Некоммерческое акционерное общество

АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ

Кафедра электропривода
и автоматизации
промышленных установок

ЭЛЕМЕНТЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Методические указания по выполнению расчетно-графических работ
для студентов специальности 5В071800

Алматы 2016

СОСТАВИТЕЛИ: Ю.И. Шадхин, Ж.Ж. Тойгожинова. Элементы автоматизированного электропривода. Методические указания по выполнению расчетно-графических работ для студентов специальности 5В071800. – Алматы: АУЭС, 2016. – 21 с.

Методические указания содержат общие положения к выполнению расчетно-графических работ, указания по их выполнению и оформлению.

Методические указания предназначены для студентов специальности 5В071800.

Ил. 5, табл. 4, библ. – 8 назв.

Рецензент: старший преподаватель Б.К. Курпенов

Печатается по плану издания Некоммерческого акционерного общества «Алматинский университет энергетики и связи» на 2016 г.

©НАО «Алматнский университет энергетики и связи», 2016 г.

Содержание

	Введение ……..	4
1	Расчетно-графическая работа №1. Принципиальная схема и расчет параметров элементов автоматизированного электропривода……	4
2	Расчетно-графическая работа №2. Синтез параметров элементов системы ТП - Д и расчет статических характеристик……...	11
3	Расчетно-графическая работа №3. Построение структурных схемы элементов системы ТП - Д и ее передаточных функций……..	16
	Список литературы……...	21

Введение

Расчетно-графические работы помогает студентам проверить степень усвоения ими курса «Элементы автоматизированного электропривода». Выполнение заданий расчетно-графической работы помогает студенту применить теоретические положения курса и позволяет студенту самостоятельно получить навыки анализа системы управления автоматизированного электропривода.

Выполняя расчетно-графические работы, необходимо выполнять:

- свой вариант, текст задания, должен быть переписан полностью, без сокращений в пояснительную записку расчетно-графической работы;
- номер варианта и группа, фамилия и инициалы студента должны быть написаны на титульном листе;
- для параметров, имеющих определенные размерности, писать соответствующие единицы измерения;
- не допускать изменений наименований элементов автоматизированного электропривода;
- на графике обязательно указывать названия изображаемых величин;
- привести список использованной литературы;
- расчеты задания №3 осуществить в системе MATLAB.

1 Расчетно-графическая работа №1. Принципиальная схема и расчет параметров элементов автоматизированного электропривода

1.1 Задание на расчетно-графическую работу №1

1) В соответствии с индивидуальным заданием по таблицам 1.1 и 1.2 выбрать по каталогу электрический двигатель.

2) Рассчитать параметры элементы тиристорного преобразователя (ТП).

3) Составить принципиальную схему силовой цепи системы ТП-Д, определить параметры ее элементов и выбрать жесткие обратные связи.

Варианты задания выбираются из таблиц 1.1 и 1.2 по номеру зачетной книжки и начальной букве фамилии студента.

Таблица 1.1 – Варианты заданий

Последняя цифра шифра	Мощность P, кВт	Скорость n, 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

Окончание таблицы 1.1

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

Таблица 1.2 – Варианты заданий

Предпоследняя цифра шифра	Диапазон регулирования скорости D	Статическая ошибка Δω, %	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

1.2 Выбор электродвигателя и преобразователя

1.2.1 Выбор электродвигателя постоянного тока серии П производится по каталогу (Л.1).

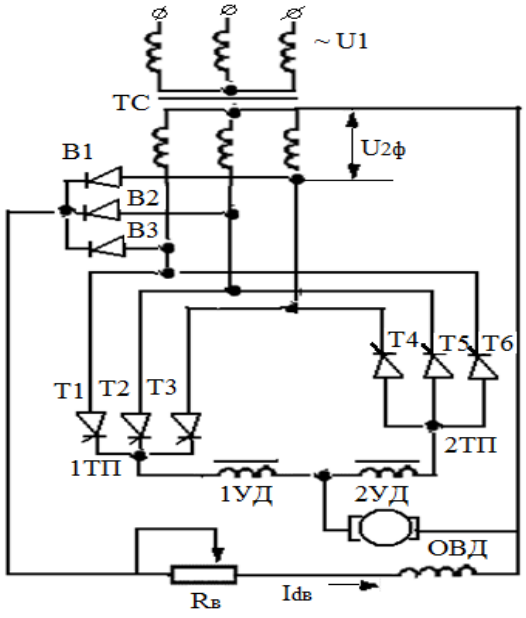

Рисунок 1.1 – Принципиальная схема силовой цепи

Для электроприводов, работающих с частыми пусками, реверсами и торможениями, широко применяется реверсивная система «тиристорный преобразователь двигатель» (ТП - Д), состоящая из двух встречно-параллельных групп тиристоров, обеспечивающих изменение тока якоря двигателя.

На рисунке 1.1 изображена принципиальная схема силовой цепи реверсивного электропривода по системе ТП-Д. В комплект привода входят: силовой трансформатор ТС, обеспечивающий получение вторичного напряжения, соответствующего номинальному напряжению двигателя, тиристорный преобразователь ТП с тиристорами Т1, Т6, уравнительные дроссели 1УД 2УД, выпрямитель В для питания обмотки возбуждения двигателя ОВД.

Тиристорный преобразователь состоит из двух групп вентилей, включенных по трехфазной нулевой встречно-параллельной схеме (встречно по отношению друг другу, параллельно якорю двигателя). Тиристоры Т1-Т2-Т3 составляют катодную группу 1ТП, работающую в выпрямительном режиме при положительных значениях напряжений на анодах; тиристоры Т4-Т5-Т6 образуют анодную группу 2 ТП и работают выпрямителем при отрицательном напряжении на катодах.

При согласованном управлении ТП регулировочные характеристики $\alpha_1 = f(U)$ и $\alpha_2 = f(U)$ системы управления обеими группами должны быть жёстко связаны

$$\alpha_1 + \alpha_2 = 180^0, \tag{1.1}$$

где α_1 и α_2 – углы управления соответственно первой и второй группами вентилей, отсчитываемые от моментов естественного открывания тиристоров.

Регулировочные характеристики системы управления представляют зависимости

$$E_n = f(U_y) \text{ и } K_n = f_1(U_y). \tag{1.2}$$

Расчет элементов и параметров ТП при известных номинальных значениях тока $I_н$ и напряжении U двигателя производится в следующем порядке, считая, что

$$I_d = I_н \text{ и } U_d = U_н. \tag{1.3}$$

1.2.2 Выбор силового трансформатора производится по расчетным значениям токов I_1 и I_2, напряжения U_2 и тепловой мощности трансформатора $S_т$.

Расчетное значение напряжения вторичной обмотки трансформатора

$$U_{2фрасч} \cdot K_u \cdot K_c \cdot K_\alpha \cdot K_r \cdot U_d, B, \tag{1.4}$$

где $К_г$ – расчетный коэффициент, характеризующий соотношение напряжений $U_{2ф}/U_{d0}$ в реальном выпрямителе (таблица 1.3);

$К_с$ – коэффициент запаса по напряжению, учитывающий возможное снижение напряжения сети до U = 0,9. Обычно принимают $К_с$ = 1,05 ÷ 1,1 в зависимости от стабильности работы сети;

$К_α$ - коэффициент запаса, учитывающий неполные открывание вентилей при максимальном управляющем сигнале, следует принимать $К_α$ = 1,05 ÷ 1,1;

$К_u$ - коэффициент запаса по напряжению, учитывающий падение напряжения в обмотках трансформатора и в вентилях, принимается равным $К_u$ = 1,05.

Расчетные значение тока вторичной обмотки трансформатора

$$I_{2есеп} = K_I \cdot K_i \cdot I_d, A, \quad (1.5)$$

где $К_I$ – коэффициент схемы (таблица 1.3), характеризующий отношение токов $I_{2ф}/I_d$;

$К_i$ – коэффициент, учитывающий отклонения формы анодного тока вентилей от прямоугольной, $К_i$ = 1,05 ÷ 1,1.

Таблица 1.3 – Значения расчетных коэффициентов

Наименование схемы выпрямления	$К_u$	$К_I$	$К_s$	$К_{u\ обр.}$
Однофазная двухполупериодная	1,3	0,786	1,77	3,72
Трехфазная нулевая	0,922	0,578	1,45	2,25
Трехфазная мостовая	0,461	0,815	1,065	1,065
Трехфазный зигзаг с нулевым выводом	0,532	0,578	1,52	2,25

Расчетная типовая мощность трансформатора

$$S_m = K_s \cdot K_u \cdot K_\alpha \cdot K_I \cdot U_d \cdot I_d \cdot 10^{-3}, кВА, \quad (1.6)$$

где $К_s$ – коэффициент схемы (таблица 1.3), характеризующий соотношение мощностей для идеального выпрямителя.

На основании полученных данных выбирается ТТ, имеющий следующие параметры

$$S_u \geq S_r;\ U_{2ф.н} \geq U_{2ф.расч.};\ I_{2ф.н.} \geq I_2.$$

Для дальнейших расчетов необходимо также иметь данные

$P_{х.х.}$ при $U_н$, $P_{к.з.}$ при $I_н$, $U_к$ %, $I_{х.х.}$ %.

1.2.3 Выбор тиристоров производится по среднему значению тока через вентиль, с учетом увеличения тока двигателя в переходных режимах, до (2 ÷ 2,2)$I_н$, условий охлаждения и максимального значения обратного напряжения.

Среднее значение тока через тиристор

$$I_{dc} = \frac{K_з \cdot I_н}{K_{ox} \cdot m_m}, A, \tag{1.7}$$

где $K_з$ (2 ÷ 2,5) – коэффициент запаса по току;

K_{ox} – коэффициент, учитывающий интенсивность охлаждения вентиля, K_{ox} = 1 при принудительном и K_{ox} = 0,3 ÷ 0,35 при естественном воздушном охлаждении со стандартным радиатором.

Максимальная величина обратного напряжения

$$U_{обр.м} = K_{зн} \cdot K_{uo} \cdot U_{d0}, B, \tag{1.8}$$

где $K_{зп}$ (1,5 ÷ 1,8) – коэффициент запаса по напряжению, учитывающий возможные повышения напряжений сети и периодически выбросы напряжения при коммутациях вентилей;

$K_{u\ обр}$ – коэффициент обратного напряжения (таблица 1.3);

U_{d0} – напряжение преобразователя при α = 0, предварительно подсчитывается по формуле:

$$U_{d0} = K_c \cdot K_\alpha \cdot K_r \cdot U_d, B. \tag{1.9}$$

1.2.4 Расчет индуктивности уравнительных дросселей.

Требуемая величина индуктивности УД находится в зависимости от ограничения амплитуды переменной составляющей уравнительного тока до величины (3 – 5) % от $I_н$ двигателя, т.е.:

$$L_{дннеоб.} = \frac{\sqrt{2U_n^{/}}}{m\omega_c (0{,}03 \div 0{,}05) I_н}, Гн, \tag{1.10}$$

где $U^{/}_н$ - удвоенное активное значение первой гармоники выпрямленного напряжения, определяемое по соответствующим кривым. При α =90°, $U^{/}_н$ = 250 В;

m- число фаз выпрямителя, m= 3;

$ω_c$ - угловая частота сети, $ω_c$ = 314 рад/с.

1.2.5 Расчет индуктивности сглаживающего дросселя.

Индуктивность сглаживающего дросселя, включаемого последовательно с якорем двигателя, определяется из условия обеспечения

непрерывности тока двигателя во всем диапазоне нагрузки от $I_{d\ min}$ до $I_{d\ max}$ и изменения угла управления от $\alpha = \alpha_{min}$ до $\alpha = 90^0$.

$$L_{днеобх} \geq \frac{\sqrt{2} \cdot U_n}{m \cdot \omega_C \cdot I_{дмин}}, \tag{1.11}$$

где $U_п$ - действующее значение первой гармоники напряжения для трехфазной схемы выпрямления $U_п$=120 В;

$I_{dмин}$ – минимальный ток преобразователя, принимается равным (3 ÷ 5)% от номинального значения.

Сглаживающий дроссель не ставится в случае, если

$$L_{необх} \leq L_{удрасч} + h_{дв} + L_{тр}. \tag{1.12}$$

1.3 Определение расчетных параметров силовой цепи

Расчетное сопротивление цепи выпрямленного тока определяются по формуле:

$$R_p = 1{,}2(R_н + R_{дп}) + R_щ + R_п, \tag{1.13}$$

где $R_я + R_{дп}$ - сопротивление обмоток якоря и дополнительных полюсов двигателя при температуре 15 ^{0}C;

$R_щ$ - сопротивление щеточного контакта, принимается равным:

$$R_щ = \frac{2}{I_н}, \tag{1.14}$$

$R_п$ - сопротивление преобразователя, которые определяется выражением:

$$R_п = R_т + x_т m / 2\pi, \tag{1.15}$$

$R_т$ и $x_т$ - активное и индуктивное сопротивления обмоток силового трансформатора, приведенные к цепи выпрямленного тока, определяются по данным опытов короткого замыкания и холостого хода

$$R_т = P_{кз} / m_{1н} k^2_{тр}, \tag{1.16}$$

$$X_т = U_к\% / 100 \cdot I_{1н} \cdot k^2{}_{тр.} \tag{1.17}$$

Расчетная индуктивность цепи якоря:

$$L_р = L_{дв} + L_{тр} + L_{уд}, \tag{1.18}$$

где $L_{дв}$ – индуктивность якоря и дополнительных полюсов

$$L_{дв} = 5{,}73U_н / p \cdot \omega_н \cdot I_н, Гн. \quad (1.19)$$

Индуктивность фазы трансформатора, приведенная к контуру двигателя

$$L_{тр} = x_m / 2\pi f, Гн. \quad (1.20)$$

Постоянная двигателя

$$C = U_н - 1{,}2(R_я + R_{дп})I_н / \omega. \quad (1.21)$$

Электромагнитная постоянная времени

$$T_я = L_p / R_p, c. \quad (1.22)$$

Электромеханическая постоянная времени

$$T_m = (J_{дв} + J_{мех})R_p / 4c^2, c. \quad (1.23)$$

1.4 Расчет и построение регулировочных характеристик преобразователя

$$E_n = aE_{2ф} \frac{m}{\pi} \sin\frac{\pi}{m} \cos\alpha. \quad (1.24)$$

Среднее значение ЭДС тиристорного преобразователя

$$E_n = aE_{2ф} \cos\alpha. \quad (1.25)$$

Зависимость α = f (U_y), называемая характеристикой управления, приведена на рисунке 1.2.

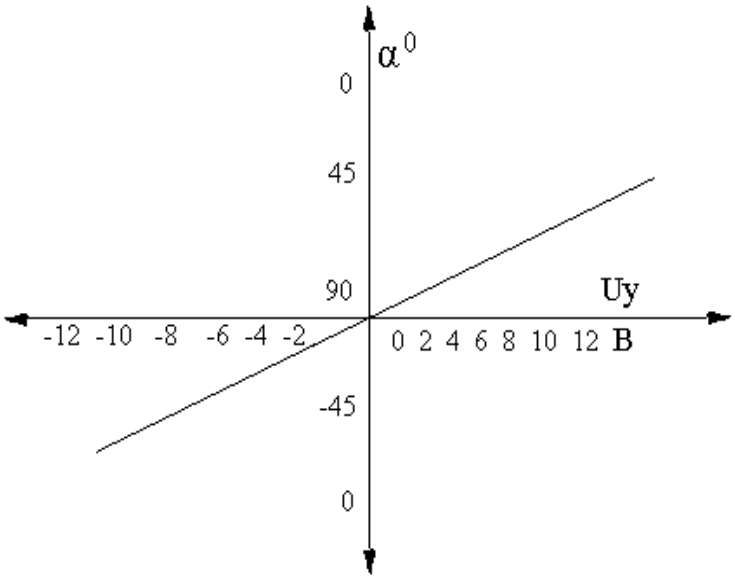

Рисунок 1.2 – Характеристика управления

На одном графике необходимо построить зависимости $E_п = f(U_у)$ и $К_п = f_1(U_у)$ (рисунок 1.3).

Коэффициент усиления преобразователя

$$k_n = \frac{E_n}{U_y}. \tag{1.26}$$

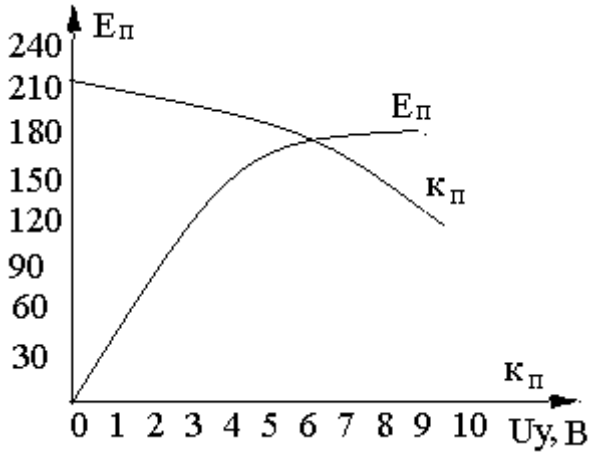

Рисунок 1.3 - Регулировочные характеристики

2 Расчетно-графическая работа №2. Синтез параметров элементов системы ТП - Д и расчет статических характеристик

2.1 Задание на расчетно-графическую работу №2

1) Рассчитать и построить статические характеристики разомкнутой и замкнутой систем ТП-Д.

Для выполнения задания №2 необходимо использовать численные значения таблицы 1.1 и 1.2.

2.2 Расчет статических характеристик разомкнутой системы ТП-Д

ЭДС преобразователя при номинальной скорости

$$E_{дн} = c\omega_н + \Delta U + I_н R_р, B, \tag{2.1}$$

где $\Delta U = \Delta U_в + \Delta U_ш$;

$\Delta U_в = (0{,}5 \div 1)$, В – падение напряжения в переходе тиристора;

$\Delta U_ш = 2$, В – падение напряжения на щетках двигателя.

Статическая характеристика строится при изменении тока по формуле:

$$\omega = (E_n - \Delta U - I_н R_р)/c. \tag{2.2}$$

ЭДС преобразователя при минимальной скорости и номинальной нагрузке

$$E_{n\min} = c\omega_н / D + \Delta U + I_н R_p. \quad (2.3)$$

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

$$\omega = (E_{n\min} - \Delta U - I_н R_p) / c. \quad (2.4)$$

Статические характеристики приведены на рисунке 2.1.

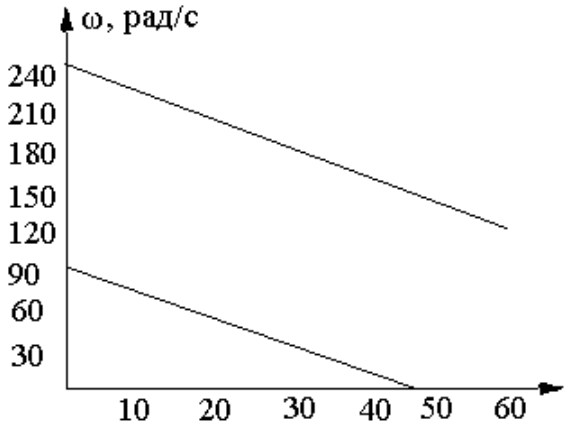

Рисунок 2.1 - Статические характеристики

2.3 Определение параметров обратной связи по скорости

Структурная схема системы с жесткой отрицательной обратной связью по скорости приведена на рисунке 2.2.

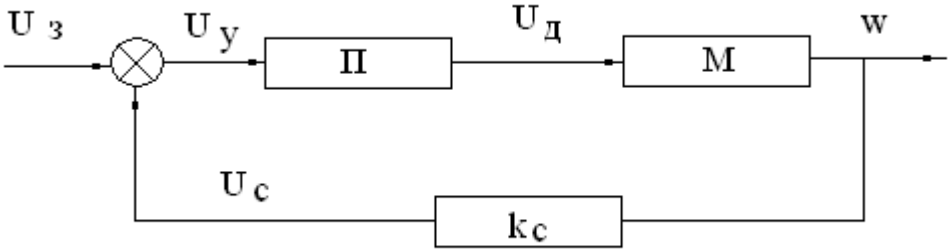

Рисунок 2.2 - Структурная схема системы с обратной связью по скорости

Перепад скорости в разомкнутой системе

$$\Delta\omega_p = \frac{I_{н\cdot} \cdot R_p}{c}, рад/с. \quad (2.5)$$

Перепад скорости в замкнутой системе

$$\Delta\omega_з = \frac{\omega_н \cdot \delta_з}{D(1-\delta_з)}, \tag{2.6}$$

где $\delta_З$ – статическая ошибка в относительных единицах

$$\sigma_з = \frac{\Delta\omega\%}{100}. \tag{2.7}$$

Необходимый коэффициент обратной связи

$$K_{снеобх} = \frac{(\Delta\omega_р - \Delta\omega_з)}{\Delta\omega_з \cdot K_п}. \tag{2.8}$$

Коэффициент усиления $К_п$ берется из регулировочной характеристики преобразователя при $Е_{п.min}$. По необходимому коэффициенту обратной связи выбирается тахогенератор с фактическим значением:

$$K_{тг.} = \frac{U_{тг}}{\omega_{нтг}}. \tag{2.9}$$

2.4 Расчет и построение характеристик замкнутой системы

Для повышения эффективности действия токовой отсечки и для ограничения уровня сигнала на входе ТП используется схема рисунка 2.3. При этом статическая характеристика двигателя имеет вид, показанный на рисунке 2.4, и состоит из трех участков.

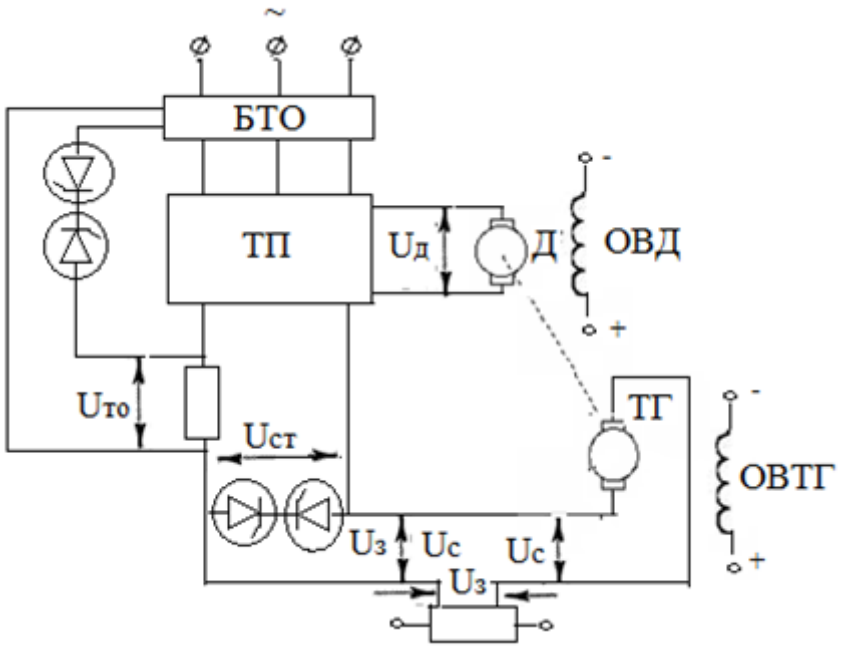

Рисунок 2.3 - Система ТП-Д с отрицательной обратной связью по скорости и токовой отсечки

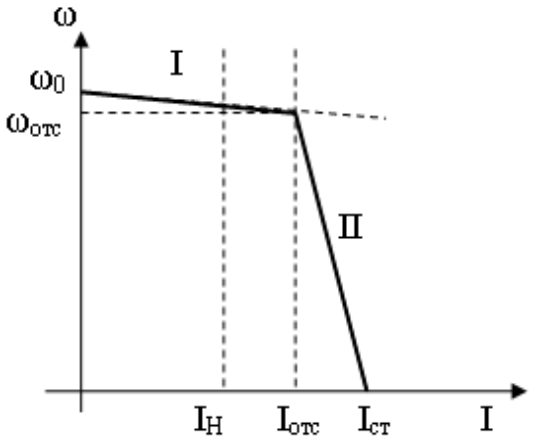

Рисунок 2.4 - Статические характеристики замкнутой системы

На этом участке САУ работает в режиме поддержания постоянства заданной скорости.

На 2 участке $I \geq I_{ОТС}$, поэтому в результате действия токовой отсечки наклон характеристики увеличивается.

Пробивается стабилитрон 2СТ и управляющий сигнал

$$U_y = U_з - K_c\omega - K_m(I - I_{отс}), \tag{2.10}$$

где $К_т$ – коэффициент токовой отсечки.

На 3 участке вследствие увеличения сигнала U_y пробивается стабилитрон 1СТ и действует только токовая отсечка.

При этом

$$U_y = U_{1ст} - K_m(I - I_{отс}). \tag{2.11}$$

Напряжение пробоя стабилитрона 1 СТ определяется по формуле

$$U_{1ст} = U_{зв} - K_c\omega_{отс.в} = U_{зн} \cdot K_c\omega_{отс.н}, \tag{2.12}$$

где $U_{ЗВ}$ и $U_{ЗН}$ - задающие напряжение соответственно на верхней и нижней характеристиках;

$\omega_{отс.в}$ и $\omega_{отс.н}$ – скорость отсечки соответственно на верхней и нижней характеристиках

Скорость на 1 участке

$$\omega_1 = \frac{K_д(K_п \cdot U_З - \Delta U) - K_д \cdot R_\Sigma \cdot I}{1 + K_п \cdot K_д \cdot K_c}. \tag{2.13}$$

Скорость на 2 участке

$$\omega_2 = \frac{K_д(K_п \cdot U_З - \Delta U) + K_д \cdot K_п \cdot K_m \cdot I_{отс} - K_д(K_п \cdot K_m + R_\Sigma) \cdot I}{1 + K_п \cdot K_д \cdot K_c}. \tag{2.14}$$

Скорость на 3 участке

$$\omega_3 = K_д(K_n U_{1ст} - \Delta U) - K_д K_n K_т (I - I_{отс}) - K_д R_\Sigma I. \quad (2.15)$$

Из уравнения (2.13) при номинальных значениях скорости и тока определяются задающие напряжения на верхней и нижней характеристиках

$$U_{З.В.} = \frac{\omega_H(1+K_{рс}K_n K_д)}{K_n K_д} + \frac{I_H R_\Sigma + \Delta U}{R_c}, \quad (2.16)$$

$$U_{З.Н.} = \frac{\omega_H(1+K_{рс}K_n K_д)}{D \cdot K_n K_д} + \frac{I_H R_р + \Delta U}{K_n}. \quad (2.17)$$

Скорости холостого хода на верхней и нижней характеристиках

$$\omega_{отс.в} = \frac{K_д(K_n \cdot U_{ЗВ} - \Delta U) \cdot K_д R_\Sigma I_{отс}}{1 + K_n K_д K_c}, \quad (2.18)$$

$$\omega_{ОН} = \frac{K_д(K_n \cdot U_{ЗН} - \Delta U)}{1 + K_n K_д K_c}. \quad (2.19)$$

Скорости отсечек на верхней и нижней характеристиках

$$\omega_{отс.в} = \frac{K_д(K_n \cdot U_{ЗВ} - \Delta U) - K_д \cdot R_р \cdot I_{отс}}{1 + K_n K_д K_c}, \quad (2.20)$$

$$\omega_{отс.н} = \frac{K_д(K_n \cdot U_{ЗН} - \Delta U) - K_д \cdot R_р \cdot I_{отс}}{1 + K_n K_д K_c}. \quad (2.21)$$

Коэффициент токовой отсечки из уравнения (2.14) при ω=0 и I= $I_{ст}$

$$K_Т = \frac{(K_n \cdot U_{1ст} - \Delta U) - R_\Sigma \cdot I_{отс}}{R_n(I_{ст} - I_{отс})}. \quad (2.22)$$

Напряжение пробоя стабилитрона 2СТ

$$U_{2ст} = K_т I_{отс}. \quad (2.23)$$

Участки 3 верхней и нижней характеристик строятся по двум точкам: сначала по уравнению (2.13) определяется значение скорости при токе I > $I_{отс}$; затем по уравнению (2.14) находится значение скорости при токе I < $I_{стоп}$.

3 Расчетно-графическая работа №3. Построение структурных схемы элементов системы ТП - Д и ее передаточных функции

3.1 Задание на расчетно-графическую работу №3

1) Составить структурную схему ТП – ДПТ с НВ с обратной связью по скорости.

2) Образовать передаточную функцию замкнутой системы ТП – ДПТ по скорости в системе MATLAB.

3) Определить устойчивость движения замкнутой системы ТП – ДПТ.

4) Получить переходные и частотные характеристики системы.

Варианты задания выбираются из таблиц 3.1 и 3.2 по номеру зачетной книжки и начальной букве фамилии студента.

5) Параметры тиристорного преобразователя выбираются пределом: $к_{тр}$ – коэффициент передачи (10 ÷ 30); постоянный времени $T_р$ = 0,001. Коэффициент обратной связи выбирается в пределах: $к_{ос}$ = 0,1 ÷ 0,5.

Таблица 3.1 – Варианты заданий

Последняя цифра шифра	Мощность P, кВт	Скорость n, об/мин	Тип двигателя
1	1	3000	П 52
2	1,5	1500	П 41
3	2,2	3000	П 22
4	3,2	1500	П 41
5	4,5	3000	П 32
6	6	3000	П 41
7	8	1500	П 52
8	10	1000	П 71
9	14	1500	П 61
0	19	1500	П 41

Таблица 3.2 – Варианты заданий

Предпоследняя цифра шифра	Диапазон регулирования скорости D	Статическая ошибка Δω, %	$J_{мех}$ в % от $J_{дв}$
1	5	5	50
2	7	6	40
3	10	5	60
4	12	7	70
5	9	5	80
6	8	9	60

Окончание таблицы 1.1

7	11	6	90
8	6	8	50
9	15	6	40
0	10	6	70

3.2 Структурная схема двигателя постоянного тока с независимым возбуждением

Математическое описание ДТП с НВ можно представить следующими дифференциальными уравнениями:

$$J\frac{d\omega}{dt} = k_m I - M_c; \tag{3.1}$$

$$T_я \frac{\mathrm{dI_я}}{\mathrm{dt}} + \mathrm{I_я} = (1/r_я)(U_я - k_e\omega). \tag{3.2}$$

Согласно выше указанным уравнениям динамики ДТП с НВ, структурную схему двигателя в системе MATLAB можно представить в следующем виде:

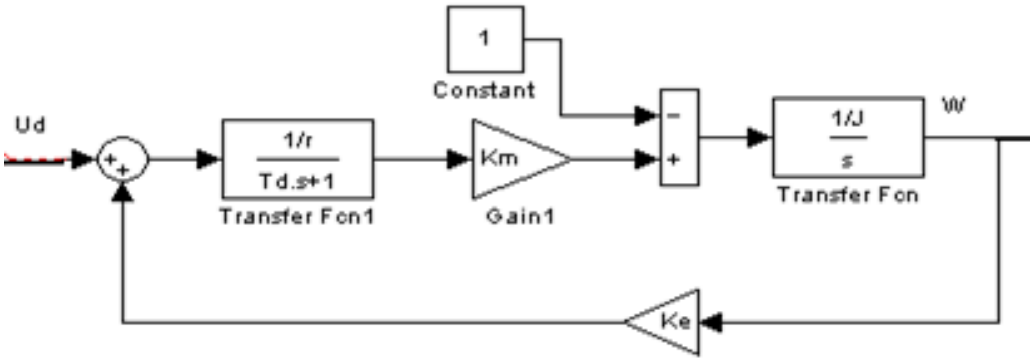

Рисунок 3.1 - Структурная схема двигателя постоянного тока с независимым возбуждением

Структурную схему тиристоного преобразователя можно представить инерционным звеном, которое в системе MATLAB имеет следующий вид:

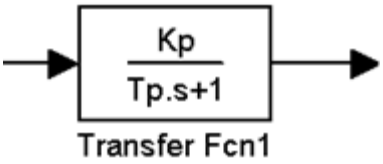

Рисунок 3.2 - Структурная схема тиристорного преобразователя (ТП)

Структурная схема замкнутой системы ТП – ДПТ с НВ в MATLAB на основании рисунка 2.2 имеет вид:

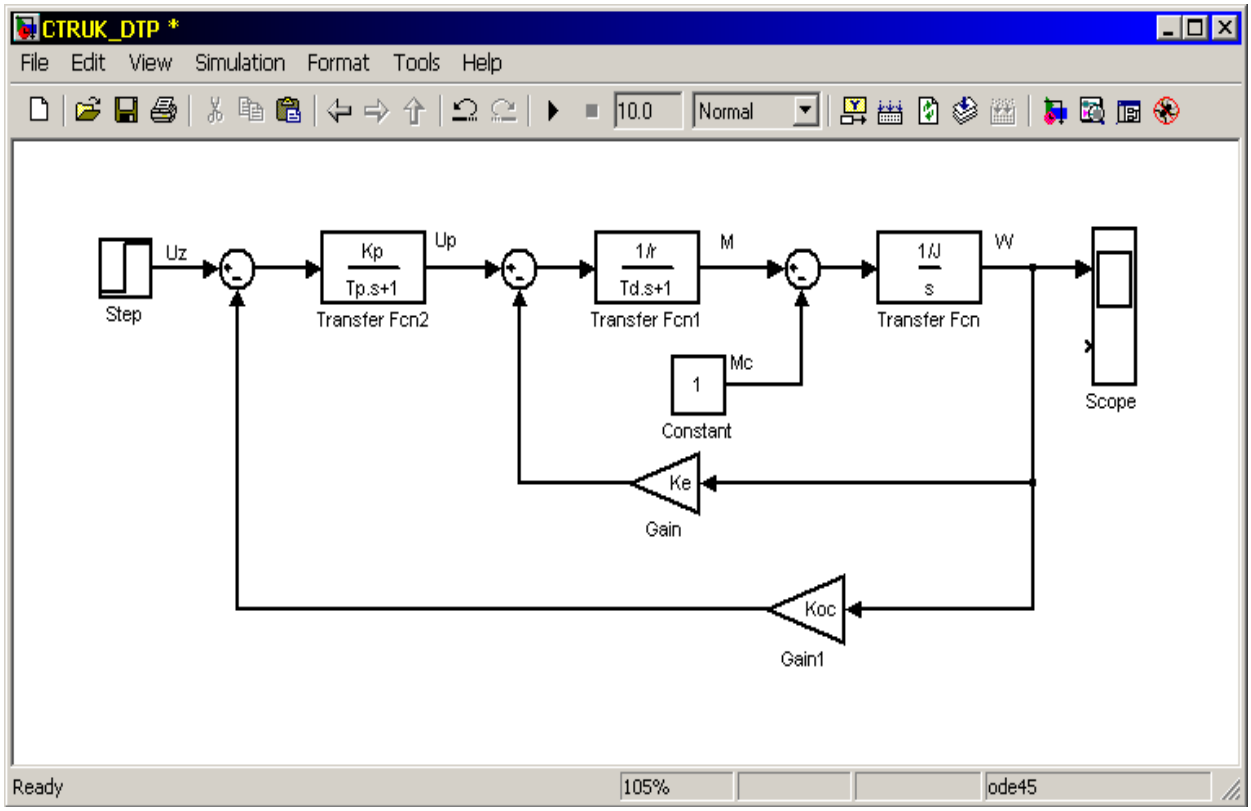

Рисунок 3.3 - Структурная схема замкнутой системы ТП – ДТР НВ

3.2 Образовать передаточную функцию замкнутой системы ТП – ДТП НВ

Образование передаточной функции замкнутой системы ТП – ДТП НВ (рисунок 3.3) осуществляется с помощью математической системы MATLAB.

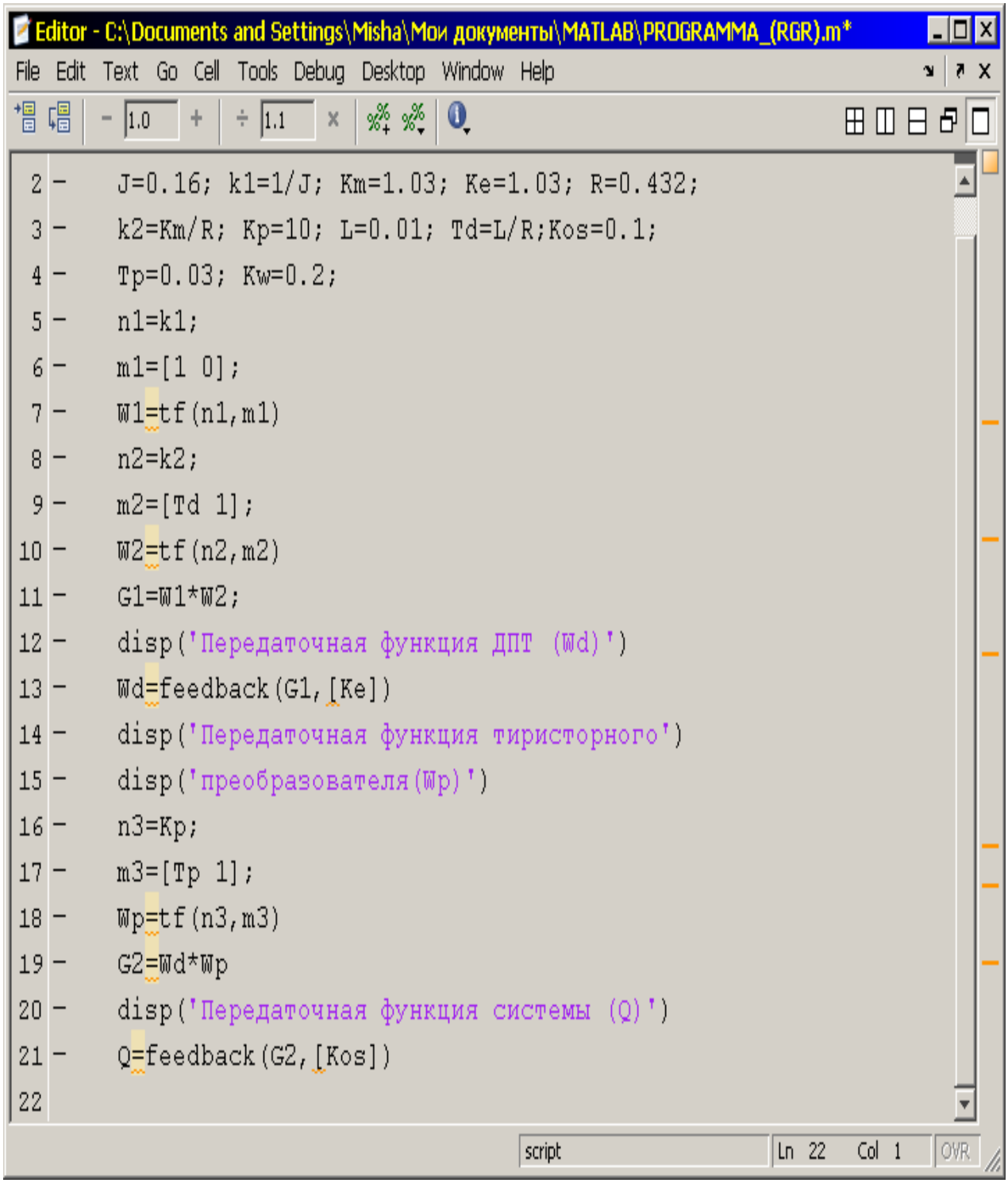

Рисунок 3.4 - Программа образования передаточной функции системы замкнутой системы ТП – ДПТ НВ

Устойчивость системы определяется с помощью программы (рисунок 3.4) с добавлением оператора *pole*(*GS*) системы MATLAB. *GS* - имя характеристического уравнения системы. Программа определения корней характеристического уравнения для анализа устойчивости системы представлена на рисунке 3.5.

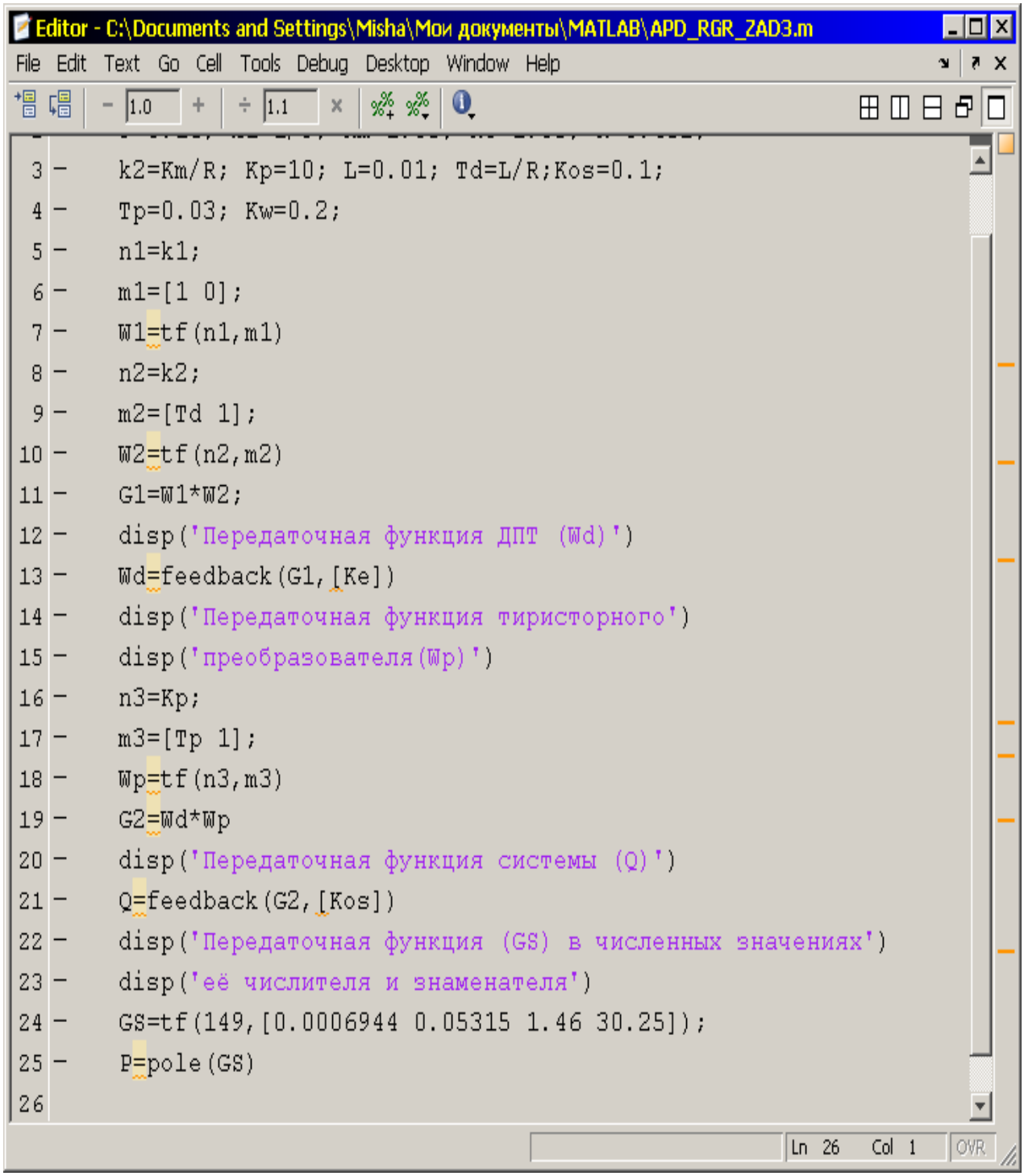

Рисунок 3.5 - Программа определения устойчивости системы ТП - ДПТ

Список литературы

1 Кисаримов Р.А. Электропривод. Справочник. – М.: «Академия», 2009. – 458 с.

2 Водовозов А.М. Элементы систем автоматики. - М.: 2008. – 509 с.

3 Малафеев С.И. Основы автоматики и системы автоматического управления. - М.: «Академия», 2010. – 560 с.

4 Цыба Ю.А., Сагитов П.И. «Элементы теории автоматического управления»: Учебное пособие для ВУЗов. – Алматы: КАУ, 2006. – 144 с.

5 Ерофеев А.А. Теория автоматического управления. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Политехника, 2005. – 302 с.

6 Герман-Галкин С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MATLAB 6.0: Учебное пособие. – СПб.: КОРОНА принт, 2007. – 320 с.

7 Москаленко В.В. Автоматизированный электропривод. – М.: Энергоатомиздат, 2010. - 416 с.

8 Ковчин С.А., Сабинин Ю.А. Теория электропривода.- СПб.: Энергоатомиздат. Санкт – Петербургское отд. 2006. - 496 с.

Сводный план 2016г., поз 20

Шадхин Юрий Исаевич
Тойгожинова Жанар Жумакановна

ЭЛЕМЕНТЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Методические указания по выполнению расчетно-графических работ
для студентов специальности 5В071800

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

Подписано в печать_____ Формат 60х84 1/16
Тираж 20 экз. Бумага типографическая №1
Объем ___ уч. – изд. л. Заказ _____Цена ___ тг.

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