ток вентиля

,

номинальное обратное напряжение



здесь

.

Номинальное напряжение вентиля

.

Выбираем вентили типа ***Т25***-***4***. (Тиристоры с номинальным током 25 *А* и допустимым обратным напряжением не ниже 400 *В*).

1. **Расчёт параметров якорной цепи.**

Наиболее допустимая величина переменной составляющей выпрямленного тока

.

Требуемая индуктивность якорной цепи

,

здесь

.

Общая индуктивность двигателя и трансформатора меньше, чем требуемая, поэтому в якорную цепь необходимо включить сглаживающий дроссель с индуктивностью

.

Активное сопротивление якорной цепи

.

Здесь

.

1. **Расчёт параметров системы управления**

Предполагаемая структурная схема совпадает со схемой на ***рис.3***. на ***рис.7*** по уравнению  построена характеристика преобра-зователя. На верхней границе диапазона регулирования

,

что соответствует углу регулирования ***α***΄=37˚.

При этом коэффициент передачи преобразователя определим по ***рис.6***.

.

Коэффициент передачи ***СИФУ*** определим по ***рис.3*** для данного значения ***α***΄=37˚.

; .

По каталожным данным определяем коэффициент передачи тахогенератора, встроенного в двигатель ***ПБСТ-42***.

.

Определяем общий коэффициент передачи системы в разомкнутом состоянии

.

Наибольшая статическая ошибка в разомкнутом состоянии



.

Здесь изменение тока ***ΔI2*** определено, согласно заданию, для моментов

 и .

Колебания напряжения в сети приняты в пределах 5%. В замкнутом состоянии статическая ошибка уменьшается до величины

.

Повторив данный расчёт для нижней границы диапазона регулирования, получим:



следовательно, на нижней границе диапазона регулирования относительная ошибка больше допустимой. Для уменьшения статической ошибки введём в систему управления промежуточный усилитель. Определим требуемый коэффициент передачи всей системы в разомкнутом состоянии

.

***0***

***300***

***200***

***100***

***Е΄d***

***ΔЕ΄d***

***Δα΄***

***α΄***

***α, град***

***Еd, В***

***20***

***40***

***60***

***80***

Рис.7 Статическая характеристика тиристорногопреобразователя



следовательно, коэффициент передачи промежуточного усилителя должен быть не менее

.

1. **Расчёт параметров отсечки.**

Примем схему токовой отсечки, изображённую на ***рис.4***.

В качестве стабилитрона ***V1*** принимаем стабилитрон типа ***Д 818*** (напря-жение стабилизации ).

Коэффициент передачи токовой отсечки

.

Напряжение стабилизации

.

Выбираем стабилитрон ***Д 816*** (напряжение стабилизации ).

**8.** принципиальная схема электропривода представлена на ***рис.8***. в качестве усилителя использован интегральный усилитель-ограничитель со стабилитронами в цепи обратной связи.

Таблица П-2

2. Основные характеристики трансформаторов для регулируемых электроприводов типа ТТ.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Тип | Номинальная мощность, кВА | | | Номи-наль-ный ток, А | Номинальное напряжение обмоток при холостом ходе, В | |
| Транс--фор-матора | Второй обмотки | Третьей обмотки | Второй | Третьей |
| ТТ-6 | 6 | 5,4 | 0,6 | 9,13 | 1043  2087  41613 | 933 |
| ТТ-8 | 8 | 7,4 | 12,15 |
| ТТ-11 | 11 | 10,4 | 16,7 |
| ТТ-14 | 14 | 13,4 | 21,25 |
| ТТ-19 | 19 | 18,4 | 23,0 |
| ТТ-25 | 25 | 24,4 | 38,0 |

Примечания.

1. Третья обмотка предназначена для цепей управления.
2. Напряжение первичной обмотки при соединении **Δ**-220 *В*, при соединении **Υ**-380 *В*.
3. Напряжение второй обмотки оговаривается в заказе, в зависимости от схемы выпрямления.
4. Напряжение короткого замыкания ***UК***=(104)%.
5. Ток холостого хода ***IХХ***=(1520)%.

**Литература**

1. [Л.Б. Масандилов](http://irbis.sstu.ru/cgi-bin/irbis64r_13/cgiirbis_64.exe?LNG=&Z21ID=&I21DBN=KONS&P21DBN=KONS&S21STN=1&S21REF=3&S21FMT=fullwebr&C21COM=S&S21CNR=10&S21P01=0&S21P02=1&S21P03=A=&S21STR=%D0%9B.%D0%91.%20%D0%9C%D0%B0%D1%81%D0%B0%D0%BD%D0%B4%D0%B8%D0%BB%D0%BE%D0%B2) Машиностроение. Электроприводы. Т. IV-2 [Электронный ресурс] / Л.Б. Масандилов. - Москва : Машиностроение, 2012. Энциклопедия / ред. совет: К.В. Фролов (пред.) и др. М.: Машиностроение. Электроприводы. Т. IV-2 / Л.Б. Масандилов, Ю.Н. Сергиевский, С.К. Козырев и др.; под общ. ред. Л.Б. Масандилова, 2012. 520 с.: ил.

Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785942755850.html> - ЭБС «Электронная библиотека технического вуза».

2. [Анучин А.С.](http://irbis.sstu.ru/cgi-bin/irbis64r_13/cgiirbis_64.exe?LNG=&Z21ID=&I21DBN=KONS&P21DBN=KONS&S21STN=1&S21REF=3&S21FMT=fullwebr&C21COM=S&S21CNR=10&S21P01=0&S21P02=1&S21P03=A=&S21STR=%D0%90%D0%BD%D1%83%D1%87%D0%B8%D0%BD%20%D0%90.%D0%A1.) Системы управления электроприводов [Электронный ресурс] : Допущено УМО вузов России по образованию в области энергетики и электротехники в качестве учебника для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки "Электроэнергетика и электротехника" / Анучин А.С. - Москва : Издательский дом МЭИ, 2015. - 373. с.: ил.

Режим доступа: [http://www.studentlibrary.ru/book/MPEI240.htm](http://www.studentlibrary.ru/book/MPEI240.htm%20l) - ЭБС «Электронная библиотека технического вуза».

3. [Никитенко, Г. В.](http://irbis.sstu.ru/cgi-bin/irbis64r_13/cgiirbis_64.exe?LNG=&Z21ID=&I21DBN=SGTU&P21DBN=SGTU&S21STN=1&S21REF=3&S21FMT=fullwebr&C21COM=S&S21CNR=10&S21P01=0&S21P02=1&S21P03=A=&S21STR=%D0%9D%D0%B8%D0%BA%D0%B8%D1%82%D0%B5%D0%BD%D0%BA%D0%BE,%20%D0%93.%20%D0%92.) Электропривод производственных механизмов : учеб. пособие / Г. В. Никитенко. - 2-е изд., испр. и доп. - СПб. ; М. ; Краснодар : Лань, 2013. - 224 с. : ил. ; 20 см. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - Гриф: рек. УМО РАЕ по классич. университет. и техн. образованию в качестве учеб. пособия для студ. вузов, обуч. по напр. : 110800.62, 110800.68 - "Агроинженерия", 140400.62, 140400.68 - "Электроэнергетика и электротехника" и спец. : 110302.65 - "Электрификация и автоматизация сельского хозяйства", 140211.65 - "Электроснабжение"

4. [Дементьев, Ю. Н.](http://irbis.sstu.ru/cgi-bin/irbis64r_13/cgiirbis_64.exe?LNG=&Z21ID=&I21DBN=IPRB&P21DBN=IPRB&S21STN=1&S21REF=3&S21FMT=fullwebr&C21COM=S&S21CNR=10&S21P01=0&S21P02=1&S21P03=A=&S21STR=%D0%94%D0%B5%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%D1%8C%D0%B5%D0%B2,%20%D0%AE.%20%D0%9D.) Электрический привод [Электронный ресурс] : учебное пособие / Дементьев Ю. Н. - Томск : Томский политехнический университет, 2013. - 224 с.

Книга находится в базовой версии ЭБС IPRbooks.

5. [Бекишев, Р. Ф.](http://irbis.sstu.ru/cgi-bin/irbis64r_13/cgiirbis_64.exe?LNG=&Z21ID=&I21DBN=IPRB&P21DBN=IPRB&S21STN=1&S21REF=3&S21FMT=fullwebr&C21COM=S&S21CNR=10&S21P01=0&S21P02=1&S21P03=A=&S21STR=%D0%91%D0%B5%D0%BA%D0%B8%D1%88%D0%B5%D0%B2,%20%D0%A0.%20%D0%A4.) Общий курс электропривода [Электронный ресурс] : учебное пособие / Бекишев Р. Ф. - Томск : Томский политехнический университет, 2014. - 302 с.

Книга находится в базовой версии ЭБС IPRbooks.

6. [Мещеряков, В. Н.](http://irbis.sstu.ru/cgi-bin/irbis64r_13/cgiirbis_64.exe?LNG=&Z21ID=&I21DBN=IPRB&P21DBN=IPRB&S21STN=1&S21REF=3&S21FMT=fullwebr&C21COM=S&S21CNR=10&S21P01=0&S21P02=1&S21P03=A=&S21STR=%D0%9C%D0%B5%D1%89%D0%B5%D1%80%D1%8F%D0%BA%D0%BE%D0%B2,%20%D0%92.%20%D0%9D.) Энергосберегающие системы электропривода переменного тока с частотным управлением для механизмов с вентиляторным статическим моментом [Электронный ресурс] : учебное пособие / Мещеряков В. Н. - Липецк : Липецкий государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2012. - 50 с.

Книга находится в базовой версии ЭБС IPRbooks.