

Некоммерческое акционерное общество
«АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ»

Кафедра «Электропривод и Автоматизация»

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебно-методической работе

_____ С.В. Коньшин

« ____ » _____ 2017 г.

Электропривод

Методические указания по выполнению курсовой работы
для студентов специальности 5В071700 – Электроэнергетика

СОГЛАСОВАНО

Начальник УМО
Мухамеджанова Р.Р.
« ____ » _____ 2017 г.

Председатель ОУМК по МО и Э
_____ Б.К. Курпенов

« ____ » _____ 2017 г.

Редактор

_____ 2017 г.
« ____ » _____

Спец. по стандартизации
_____ Н.К. Молдабекова
« ____ » _____ 2017 г.

Рассмотрено и одобрено на
заседании кафедры ЭиА

Протокол №1 от 05.09.2017 г.

Зав. кафедрой
_____ К.Ж. Калиева

Составили:

_____ М.А. Мустафин

_____ Н.К. Алмуратова

**Некоммерческое
акционерное общество**



**АЛМАТИНСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ
ЭНЕРГЕТИКИ И
СВЯЗИ**

Кафедра электропривод
и автоматизация

ЭЛЕКТРОПРИВОД

Методические указания по выполнению курсовой работы
для студентов специальности 5В071800 – Электроэнергетика

Алматы 2017

СОСТАВИТЕЛИ: М.А. Мустафин, Н.К. Алмуратова. Электропривод. Методические указания по выполнению курсовой работы для студентов специальности 5В071800 – Электроэнергетика - Алматы: АУЭС, 2017.–27 с.

Методические указания содержат программу выполнения работ, методику подготовки и проведения экспериментов, анализа полученных результатов.

Каждая лабораторная работа содержит следующие разделы: цель работы, подготовка к работе, контрольные вопросы, программа и порядок выполнения работы, выводы по работе. Приведены исследуемые электрические схемы, соответствующие таблицы, где должны фиксироваться результаты расчётов и экспериментов, даны пояснения по реализации каждого пункта задания.

Методические указания предназначены для студентов, обучающихся по специальности 5В071800 – Электроэнергетика.

Ил. 11, табл.4, библ. – 5 назв.

Рецензент: Курпенов Б.К.

Печатается по плану издания некоммерческого акционерного общества «Алматинский университет энергетики и связи» на 2017 г.

© НАО «Алматинский университет энергетики и связи», 2017г

Марат Аскарлович Мустафин
Нургуль Канаевна Алмуратова

ЭЛЕКТРОПРИВОД

Методические указания по выполнению курсовой работы
для студентов специальности
5В071800 – Электроэнергетика

Редактор Л.Т. Сластихина
Специалист по стандартизации Н.К. Молдабекова

Подписано в печать _____
Тираж 50 экз.
Объем 1,6 уч. – изд.

Формат 60x84 1/16
Бумага типографическая №1
Заказ _____ Цена 800 тг.

Копировально – множительное бюро
некоммерческого акционерного общества
«Алматинский университет энергетики и связи»
050013, Алматы, ул. Байтурсынова, 126

Введение

Основными функциональными задачами современного автоматизированного электропривода (АЭП) являются:

- управление процессами пуска, торможения, реверса (функции управления). Эту функцию могут выполнять разомкнутые системы АЭП;

- стабилизация заданной величины (ток, скорость, положение, мощность и т.д.) (функция стабилизации). Эту функцию может выполнить только замкнутая система АЭП. Основная регулируемая величина – та, по которой замыкается главная обратная связь;

- слежение за вводимыми в систему изменяющимися входными сигналами (функция слежения). Эта задача может быть выполнена только в замкнутых системах. Современная следящая система, как правило, трехконтурная;

- выбор целесообразных режимов работы АЭП (функция адаптации). Задача может быть выполнена в замкнутых системах.

Кроме основных функций, система АЭП выполняет еще и дополнительные:

- защита электродвигателя и оборудования от коротких замыканий, перегрузок по току, напряжению и т.д.;

- блокировка, которая обеспечивает определенную последовательность операций и исключая аварийные режимы;

- сигнализация.

Регулируемые электроприводы постоянного тока обладают такими преимуществами, как точность и непрерывность регулирования координат в широком диапазоне и высокое быстродействие. Диапазон мощностей существующих тиристорных приводов постоянного тока простирается от долей киловатт до нескольких тысяч киловатт (например, в прокатном производстве Система «тиристорный преобразователь – двигатель» (ТП - Д) комплектуется сложными аналоговыми и цифровыми системами управления, а также микропроцессорными системами, позволяющими в полной мере использовать высокие регулировочные возможности привода.

1 Задание на курсовую работу

В данной курсовой работе проводится расчет регулируемого электропривода постоянного тока по схеме «тиристорный преобразователь – двигатель» (ТП - Д), выполняющего стабилизацию частоты вращения и ограничение пусковых токов. Основной задачей выполнения курсовой работы является развитие навыков самостоятельной творческой работы и ознакомление с основными этапами проектирования. В результате выполнения курсовой работы студенты должны овладеть методами расчета и выбора элементов автоматизированного электропривода, анализа и синтеза

систем автоматического управления приводами, навыками использования прикладных программ по моделированию и расчету электромеханических и силовых электронных устройств различных типов на ЭВМ. Для выполнения курсовой работы необходимо:

а) выбрать по каталогу электродвигатель, рассчитать и построить естественную электромеханическую характеристику и характеристику при минимальной скорости;

б) составить принципиальную силовую схему электропривода по схеме ТП – Д (схему преобразователя выбрать согласно заданному варианту), рассчитать и выбрать основные элементы схемы;

в) рассчитать и построить статические электромеханические характеристики разомкнутой системы электропривода;

г) составить функциональную схему системы автоматического управления привода, рассчитать параметры необходимых обратных связей и узел отсечки по току (ток отсечки- $1,5 I_H$, ток стопорения- $2 I_H$);

д) рассчитать и построить статические электромеханические характеристики замкнутой системы электропривода.

Варианты задания выбираются из таблиц 1 и 2 по номеру зачетной книжки и начальной букве фамилии студента.

Т а б л и ц а 1

Последняя цифра номера зачетной книжки	Мощность Р, кВт	Скорость, н, об/мин	
		А - К	Л - Я
1	1	3000	1500
2	1,5	1500	1000
3	2,2	3000	1000
4	3,2	1500	1000
5	4,5	3000	1500
6	6	3000	1000
7	8	1500	1000
8	10	1000	750
9	14	1500	750
0	19	1000	750

Т а б л и ц а 2

Предпоследняя цифра номера зачетной книжки	Диапазон регулирования скорости D	Статическая ошибка $\Delta\omega, \%$	Схема преобразователя
1	5	5	3-х ф. нулевая
2	7	6	3-х ф. мостовая

3	10	5	3-х ф. нулевая
4	12	7	3-х ф. мостовая
5	9	5	3-х ф. нулевая
6	8	9	3-х ф. мостовая
7	11	6	3-х ф. нулевая
8	6	8	3-х ф. мостовая
9	15	6	3-х ф. нулевая
0	10	6	3-х ф. мостовая

Курсовая работа представляется к защите в виде расчетно - пояснительной записки объемом не менее 20 страниц.

2 Электропривод по схеме «тиристорный преобразователь – двигатель»

Приводы по схеме «тиристорный преобразователь – двигатель» (ТП-Д, рисунок 1) являются наиболее распространенными регулируемые приводами постоянного тока.

Уравнение электромеханической характеристики при питании якоря двигателя постоянного тока (ДПТ) от тиристорного преобразователя (ТП) имеют вид:

$$\omega = \frac{U_{ТП}}{k\Phi_H} - \frac{(R_{Я} + R_{П})}{k\Phi_H} I_{Я}, \quad (1)$$

где ω – угловая частота вращения якоря двигателя;

$U_{ТП}$ – напряжение на выходе ТП;

k – конструктивный коэффициент двигателя;

Φ_H – номинальный магнитный поток;

$R_{Я}$ – активное сопротивление якоря двигателя;

$R_{П}$ – эквивалентное сопротивление тиристорного преобразователя;

$I_{Я}$ – ток якорной цепи.

В результате влияния сопротивления преобразователя, характеристики ЭД в разомкнутой схеме управления становятся менее жесткими, чем естественная характеристика (рисунок 2). Однако в современных ТП применяются различного рода обратные связи, стабилизирующие скорость при изменении нагрузки.

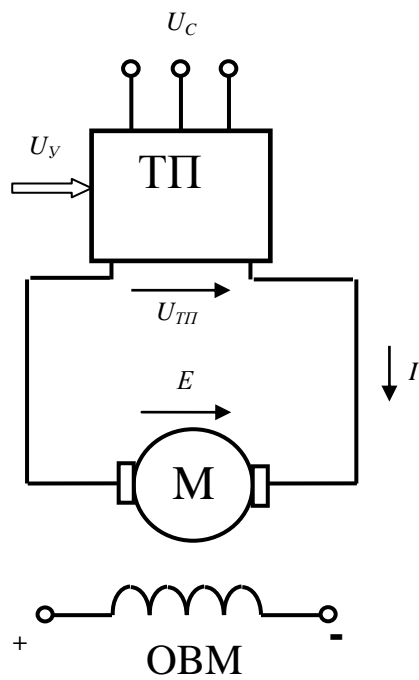


Рисунок 1

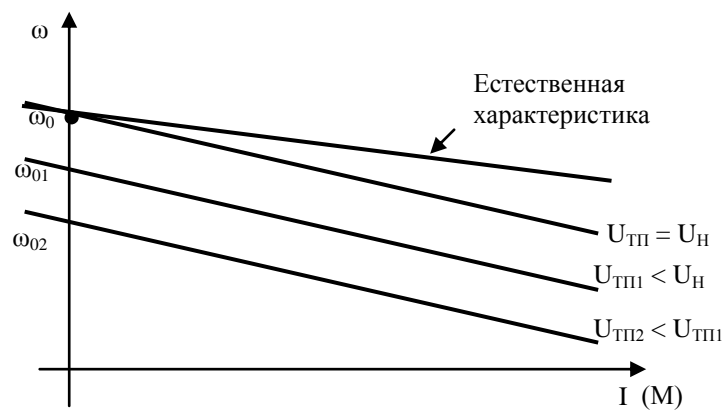


Рисунок 2

Принцип действия ТП основан на том, что в положительный полупериод питающего напряжения тиристор, подобно ключу, открывается и подает напряжение к двигателю только часть этого полупериода (рисунок 3).

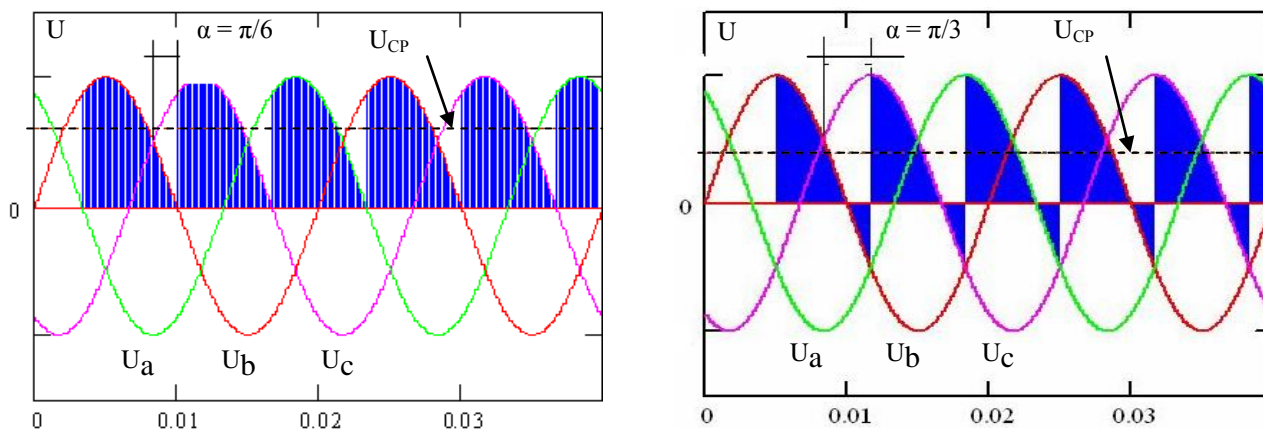


Рисунок 3

При этом среднее выпрямленное напряжение на нагрузке U_{CP} определяется углом задержки отпирания вентиля α , называемым углом управления. Для m – фазного управляемого выпрямителя при непрерывном токе

$$U_{CP} = \frac{\sqrt{2}}{\pi} mU \sin \frac{\pi}{m} \cos \alpha = U_{d0} \cos \alpha, \quad (2)$$

где U_{d0} – максимальное выпрямленное напряжение на выходе ТП при $\alpha=0$.

U_{d0} определяется схемой выпрямления и величиной подводимого к схеме напряжения (вторичного фазного напряжения питающего трансформатора $U_{2\phi}$):

$$U_{d0} = k_{CX} U_{2\phi}. \quad (3)$$

Коэффициент схемы равен 2,34 для мостовой схемы и 1,17 – для нулевой схемы выпрямления.

3 Выбор электродвигателя и расчет электромеханических характеристик

Выбор электродвигателя постоянного тока производится по каталогу или таблице 3 в соответствии с заданием.

Т а б л и ц а 3 - Двигатели серии П, номинальное напряжение 220В

	Мощность, кВт	Ток якоря, А	КПД, о.е.
1	1	6,0	0,92
2	1,5	8,7	0,92
3	2,2	13,3	0,92

4	3,2	18,3	0,92
5	4,5	24,3	0,92
6	6	33,0	0,92
7	8	43,0	0,92
8	10	58,0	0,92
9	14	79,0	0,92
10	19	105,0	0,92

Для построения естественной электромеханической характеристики двигателя постоянного тока независимого возбуждения по уравнению:

$$\omega(I_{\text{я}}) = \frac{U_{\text{яН}}}{k\Phi_{\text{H}}} - \frac{R_{\text{я}\Sigma}}{k\Phi_{\text{H}}} I_{\text{я}}, \quad (4)$$

необходимо найти значение сопротивления якорной цепи двигателя в каталогах или определить его по приближенной формуле:

$$R_{\text{я}} \approx 0,5 \frac{U_{\text{яН}}}{I_{\text{яН}}} (1 - \eta_{\text{H}}). \quad (5)$$

Параметр $k\Phi_{\text{H}}$ определяется из уравнения (4) при номинальных значениях тока и частоты вращения:

$$k\Phi_{\text{H}} = \frac{U_{\text{яН}}}{\omega_{\text{H}}} - \frac{R_{\text{я}\Sigma}}{\omega_{\text{H}}} I_{\text{яН}}. \quad (6)$$

Естественная электромеханическая характеристика строится по двум точкам (рисунок 4): номинального режима с координатами:

$$I_{\text{я}} = I_{\text{яН}}, \quad \omega = \omega_{\text{H}} = \frac{\pi n_{\text{H}}}{30}$$

и режима холостого хода с координатами:

$$I_{\text{я}} = 0, \quad \omega = \omega_0 = \frac{U_{\text{я}}}{k\Phi_{\text{H}}}.$$

Для получения при номинальной нагрузке минимально заданной скорости:

$$\omega_{\min} = \frac{\omega_H}{D}, \quad (7)$$

необходимо снизить величину напряжения на статоре двигателя до значения:

$$U_{Я \min} = k\Phi_H \omega_{\min} + I_H R_{Я}. \quad (8)$$

Электромеханическая характеристика для пониженной скорости строится (рисунок 4) по точкам номинальной нагрузки с координатами:

$$I_{Я} = I_{ЯН}, \quad \omega = \omega_{\min}$$

и режима холостого хода с координатами

$$I_{Я} = 0, \quad \omega = \omega_{0 \min} = \frac{U_{Я \min}}{k\Phi_H}.$$

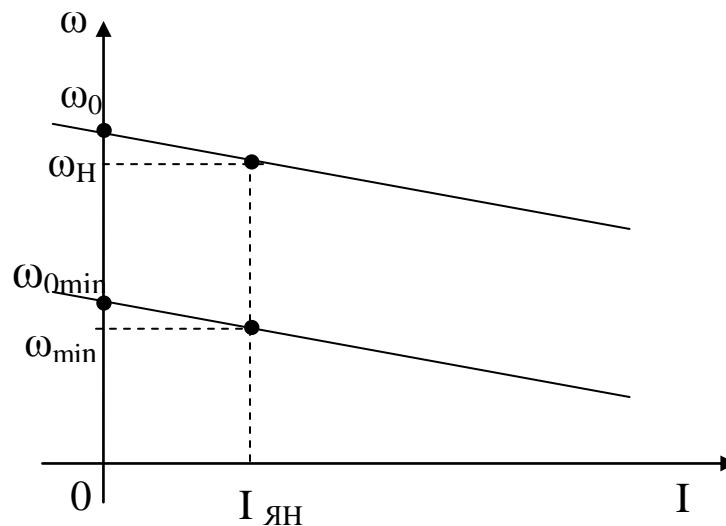


Рисунок 4 – Электромеханические характеристики двигателя

4 Расчет и выбор элементов силовой схемы ТП

На рисунке 5 изображены варианты принципиальных схем силовой цепи электропривода по системе ТП-Д, разрабатываемые в курсовой работе.

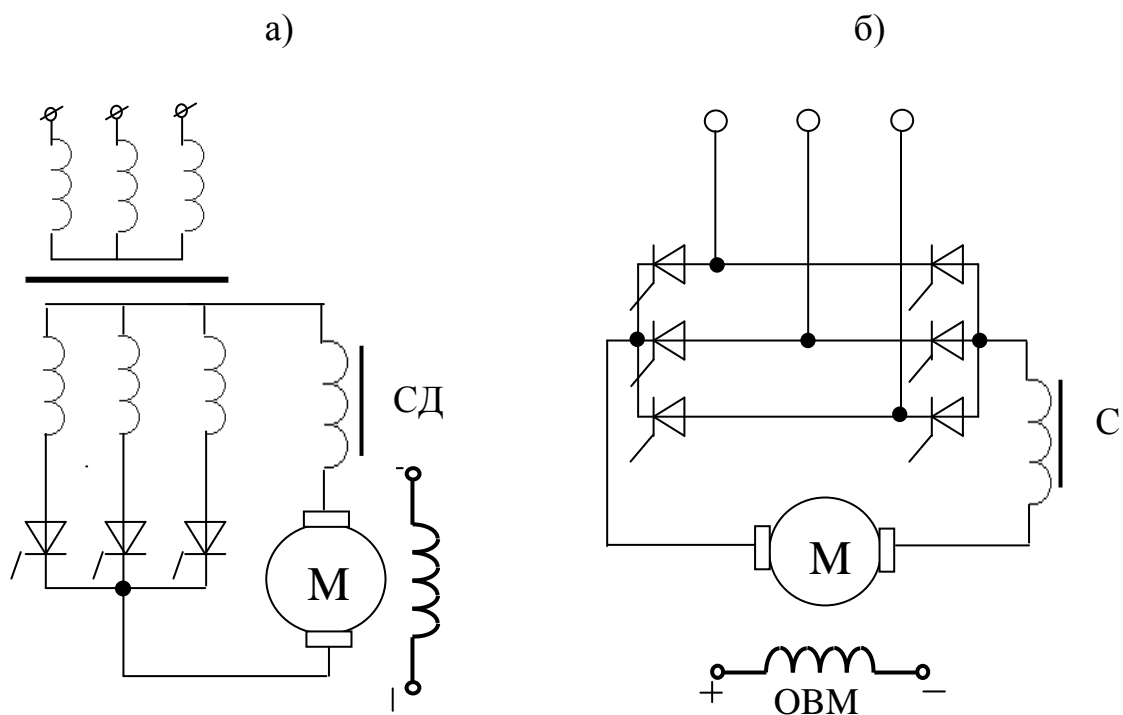


Рисунок 5

Трехфазная нулевая схема (рисунок 5, а) используется обычно для приводов мощностью до 10 кВт. Недостатками такой схемы по сравнению с мостовой (рисунок 5, б) являются худший гармонический состав выходного напряжения и дополнительное подмагничивание трансформатора.

4.1 Расчет мощности и выбор силового трансформатора

Вначале определяется необходимое вторичное напряжение трансформатора при заданном напряжении сети (первичной обмотки). При этом также надо учитывать некоторые коэффициенты запаса:

- K_u – коэффициент запаса по напряжению, учитывающий допускаемое по ПУЭ снижение напряжения сети, $K_u=1,05$;

- K_α - коэффициент запаса, учитывающий неполное открытие вентиля при максимальном управляющем сигнале (для нереверсивных преобразователей принимают $K_\alpha=1$, для реверсивных $K_\alpha=1,2$);

- K_R - коэффициент, учитывающий падение напряжения при нагрузке в вентилях и обмотках трансформатора, а также наличие угла коммутации (можно принимать $K_R=1,05$).

Подводимое к схеме выпрямления напряжение:

$$U_{2\phi} = K_H K_u K_\alpha K_R U_{dH} , \quad (9)$$

где K_H - коэффициент схемы (таблица 4);

U_{dH} – номинальное напряжение якоря двигателя.

Расчетное действующее значение тока во вторичной обмотке определяется, исходя из величины номинального тока двигателя I_{dH} по формуле:

$$I_2 = K_i K_{T2} I_{dH}, \quad (10)$$

где K_i - коэффициент, учитывающий отклонение формы тока от прямоугольной (по опытным данным $K_i = 1,05 \dots 1,1$);

K_{T2} - коэффициент, представляющий собой отношение действующего значения соответствующего фазного тока к выпрямленному току, значения которого приведены для чисто активной нагрузки в таблице 4.

При индуктивно-активной нагрузке или при работе на встречную ЭДС этими значениями можно пользоваться как приближенными.

Т а б л и ц а 4

Наименование схемы	K_H	$K_{u \text{ макс}}$	K_{T2}	K_{T1}	K_M
Двухполупериодная мостовая	1,11	1,57	1	1	1,11
Трехфазная нулевая	0,854	2,09	0,577	0,817	1,345
Трехфазная мостовая	0,427	1,05	0,815	0,817	1,045

Расчет типовой мощности трансформатора производится с учетом нагрева первичной и вторичной обмоток трансформатора при помощи коэффициента K_M (обоснование значений коэффициентов K_{T1} , K_{T2} и K_M приводится в курсе «Промэлектроника»). Таким образом, типовая мощность трансформатора для преобразователя, питающего якорь двигателя, может быть рассчитана по формуле:

$$S_T = K_H \cdot K_u \cdot K_a \cdot K_R \cdot K_i \cdot K_M \cdot U_d I_d. \quad (11)$$

Трансформатор выбирается по типовой мощности и необходимому вторичному напряжению и проверяется по нагреву первичным током:

$$I_1 = K_i \cdot K_{T1} \cdot I_d. \quad (12)$$

с учетом коэффициента трансформации.

Для выбранного трансформатора активное и индуктивное сопротивления обмоток на фазу определяются, как

$$R_T = \frac{u_k U_{1\phi H}}{100 I_{1H} k_T^2}, \quad (13)$$

$$x_T = \frac{\Delta P_{K3}}{m I_{1\phi H}^2 k_T^2}. \quad (14)$$

Выбор вентиля силовой схемы производится по среднему значению тока через вентиль (с учетом условий охлаждения) и максимальному мгновенному значению напряжения, прикладываемому к вентилю. Подробная методика выбора вентиля преобразователя изложена в [1,2].

4.2 Расчет индуктивности сглаживающих реакторов (дресселей)

В схемах ТП применяются два вида силовых индуктивных элементов – уравнильные (УД) и сглаживающие (СД) реакторы (дрессели).

УД используются для ограничения амплитуды переменной составляющей уравнильного тока в реверсивных преобразователях. В курсовой работе рассчитываются только неререверсивные схемы ТП, поэтому предусмотрен расчет только СД.

Сглаживающие реакторы выполняют две функции: ограничивают пульсации тока в якорной цепи и обеспечивают работу в зоне непрерывных токов.

Величина относительных пульсаций I_e^* принимается не более 0,02 и рассчитывается как

$$I_e^* = \frac{I_e}{I_H} = \frac{e_e^* \cdot U_d}{I_H \cdot \omega_0 (L_{\partial p} + L_{\text{я}} + L_T)}, \quad (15)$$

где e_e^* - относительная величина ЭДС пульсаций;

I_H - номинальный ток двигателя;

$L_{\partial p}, L_{\text{я}}, L_T$ - индуктивность сглаживающего реактора (катодного дресселя), якоря двигателя и трансформатора;

$\omega_0 = 2\pi f m$ - угловая частота пульсаций;

f - частота сети;

m - число пульсаций (для трехфазной нулевой схемы $m=3$, для мостовой схемы $m=6$).

На основании специальных расчетов получены кривые зависимости e_e^* от угла открывания и числа фаз. Величина e_e^* берется для максимального угла открывания $\alpha_{\text{макс}}$, соответствующего минимальной скорости двигателя.

Приводы, рассматриваемые в данной работе, предназначены для частых пусков и торможений, и поэтому примем $e_e^* = 0,24$ для мостовой и $e_e^* = 0,52$ для нулевой схем выпрямления.

Из выражения (9) получим общую индуктивность цепи:

$$L_{яц} = L_{др} + L_{я} + L_T = \frac{e_e^* \cdot E_{2cp}}{I_e^* \cdot \omega_0 \cdot I_{ном}}, \quad (16)$$

а по ней – искомое значение $L_{др}$. При наличии уравнивающих реакторов, их индуктивность добавляется в левую часть формулы (14).

Индуктивность трансформатора определяется, как

$$L_T = x_T / 2\pi f, \quad (17)$$

а индуктивность якорной цепи двигателя по эмпирической формуле:

$$L_{я} = C_x \cdot \frac{U_H}{I_H \cdot \omega_H \cdot \rho}, \quad (18)$$

где коэффициент $C_x = 0,5 \dots 0,6$ для некомпенсированных машин и $C_x = 0,25$ – для компенсированных.

Номинальный ток реактора должен быть не менее номинального тока двигателя.

Значение индуктивности $L_{яц}$, найденное по условию сглаживания пульсаций, необходимо проверить по условию ограничения зоны прерывистых токов

$$I_{гнпр} \leq I_{с\ min}. \quad (19)$$

Минимальный статический ток $I_{с\ min}$ нетрудно определить, зная минимальный момент сопротивления $M_{с\ min}$. Гранично-непрерывный ток $I_{гнпр}$ растет с увеличением угла регулирования, поэтому его следует рассчитать при угле α_{\max} :

$$I_{гнпр} = \frac{E_{вц}}{2\pi f L_{яц}} \left(1 - \frac{\pi}{m} \operatorname{ctg} \frac{\pi}{m}\right) \sin \alpha_{\max}. \quad (20)$$

Если окажется $I_{гнпр} > I_{с\ min}$, то задавшись условием $I_{гнпр} = I_{с\ min}$ следует, исходя из формулы (20), найти новое значение $L_{яц}$, а затем по (16) – индуктивность сглаживающего дросселя $L_{др}$.

При расчете систем, работающих в режиме частных пусков и торможений, проверять индуктивность $L_{яц}$ по гранично-непрерывному току не надо.

4.3 Определение параметров привода и построение электромеханических характеристик

Эквивалентное внутреннее сопротивление преобразователя:

$$R_{\Pi} = R_T + n \cdot R_{\partial T} + R_K. \quad (21)$$

Для мостовых схем R_T вдвое больше (сопротивление двух фазных обмоток). Значение коммутационного сопротивления:

$$R_K = \frac{x_T \cdot m}{2\pi}, \quad (22)$$

где m - число фаз выпрямления (для трехфазной нулевой схемы $m=3$, для мостовой схемы $m=6$).

Величина n указывает число последовательно соединенных тиристоров (для мостовых схем удвоенное).

Эквивалентное сопротивление якорной цепи $R_э$ определяется, как

$$R_э = R_я + R_{\Pi}. \quad (23)$$

Далее производится расчет статических электромеханических характеристик привода в разомкнутой системе. ЭДС преобразователя при номинальной скорости и номинальной нагрузке должна быть равна:

$$E_H = k\Phi_H \omega_H + \Delta U + I_H R_э, \quad (24)$$

где $\Delta U = \Delta U_B + \Delta U_{щ}$ - падение напряжения в переходах тиристоров и на щеточных контактах двигателя.

Статическая характеристика строится при изменении тока по формуле:

$$\omega(I) = \frac{E_H - \Delta U - I \cdot R_э}{k\Phi_H}. \quad (25)$$

ЭДС преобразователя при минимальной скорости и номинальной нагрузке:

$$E_{n.\min} = \frac{k\Phi_H \omega_H}{D} + \Delta U + I_H \cdot R_{\Sigma}. \quad (26)$$

Статическая характеристика для минимальной скорости строится при изменении тока по формуле:

$$\omega(I) = \frac{E_{n.\min} - \Delta U - I \cdot R_{\Sigma}}{k\Phi_H}. \quad (27)$$

Верхняя и нижняя статические характеристики строятся по формулам (21), (23) и приводятся на одном графике (рисунок 6), где:

$$\omega_{01} = \frac{E_H - \Delta U}{k\Phi_H};$$

$$\omega_{01\min} = \frac{E_{n.\min} - \Delta U}{k\Phi_H}.$$

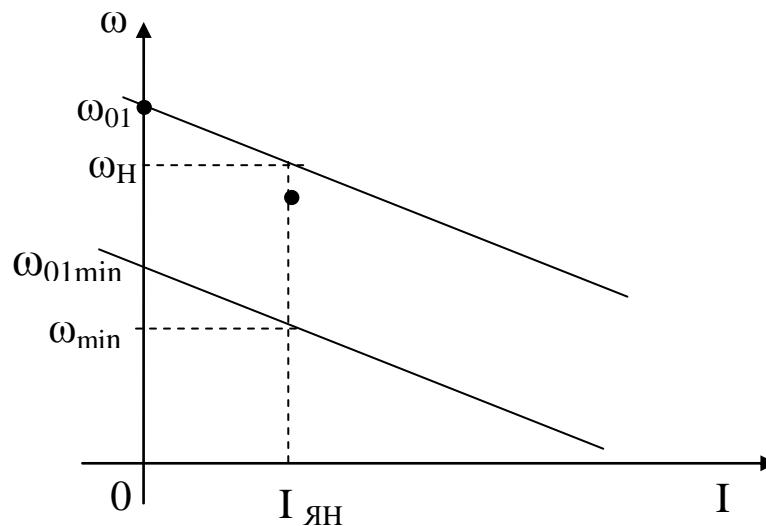


Рисунок 6

5 Двухконтурная система электропривода с отрицательной обратной связью по скорости и отсечкой по току

Как видно из предыдущих расчетов, жесткость механических характеристик электропривода с вентильным преобразователем относительно мала. В связи с этим с целью расширения диапазона регулирования скорости в системах вентильного электропривода постоянного тока могут использоваться обратные связи, а именно: положительная по току якоря, либо отрицательные по скорости и по напряжению. С целью ограничения тока в вентильном преобразователе и якоре двигателя может использоваться задержанная

отрицательная обратная связь по току (токовая отсечка). В этом случае электропривод имеет экскаваторную характеристику.

Система АЭП с отрицательной обратной связью по скорости и отсечкой (задержанной обратной связью) по току представлена на рисунке 7.

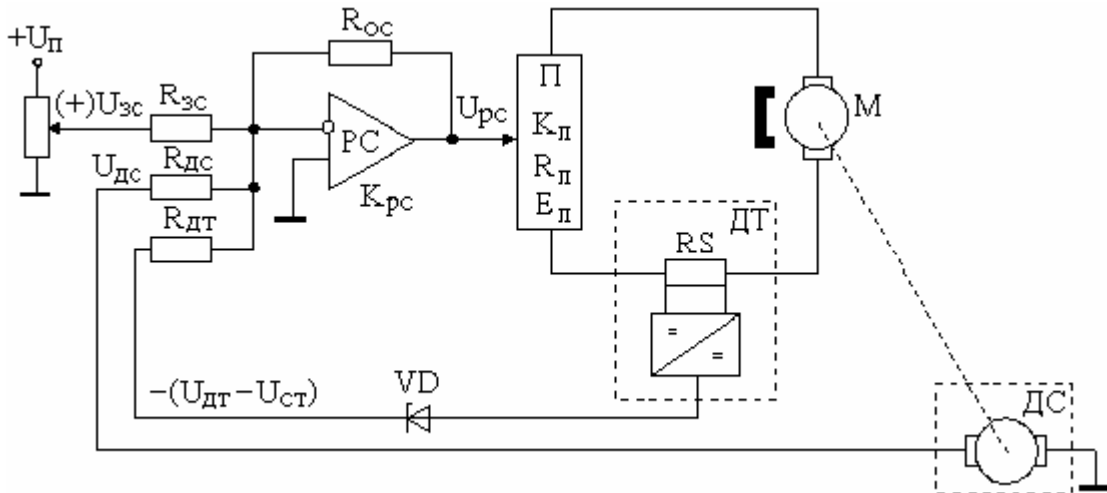


Рисунок 7

В зависимости от величины тока якоря, возможны два режима работы привода:

$$а) I < I_{отс}, |U_{дт}| < U_{ст} v_D.$$

В рабочем диапазоне тока работает только одна отрицательная обратная связь по скорости (сигнал ОС по току не поступает на усилитель). Тогда напряжение управления (при $R_{зс} = R_{дс}$) равно:

$$U_y = (U_{зс} - U_{дс}) \cdot K_{рс}. \quad (28)$$

ЭДС преобразователя уравнивается ЭДС двигателя и падением напряжения на эквивалентном сопротивлении:

$$E_{п} = U_y \cdot K_{п} = E + I \cdot R_{э}, \quad (29)$$

где $E = k \cdot \Phi_H \cdot \omega$ - ЭДС якоря ДПТ;

$K_{п}$ - коэффициент усиления преобразователя.

Напряжение датчика скорости пропорционально частоте вращения якоря двигателя:

$$U_{дс} = K_{дс} \cdot \omega. \quad (30)$$

Совместное решение уравнений (28), (29) и (30) дает выражение (31) для первого участка электромеханической характеристики привода с отрицательной обратной связью по скорости:

$$(U_{3C} - K_{ДС} \cdot \omega) \cdot K_{РС} \cdot K_{П} = k \cdot \Phi_H \cdot \omega + I \cdot R_{Э};$$

$$U_{3C} \cdot K_{РС} \cdot K_{П} + K_{ДС} \cdot \omega \cdot K_{РС} \cdot K_{П} = k \cdot \Phi_H \cdot \omega + I \cdot R_{Э};$$

$$\omega = \frac{U_{3C} K_{РС} K_n K_{\delta}}{1 + K_{РС} K_n K_{\delta c} K_{\delta}} - \frac{I R_{Э} K_{\delta}}{1 + K_{РС} K_n K_{\delta c} K_{\delta}}, \quad (31)$$

где $K_{\delta} = 1/k\Phi_H$ – коэффициент передачи двигателя.

б) $I > I_{ОТС}$, $|U_{ДТ}| > U_{СТ VD}$.

В этом диапазоне тока одновременно на входе регулятора скорости действуют два сигнала ОС:

- сигнал по скорости, который стремится сделать скоростную характеристику более жесткой;
- сигнал по току, который стремится сделать скоростную характеристику более мягкой.

Для получения требуемой характеристики должна преобладать ОС по току. Сигнал управления становится равен:

$$U_y = (U_{3C} - U_{ДС} - U_{ДТ} + U_{СТ}) \cdot K_{РС}, \quad (32)$$

где $U_{ДТ} = \beta \cdot I \cdot R_{Э}$ – сигнал датчика тока;

$U_{СТ}$ – напряжение пробоя стабилитрона.

Решая совместно уравнения (29), (30) и (32), получим выражение (33) для второго участка электромеханической характеристики привода при наличии обратных связей по скорости и по току:

$$[U_{3C} - \omega \cdot K_{ДС} - \beta \cdot I \cdot (R_a + R_{П}) + U_{СТ}] \cdot K_{РС} \cdot K_{П} = c_e \cdot \Phi_H \cdot \omega + I \cdot (R_a + R_{П}),$$

$$\omega = \frac{U_{3C} K_{РС} K_n K_{\delta} + U_{СТ} K_{РС} K_n K_{\delta}}{1 + K_{РС} K_n K_{\delta c} K_{\delta}} - \frac{I R_{Э} (1 + \beta K_{РС} K_n) K_{\delta}}{1 + K_{РС} K_n K_{\delta c} K_{\delta}}. \quad (33)$$

Статические характеристики двухконтурной системы АЭП с отрицательной ОС по скорости и отсечкой по току представлены на рисунке 8.

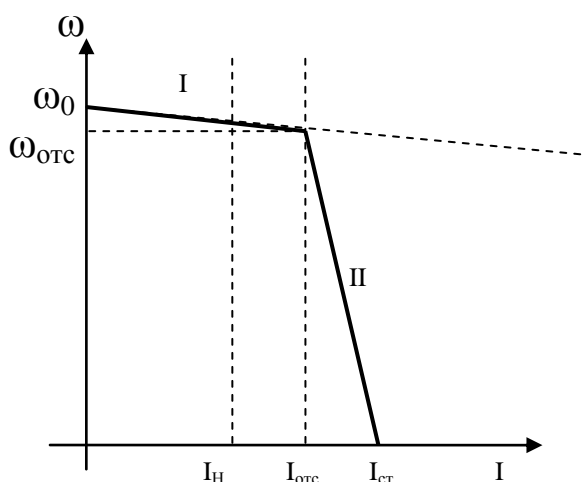


Рисунок 8

Для того чтобы сформировать такую характеристику, необходимо рассчитать параметры преобразователя, датчиков скорости и тока, регуляторов.

5.1 Управляемый выпрямитель, как звено САУ

При анализе статических свойств управляемого выпрямителя его структурную схему удобно представить в виде двух последовательно включенных звеньев (рисунок 5): системы импульсно-фазового управления (СИФУ) и собственно тиристорного преобразователя (силового блока). Входным сигналом СИФУ является напряжение управления U_y , которое преобразуется в угол регулирования тиристоров α и определяет среднее значение выпрямленного напряжения U_d на выходе силового блока.

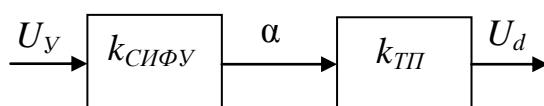


Рисунок 9

Коэффициент передачи СИФУ представляет собой отношение приращения угла регулирования к приращению напряжения управления:

$$k_{СИФУ} = \frac{\Delta\alpha}{\Delta U_y} \left(\frac{\text{эл.град}}{В} \right). \quad (34)$$

Коэффициент передачи собственно тиристорного преобразователя есть отношение приращения среднего значения выпрямленного напряжения к приращению угла регулирования тиристоров:

$$k_{ТП} = \frac{\Delta U_d}{\Delta \alpha} \left(\frac{B}{\text{эл.град}} \right). \quad (35)$$

Общий коэффициент усиления управляемого выпрямителя представляет собой отношение приращения среднего значения выпрямленного напряжения к приращению напряжения управления:

$$k_n = \frac{U_d}{U_y} \quad (36)$$

и в соответствии со структурной схемой

$$k_n = k_{СИФУ} k_{ТП}. \quad (37)$$

Методика определения коэффициента усиления тиристорного преобразователя зависит от вида статической характеристики СИФУ. К настоящему времени разработано множество вариантов СИФУ с различными принципами фазосмещения. Для их реализации используются аналоговые или цифровые элементы.

В том случае, когда характеристика системы импульсно-фазового управления линейна, коэффициент усиления преобразователя целесообразно рассчитывать по выражению (37), определив предварительно коэффициенты передачи отдельных звеньев $k_{ТП}$ и $k_{СИФУ}$. При расчете коэффициента передачи СИФУ в выражение (30) подставляют произвольное значение приращения угла отпирания, для которого известна величина приращения напряжения управления. Для определения коэффициента передачи собственно тиристорного преобразователя строится характеристика $Ed = f(\alpha)$. Вид этой характеристики зависит от схемы выпрямления и характера нагрузки. Обычно при анализе работы схем на активно-индуктивную нагрузку величину индуктивности нагрузки L_n принимают бесконечно большой, что позволяет значительно упростить основные расчетные соотношения. Рабочие участки на характеристике выбирают аналогично рассмотренному выше. Искомый коэффициент передачи рассчитывается по выражению.

В некоторых преобразователях используются системы импульсно-фазового управления с так называемым арккосинусоидальными характеристиками, что позволяет получить линейную в пределах рабочего диапазона зависимость $Ed = f(U_y)$. В этом случае при определении общего коэффициента усиления тиристорного преобразователя в формулу (34) подставляют произвольное значение угла отпирания, для которого известна величина приращения напряжения управления.

Тиристорный преобразователь как элемент структурной схемы электропривода в динамических режимах имеет свойства инерционного звена с передаточной функцией:

$$W_n(p) = \frac{k_n}{T_n p + 1}. \quad (38)$$

Величина постоянной времени T_{II} зависит от множества факторов, учет которых представляется очень сложным. Поэтому в практических расчетах величину T_{II} принимают в пределах от 0.005 до 0.015 с.

5.2 Пример расчета статических характеристик управляемого выпрямителя

Исходные данные:

- преобразователь собран по мостовой схеме, $k_{cx}=2.34$;
- $U_c = 220$ В – фазное напряжение вентильной обмотки трансформатора;
- $U_{y\max} = 10$ В – принятое максимальное значение напряжения управления.

При арккосинусоидальной характеристике СИФУ угол регулирования инвертора

$$\alpha = \arccos\left(\frac{U_y}{U_{y\max}}\right). \quad (39)$$

При линейной характеристике СИФУ угол регулирования инвертора равен:

$$\alpha = \frac{\pi}{2} \left(1 - \frac{U_y}{U_{y\max}}\right). \quad (40)$$

ЭДС выпрямителя при мостовой схеме ТП:

$$E_{du} = k_{cx} U_c \cos \alpha. \quad (41)$$

Для определения коэффициента усиления инвертора при различных вариантах СИФУ в соответствии с формулами (39), (40), (41) можно использовать программу расчета, выполненную с применением приложения «Mathcad». Индексом «1» отмечен вариант линейной СИФУ.

Исходные данные

$U_c := 220$ вторичное фазное напряжение трансформатора

$k_c := 2.34$ коэффициент мостовой схемы

$u_m := 10$ максимальное напряжение управления

Решение

$E_{d0} := k_c \cdot U_c$ максимальное выпрямленное напряжение

$\beta(U_u) := \arccos\left(\frac{U_u}{u_m}\right)$ характеристика арккосинусоид. СИФУ

$\beta_1(U_u) := \left(\frac{\pi}{2}\right)\left(1 - \frac{U_u}{u_m}\right)$ характеристика прямоугол. СИФУ

Характеристика ТП с арккосинусоидальной СИФУ

$E(U_u) := E_{d0} \cdot \cos(\beta(U_u)) \text{ float } ,4 \rightarrow 51.48 \cdot U_u$

Характеристика ТП с прямоугольной СИФУ

$E_1(U_u) := E_{d0} \cdot \cos(\beta_1(U_u)) \rightarrow 514.80 \cdot \cos\left[\frac{1}{2} \cdot \pi \cdot \left(1 - \frac{1}{10} \cdot U_u\right)\right]$

K_n инвертора с арккосинусоидальной СИФУ

$$K_n(U_u) := \frac{E(U_u)}{U_u}$$

K_{n1} инвертора с прямоугольной СИФУ

$$K_{n1}(U_u) := \frac{E_1(U_u)}{U_u}$$

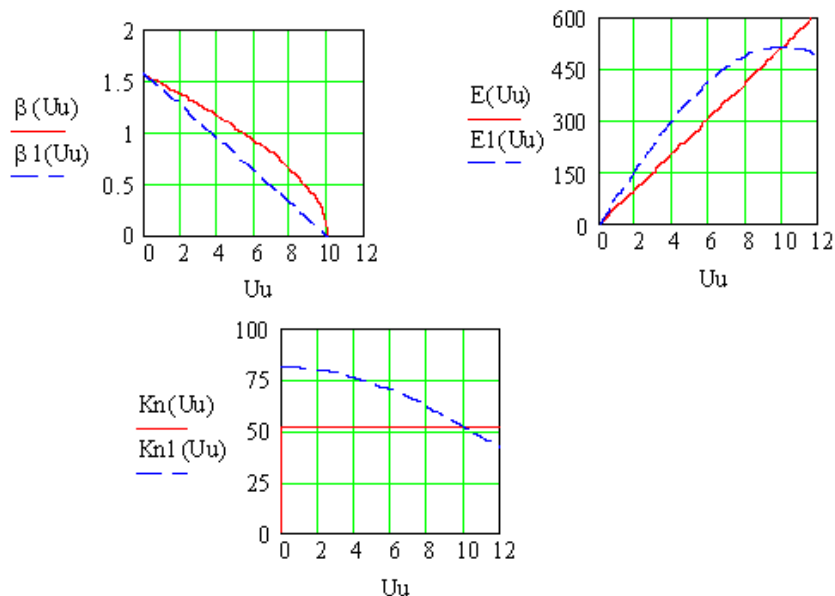


Рисунок 10 – Расчет статических характеристик управляемого выпрямителя

На рисунке 10 представлены результаты расчета регулировочных характеристик СИФУ (а), преобразователя (б) и коэффициента передачи выпрямителя (с).

Сплошной линией на рисунках отмечены характеристики выпрямителя при арккосинусидальной СИФУ, пунктирной – при линейной СИФУ. В первом случае k_n – величина постоянная, во втором – изменяется в диапазоне регулирования. Для дальнейших расчетов можно задаться областью регулирования ЭДС выпрямителя для конкретного механизма и определить соответствующее ей значение k_n .

5.3 Определение параметров обратных связей

Перепад скорости в разомкнутой системе при номинальной нагрузке:

$$\Delta\omega_p = \frac{I_H \cdot R_{\mathcal{E}}}{C}. \quad (42)$$

Заданный перепад скорости в замкнутой системе:

$$\Delta\omega_3 = \frac{\omega_H \cdot \delta_3}{D \cdot 1 - \delta_3}, \quad (43)$$

где $\delta_3 = \frac{\Delta\omega\%}{100}$ – статическая ошибка в относительных единицах.

Согласно (31) перепад скорости в замкнутой системе равен:

$$\Delta\omega_3 = \frac{I_H R_{\mathcal{E}}}{k\Phi_H + K_{pc} K_n K_{\mathcal{O}c}} = \frac{I_H R_{\mathcal{E}} K_{\mathcal{O}}}{1 + K_{pc} K_n K_{\mathcal{O}c} K_{\mathcal{O}}}, \quad (44)$$

где $K_{\mathcal{O}} = 1/k\Phi_H$ – коэффициент передачи двигателя.

Тогда необходимый коэффициент отрицательной обратной связи по скорости:

$$K_{\mathcal{O}c} = K_{pc} K_{\mathcal{O}c} = \frac{\Delta\omega_p - \Delta\omega_3}{\Delta\omega_3 \cdot K_{II} K_{\mathcal{O}}}. \quad (45)$$

Значение коэффициента усиления K_n берется из регулировочных характеристик преобразователя при $E_{n \min}$. По необходимому коэффициенту обратной связи выбирается тахогенератор с фактическим значением:

$$K_{\partial c} = \frac{U_{H.TT}}{\omega_{H.TT}}$$

и рассчитывается коэффициент усиления регулятора скорости:

$$K_{pc} = \frac{K_{oc}}{K_{\partial c}}. \quad (46)$$

5.4 Расчет и построение характеристик привода с отрицательной обратной связью по скорости и токовой отсечкой

При использовании предложенной выше схемы, статическая характеристика двигателя имеет вид, показанный на рисунке 8, и состоит из двух участков.

На участке I $I < I_{омс}$, токовая отсечка не работает. САУ работает в режиме поддержания постоянства заданной скорости. Скорость в функции нагрузки изменяется в соответствии с выражением (31). Из уравнения (31), при номинальных значениях скорости и тока, определяется задающее напряжение на верхней и нижней характеристиках:

$$U_{3.B.} = \frac{\omega_H(1 + K_{pc}K_nK_{\partial c}K_{\partial})}{K_{pc}K_nK_{\partial}} + \frac{I_H R_{\partial}}{K_n K_{pc}};$$

$$U_{3.H.} = \frac{\omega_H(1 + K_{pc}K_nK_{\partial c}K_{\partial})}{DK_{pc}K_nK_{\partial}} + \frac{I_H R_{\partial}}{K_n K_{pc}}. \quad (47)$$

Скорости холостого хода для верхней и нижней характеристик определяются, как

$$\omega_{0B} = \frac{U_{3B} K_{pc} K_n K_{\partial}}{1 + K_{pc} K_n K_{\partial c} K_{\partial}},$$

$$\omega_{0H} = \frac{U_{3H} K_{pc} K_n K_{\partial}}{1 + K_{pc} K_n K_{\partial c} K_{\partial}}. \quad (48)$$

Скорости отсечек на верхней ($\omega_{омсB}$) и нижней ($\omega_{омсH}$) характеристиках определяются по уравнению (31) при $I = I_{омс}$. Электромеханическая характеристика первого участка строится по рассчитанным точкам в соответствии с рисунком 11.

На II участке $I \geq I_{омс}$, поэтому в результате действия токовой отсечки наклон характеристики увеличивается в соответствии с уравнением (29). Для того, чтобы верхняя характеристика второго участка прошла через заданные точки $(I_{омсВ}, \omega_{омсВ}; I_{см}, \omega_{см})$, находим значения напряжения $U_{см}$ и β совместным решением уравнения (27) при $I=I_{омс}$ и уравнения (29) при $I=I_{см}$:

$$\beta = \frac{\omega_{омс} (1 + K_{pc} K_n K_{dc} K_{\delta}) - R_{\delta} K_{\delta} (I_{см} - I_{омс})}{K_{pc} K_n K_{\delta} (I_{см} - I_{омс})}; \quad (49)$$

$$U_{см} = \frac{I_{cn} R_{\delta} (1 + \beta K_{pc} K_n) - U_{зВ} K_{pc} K_n}{K_n K_{pc}}. \quad (50)$$

В соответствии с проведенными расчетами, характеристика второго участка, построенная по уравнениям (33), (49), (50), пройдет через заданные точки (рисунок 11).

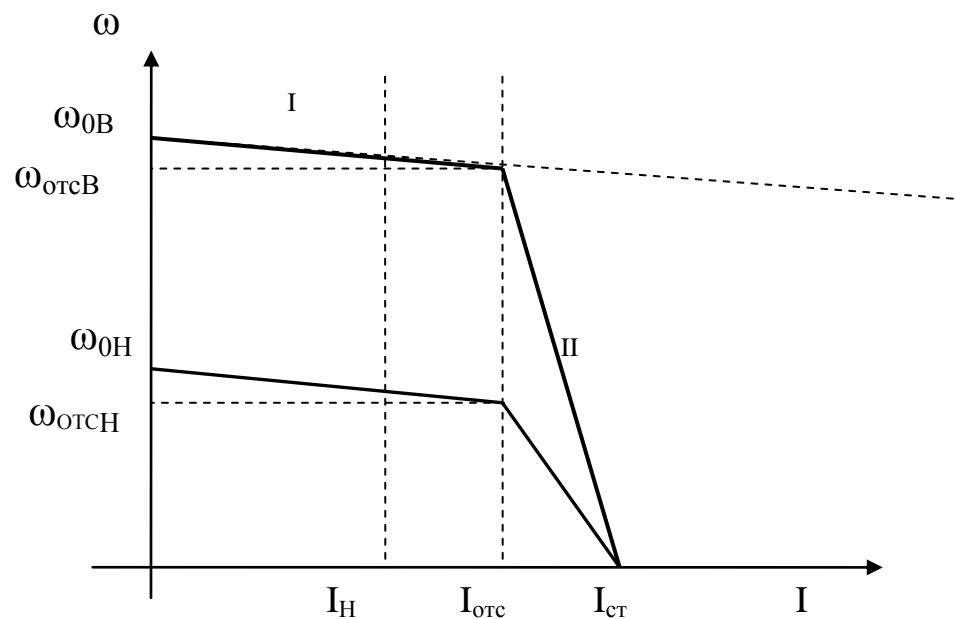


Рисунок 11

В заключении необходимо описать полученные результаты и сопоставить основные параметры разработанной системы с заданными.

Содержание

Введение.....	3
1 Задание на курсовую работу.....	3
2 Электропривод по схеме «тиристорный преобразователь – двигатель».....	5
3 Выбор электродвигателя и расчет электромеханических характеристик.....	7
4 Расчет и выбор элементов силовой схемы.....	9
4.1 Расчет мощности и выбор силового трансформатора.....	10
4.2 Расчет индуктивности уравнивающих и сглаживающих реакторов..	12
4.3 Определение параметров привода и построение электромеханических характеристик.....	14
5 Разработка функциональной схемы.....	15
5.1 Управляемый выпрямитель как звено САУ.....	18
5.2 Пример расчета статических характеристик управляемого выпрямителя.....	20
5.3 Определение параметров обратных связей	22
5.4 Расчет и построение характеристик системы ТП-Д с отрицательной обратной связью по скорости и токовой отсечкой....	23
Список литературы.....	25

Список литературы

- 1 Ковчин С.А., Сабинин Ю.А. Теория электропривода. - СПб.: Энергоатомиздат, 2000.- 496 с.
- 2 Москаленко В.В. Автоматизированный электропривод. – М.: Энергоатомиздат, 2004. - 416 с.