

АННОТАЦИЯ

Автоматизированный электропривод механизма перемещения стола продольно-строгального станка. – Челябинск: ЮУрГУ, ИОДО; 2023, 53 с., 26 ил., библиогр. список - 5 наим., 1 лист чертежа ф. А1.

В курсовом проекте разработан электропривод главного движения стола продольно-строгального станка. Проведен выбор типа электропривода, выбор и проверка электродвигателя, выбор основных узлов силовой части, составлена математическая модель силовой части, спроектирована система управления электроприводом, рассчитан контур регулирования тока якоря и цепи компенсации ЭДС якоря, рассчитан контур регулирования скорости и задатчик интенсивности.

В графической части проекта выполнены функциональная и структурная схемы разработанного электропривода.

						ПЗ		
Изм. Лист	№ докум.	Подпись	Дат	Лит.	Лист	Листов		
Разраб.				Автоматизированный			2	53
Провер.				электропривод механизма				
Реценз				перемещения стола продольно-				
Н. Контр.				строгального станка	ЮУрГУ (НИУ). Кафедра ТТС			
Утверд.								

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	5
Исходные данные	6
Задание к проекту	7
1 Выбор типа электропривода	8
1.1 Выбор и проверка электродвигателя	8
1.1.1 Расчет нагрузочной диаграммы механизма	8
1.1.2 Предварительный выбор двигателя	10
1.1.3 Расчет нагрузочной диаграммы двигателя	12
1.2 Проверка двигателя по нагреву	20
2 Выбор основных узлов силовой части	21
2.1 Выбор тиристорного преобразователя	21
2.2 Выбор силового трансформатора	21
2.3 Выбор сглаживающего реактора	23
2.4 Принципиальная электрическая схема силовой части	24
3 Математическая модель силовой части электропривода	26
3.1 Расчет эквивалентных параметров системы	26
3.2 Выбор базисных величин системы относительных единиц	27
3.3 Расчет параметров силовой части электропривода в относительных единицах	29
3.4 Расчет коэффициентов передачи датчиков	31
4 Выбор типа системы управления электроприводом	33
5 Расчет регулируемой части контура тока якоря	35
5.1 Расчет параметров математической модели контура тока	35
5.2 Реализация датчика ЭДС	37
5.3 Конструктивный расчет датчика ЭДС и звена компенсации	39
6 Конструктивный расчет регулятора тока	42
7 Расчет регулирующей части контура скорости	45
7.1 Расчет параметров математической модели контура скорости	45
7.2 Конструктивный расчет регулирующей части контура скорости	46
8 Расчет задатчика интенсивности	49
8.1 Расчет параметров математической модели задатчика интенсивности	49
8.2 Конструктивный расчет задатчика интенсивности	49
Заключение	52
Библиографический список	53

					ПЗ	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат		4

ВВЕДЕНИЕ

Процесс обработки детали на продольно-строгальном станке поясняет рисунок 1. Снятие стружки происходит в течение рабочего (прямого) хода, при обратном движении резец поднят, а стол перемещается на повышенной скорости. Подача резца производится периодически от индивидуального привода во время холостого хода стола в прямом направлении. Поскольку при строгании резец испытывает ударную нагрузку, то значения максимальных скоростей, строгания не превосходят 75-120 м/мин (в отличие от скоростей точения и шлифования 2000 м/мин и более). Под скоростью строгания (резания) понимают линейную скорость $U_{пр}$ перемещения закрепленной на столе детали относительно неподвижного резца на интервале рабочего хода стола. При этом скорость входа резца в металл и скорость выхода резца из металла в сравнении со скоростью строгания ограничиваются до 40 % и менее в зависимости от обрабатываемого материала, чтобы избежать скалывания кромки. Указанные обстоятельства ограничивают производительность и для ее повышения остается только сократить непроизводительное время движения: обратный ход осуществляется на повышенной скорости $U_{об} > U_{пр}$, а пускотормозные режимы при реверсе принимают допустимо минимальной продолжительности. Хороший эффект в этом дает двухдвигательный привод.

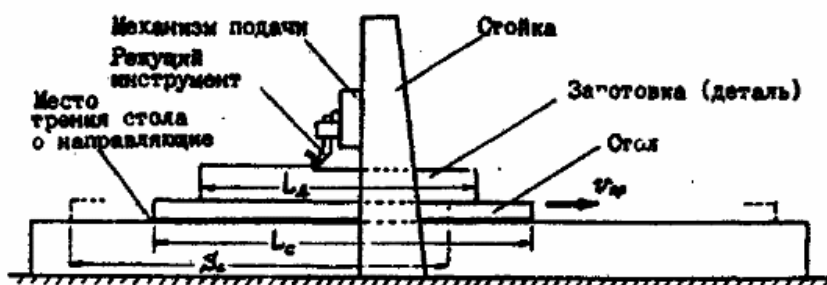


Рисунок 1 - Процесс обработки на продольно строгальном станке

Он должен быть управляемым по скорости, поскольку для различных материалов (в соответствии с технологией обработки и свойствами материалов) используются различные оптимальные или максимально допустимые скорости строгания; кроме того, движение характеризуется различными скоростями на разных интервалах времени рабочего цикла, высокой частотой реверсирования с большими пускотормозными моментами. Применяют двух- и однозонное управление скоростью.

					ПЗ	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат		5

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

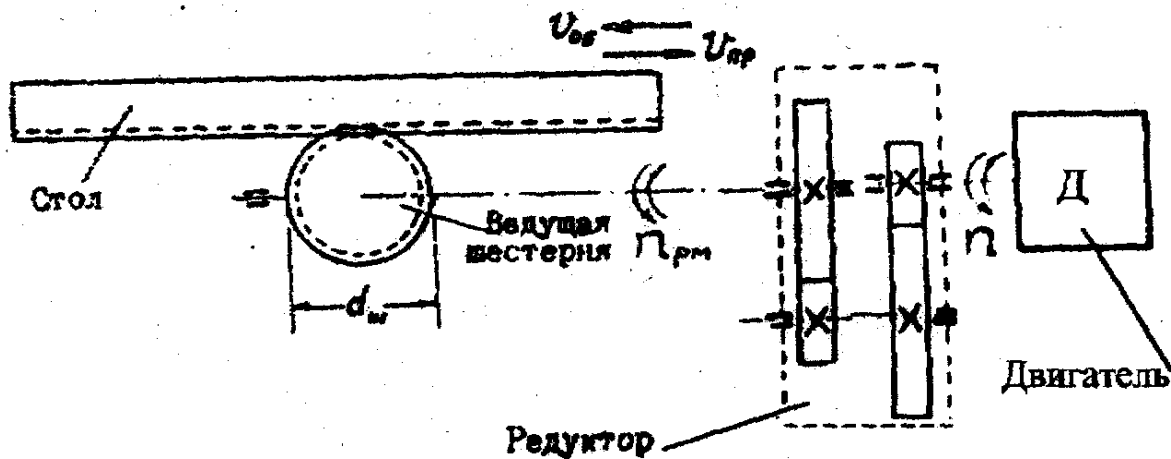


Рисунок 2 - Кинематическая схема механизма

Таблица 1 - Исходные данные

Параметры	Условные обозначения	Значение
Усилие резания	F_z	20000 Н
Скорость рабочего хода	$V_{пр}$	0,3 м/с
Масса стола	m_c	2000 кг
Масса детали	m_d	3500 кг
Радиус ведущей шестерни	$r_{ш}$	0,25 м
Длина детали	L_d	4,5 м
Отношение обратной скорости к рабочей скорости	$K_{обр}$	2
Отношение пониженной скорости к рабочей скорости	$K_{пон}$	0,4
Путь подхода детали к резцу	$L_п$	0,2 м
Путь после выхода резца из детали	$L_в$	0,15 м
Коэффициент трения стола о направляющие	μ	0,08
КПД механической передачи при рабочей нагрузке	$\eta_{пН}$	0,95
КПД механических передач при перемещении стола на холостом ходу	$\eta_{пхх}$	0,5

ЗАДАНИЕ К ПРОЕКТУ

Для механизма перемещения стола продольно-строгального станка выбрать тип электропривода, выполнить выбор электродвигателя и его проверку по нагреву и перегрузке, выбрать силовой преобразовательный агрегат, силовой трансформатор и реакторы, выполнить расчет элементов системы автоматического управления электроприводом, выполнить компьютерное моделирование системы автоматизированного электропривода в типовых режимах.

Требования к электроприводу:

1. Обеспечение работы механизма по следующему циклу:
 - подход детали к резцу с пониженной скоростью;
 - врезание на пониженной скорости;
 - разгон до рабочей скорости прямого хода;
 - резание на скорости прямого хода;
 - замедление до пониженной скорости перед выходом резца;
 - выход резца из детали;
 - замедление до остановки;
 - разгон в обратном направлении до рабочей скорости обратного хода;
 - возврат стола на холостом ходу со скоростью обратного хода;
 - замедление до остановки (стол возвращается в исходное положение).

Пониженную скорость принять $V_{\text{пон}} = 0,4 \cdot V_{\text{пр}}$.

2. Обеспечение рекуперации энергии в тормозных режимах.
3. Разгоны и замедления должны проходить с постоянством ускорения.

Обеспечение максимально возможных ускорений в переходных режимах.

4. Статическая ошибка по скорости при резании не должна превышать 10%.
5. Ограничение момента электропривода при механических перегрузках.

					ПЗ	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат		7

1 ВЫБОР ТИПА ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Заданным требованиям соответствует регулируемый электропривод с двигателем постоянного тока независимого возбуждения и замкнутой по скорости системой автоматического регулирования. В качестве управляемого преобразователя выбираем реверсивный тиристорный преобразователь. Такой электропривод обеспечивает высокие показатели качества регулирования скорости, высокую точность и быстродействие надежность, простоту в наладке и эксплуатации. Регулирование скорости принимается однозонным (управление изменением напряжения якоря двигателя при постоянном потоке возбуждения). Система управления электроприводом реализуется на аналоговой элементной базе.

1.1 Выбор и проверка электродвигателя

1.1.1 Расчет нагрузочной диаграммы механизма

Для предварительного выбора двигателя построим нагрузочную диаграмму механизма (график статических нагрузок механизма) Расчет времени участков цикла на этапе предварительного выбора двигателя выполняем приблизительно, т.к. пока нельзя определить время разгонов и замедлений (суммарный момент инерции привода до выбора двигателя неизвестен).

Скорость обратного хода стола:

$$V_{\text{обр}} = K_{\text{обр}} \cdot V_{\text{пр}},$$

где $V_{\text{пр}}$ - скорость рабочего хода ($V_{\text{пр}} = 0,3$ м/с, см. таблицу 1).

$$V_{\text{пони}} = 0,4 \cdot 0,3 = 0,12 \text{ м/с}$$

Усилие перемещения стола на холостом ходу:

$$F_{\text{хх}} = (m_c + m_d) g \mu,$$

где m_c - масса стола ($m_c = 2000$ кг, см. таблицу 1);

m_d - масса детали ($m_d = 3500$ кг, см. таблицу 1);

g - ускорение свободного падения ($g = 9,81$ м/с²);

μ - коэффициент трения стола о направляющие ($\mu = 0,08$, см. таблицу 1).

$$F_{\text{хх}} = (2000 + 3500) \cdot 9,81 \cdot 0,08 = 4316,4 \text{ Н} = 4,32 \text{ кН}$$

					ПЗ	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат		8

Усилие перемещения стола при резании:

$$F_p = F_z + F_{xx},$$

где F_z - усилие резания ($F_z = 20000$ Н, см. таблицу 1).

$$F_p = 20000 \cdot 1,2 + 4316,4 = 28316,4 \text{ Н} = 28,32 \text{ кН}$$

Время резания (приблизительно):

$$t_p = \frac{L_d}{V_{пр}},$$

где L_d - длинна детали ($L_d = 4,5$ м, см. таблицу 1);

$$t_p = \frac{4,5}{0,3} = 15 \text{ с}$$

Время подхода детали к резцу (приблизительно):

$$t_n = \frac{L_n}{V_{пoh}},$$

где L_n - длинна подхода детали к резцу ($L_n = 0,2$ м, см. таблицу 1);

$$t_n = \frac{0,2}{0,12} = 1,7 \text{ с}$$

Время прямого хода после выхода резца из детали (приблизительно):

$$t_s = \frac{L_s}{V_{пoh}},$$

где L_s - путь после выхода резца из металла ($L_s = 0,15$ м, см. таблицу 1);

$$t_s = \frac{0,15}{0,12} = 1,25 \text{ с}$$

Время возврата стола (приблизительно):

					ПЗ	Лис
						9
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат		

$$t_{\text{обр}} = \frac{(L_n + L_d + L_e)}{V_{\text{обр}}},$$

где $V_{\text{обр}}$ - скорость обратного хода.

$$t_{\text{обр}} = \frac{0,2 + 4,5 + 0,15}{1} = 4,85 \text{ с}$$

Время цикла (приблизительно):

$$t_y = t_n + t_p + t_e + t_{\text{обр}},$$

$$t_y = 1,7 + 15 + 1,25 + 4,85 = 22,8 \text{ с}$$

1.1.2 Предварительный выбор двигателя

При расчете мощности двигателя полагаем, что номинальной скорости двигателя соответствует скорость обратного хода стола (наибольшая скорость механизма), т.к. принято однозонное регулирование скорости, осуществляемое вниз от номинальной скорости. Ориентируемся на выбор двигателя серии Д, рассчитанного на номинальный режим работы S1 и имеющего принудительную вентиляцию. Эквивалентное статическое усилие за цикл:

$$F_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{F_{\text{xx}}^2 \cdot t_n + F_p^2 \cdot t_p + F_{\text{xx}}^2 \cdot t_e + F_{\text{xx}}^2 \cdot t_{\text{обр}}}{t_y}},$$

$$F_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{4316,4^2 \cdot 1,7 + 28316,4^2 \cdot 15 + 4316,4^2 \cdot 1,25 + 4316,4^2 \cdot 4,85}{22,8}}$$

$$\approx 23105,97 \approx 23,11 \text{ кН}$$

Расчетная мощность двигателя:

$$P_{\text{рас}} = K_3 \cdot \frac{F_{\text{экв}} \cdot V_{\text{обр}}}{\eta_{\text{пН}}},$$

где K_3 - коэффициент запаса (примем $K_3 = 1,1$);

$\eta_{\text{пН}}$ - КПД механических передач при рабочей нагрузке.

$$P_{\text{рас}} = 1,1 \cdot \frac{23105,97 \cdot 1}{0,95} = 26754,28 \text{ Вт} = 26,75 \text{ кВт}$$

					ПЗ	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат		10

Выбираем двигатель Д810 по [2]. Номинальные данные двигателя приводятся в таблице 2.

Таблица 2 - Данные выбранного двигателя

Параметр	Обозначение	Значение
Мощность номинальная	P_N	55000 Вт
Номинальное напряжение якоря	$U_{яN}$	220 В
Номинальный ток якоря	$I_{яN}$	282 А
Номинальная частота вращения	n_N	550 об/мин
Максимальный момент	M_{max}	2550 Н · м
Сопротивление обмотки якоря	$R_{я0}$	0,0234 Ом
Сопротивление обмотки добавочных полюсов	$R_{дп}$	0,0122 Ом
Момент инерции якоря двигателя	J_d	3,65 кг · м ²
Число пар полюсов	p_p	2
Допустимая величина действующего значения переменной составляющей тока якоря отнесенная к номинальному току (коэффициент пульсаций)	$k_{I(доп)}$	0,15

Двигатель данной серии не компенсированный, имеет принудительную вентиляцию и изоляцию класса Н.

Для дальнейших расчетов потребуется ряд данных двигателя, которые не приведены в справочнике. Выполним расчет недостающих данных двигателя.

Сопротивление цепи якоря двигателя, приведенное к рабочей температуре:

$$R_{я} = k_m \cdot (R_{я0} + R_{дп}),$$

где k_t - коэффициент увеличения сопротивления при нагреве до рабочей температуры ($k_t = 1,38$ для изоляции класса Н при пересчете от 20°C).

$$R_{я} = 1,38 \cdot (0,0243 + 0,0122) = 0,049 \text{ Ом}$$

Номинальная ЭДС якоря:

$$E_{яN} = U_{яN} - I_{яN} \cdot R_{я},$$

$$E_{яN} = 220 - 282 \cdot 0,049 = 206,15 \text{ В}$$

Номинальная угловая скорость:

$$\Omega_N = n_N \cdot \frac{\pi}{30},$$

$$\Omega_N = 550 \cdot \frac{3,14}{30} = 57,57 \text{ рад/с}$$

Конструктивная постоянная, умноженная на номинальный магнитный поток:

$$c\Phi_N = \frac{E_{яN}}{\Omega_N}, \quad c\Phi_N = \frac{206,15}{57,57} = 3,58 \text{ Вб}$$

Номинальный момент двигателя:

$$M_N = c\Phi_N \cdot I_{яN},$$

$$M_N = 3,58 \cdot 282 = 1009,84 \text{ (Н} \cdot \text{м)}$$

Момент холостого хода двигателя:

$$\Delta M = M_N - \frac{P_N}{\Omega_N},$$

$$\Delta M = 1009,84 - \frac{55000}{57,57} = 54,43 \text{ (Н} \cdot \text{м)}$$

Индуктивность цепи якоря двигателя:

$$L_{я} = \frac{C \cdot U_{яN}}{I_{яN} \cdot \Omega_N \cdot p_n},$$

где С - коэффициент (для некомпенсированного двигателя С = 0,6)

$$L_{я} = \frac{0,6 \cdot 220}{282 \cdot 57,57 \cdot 2} = 0,004 \text{ Гн}$$

1.1.3 Расчет нагрузочной диаграммы двигателя

Для проверки выбранного двигателя по нагреву выполним построение упрощенной нагрузочной диаграммы двигателя (без учета электромагнитных переходных процессов). Для построения нагрузочной диаграммы произведем расчет передаточного числа редуктора, приведение моментов статического сопротивления и рабочих скоростей к валу двигателя, примем динамический момент и ускорение электропривода с учетом перегрузочной способности двигателя.

					ПЗ	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат		12

Передаточное число редуктора:

$$i_p = \frac{\Omega_N}{V_{\text{обр}}} \cdot r_m$$
$$i_p = \frac{57,57}{1} \cdot 0,25 = 14,39$$

Момент статического сопротивления при резании, приведенный к валу двигателя:

$$M_{\text{ср}} = \frac{F_p \cdot r_{\text{ш}}}{i_p \cdot \eta_{\text{пН}}} + \Delta M$$
$$M_{\text{ср}} = \frac{28316,4 \cdot 0,25}{14,39 \cdot 0,95} + 54,43 = 572,29 \text{ (Н}\cdot\text{м)}$$

Момент статического сопротивления при перемещении стола на холостом ходу, приведенный к валу двигателя:

$$M_{\text{схх}} = \frac{F_{\text{схх}} \cdot r_{\text{ш}}}{i_p \cdot \eta_{\text{пхх}}} + \Delta M \quad M_{\text{схх}} = \frac{4316,4 \cdot 0,25}{14,39 \cdot 0,5} + 54,43 = 204,41 \text{ (Н}\cdot\text{м)}$$

Пониженная скорость, приведенная к валу двигателя:

$$\Omega_{\text{пон}} = \frac{V_{\text{пон}} \cdot i_p}{r_{\text{ш}}}$$
$$\Omega_{\text{пон}} = \frac{0,12 \cdot 14,39}{0,25} = 6,9 \text{ рад/с}$$

Скорость прямого хода, приведенная к валу двигателя:

$$\Omega_{\text{пр}} = \frac{V_{\text{пр}} \cdot i_p}{r_{\text{ш}}}$$
$$\Omega_{\text{пр}} = \frac{0,3 \cdot 14,39}{0,25} = 17,27 \text{ рад/с}$$

Скорость обратного хода, приведенная к валу двигателя:

					ПЗ	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат		13

$$\Omega_{\text{обр}} = \frac{V_{\text{обр}} \cdot i_p}{r_{\text{ш}}}, \quad \Omega_{\text{обр}} = \frac{1 \cdot 14,39}{0,25} = 57,56 \text{ рад/с}$$

Суммарный момент инерции механической части привода:

$$J_{\Sigma} = \delta \cdot J_{\partial} + (m_c + m_{\partial}) \cdot \left(\frac{r_{\text{ш}}}{i_p} \right)^2,$$

где δ - коэффициент, учитывающий момент инерции полумуфта, ведущей шестерни и редуктора (δ принимаем равным 1,2).

$$J_{\Sigma} = 1,2 \cdot 3,65 + (2000 + 3500) \cdot \left(\frac{0,25}{14,39} \right)^2 = 6,04 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Модуль динамического момента двигателя по условию максимального использования двигателя по перегрузочной способности:

$$|M_{\text{дин}}| = k \cdot (M_{\text{max}} - M_{\text{ср}}),$$

где k - коэффициент, учитывающий перерегулирование момента на уточненной нагрузочной диаграмме (построенной с учетом электромагнитной инерции цепи якоря). Принимаем $k = 0,95$.

$$|M_{\text{дин}}| = 0,95 \cdot (2550 - 572,29) = 1878,82 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Ускорение вала двигателя в переходных режимах:

$$\varepsilon = \frac{|M_{\text{дин}}|}{J_{\Sigma}},$$

$$\varepsilon = \frac{1878,82}{6,04} = 311,06 \text{ рад/с}^2$$

Ускорение стола в переходных режимах:

$$a = \frac{\varepsilon \cdot r_{\text{ш}}}{i_p},$$

$$a = \frac{311,06 \cdot 0,25}{14,39} = 5,4 \text{ м/с}^2$$

					ПЗ	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат		14

Разбиваем нагрузочную диаграмму на 12 интервалов. Сначала рассчитываем интервалы разгона и замедления электропривода, затем интервалы работы с постоянной скоростью.

Интервал 1. Разгон до пониженной скорости.

Продолжительность интервала 1:

$$t_1 = \frac{\Omega_{\text{пон}}}{\varepsilon},$$
$$t_1 = \frac{6,9}{311,06} = 0,022 \text{ с}$$

Путь, пройденный столом на интервале 1:

$$L_1 = \frac{V_{\text{пон}} \cdot t_1}{2},$$
$$L_1 = \frac{0,12 \cdot 0,022}{2} = 0,0013 \text{ м}$$

Момент двигателя на интервале 1:

$$M_1 = M_{\text{схх}} + |M_{\text{дин}}|,$$
$$M_1 = 204,41 + 1878,82 = 2083,23 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Интервал 4. Разгон от пониженной скорости до скорости прямого хода.

Продолжительность интервала 4:

$$t_4 = \frac{\Omega_{\text{пр}} - \Omega_{\text{пон}}}{\varepsilon},$$
$$t_4 = \frac{17,27 - 6,9}{311,06} = 0,033 \text{ с}$$

Путь, пройденный столом на интервале 4:

$$L_4 = \frac{(V_{\text{пр}} + V_{\text{пон}}) \cdot t_4}{2},$$
$$L_4 = \frac{(0,3 + 0,12) \cdot 0,033}{2} = 0,007 \text{ м}$$

Момент двигателя на интервале 4:

					ПЗ	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат		15

$$M_4 = M_{\text{ср}} + |M_{\text{дин}}|,$$

$$M_4 = 572,29 + 1878,82 = 2451,11 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Интервал 6. Замедление от скорости прямого хода до пониженной скорости.
Продолжительность интервала 6:

$$t_6 = t_4 = 0,033 \text{ с}$$

Путь, пройденный столом на интервале 6:

$$L_6 = L_4 = 0,007 \text{ м}$$

Момент двигателя на интервале 6:

$$M_6 = M_{\text{ср}} - |M_{\text{дин}}|,$$

$$M_6 = 572,29 - 1878,82 = -1306,53 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Интервал 9. Замедление от пониженной скорости до остановки.
Продолжительность интервала 9:

$$t_9 = t_1 = 0,022 \text{ с}$$

Путь, пройденный столом на интервале 9:

$$L_9 = L_1 = 0,0013 \text{ м}$$

Момент двигателя на интервале 9:

$$M_9 = M_{\text{схх}} - |M_{\text{дин}}|,$$

$$M_9 = 204,41 - 1878,82,29 = -1674,41 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Интервал 10. Разгон до скорости обратного хода.
Продолжительность интервала 10:

$$t_{10} = \frac{\Omega_{\text{обр}}}{\varepsilon}, \quad t_{10} = \frac{57,56}{311,06} = 0,18 \text{ с}$$

Путь, пройденный столом на интервале 10:

					ПЗ	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат		16

$$L_{10} = \frac{V_{\text{обр}} \cdot t_{10}}{2}, \quad L_{10} = \frac{1 \cdot 0,18}{2} = 0,09 \text{ м}$$

Момент двигателя на интервале 10:

$$M_{10} = -M_{\text{схх}} - |M_{\text{дин}}|,$$

$$M_{10} = 204,41 - 1878,82 = -1674,41 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Интервал 12. Замедление от скорости обратного хода до остановки.

Продолжительность интервала 12:

$$t_{12} = t_{10} = 0,18 \text{ с}$$

Путь, пройденный столом на интервале 12:

$$L_{12} = L_{10} = 0,09 \text{ м}$$

Момент двигателя на интервале 12:

$$M_{12} = -M_{\text{схх}} + |M_{\text{дин}}|,$$

$$M_{12} = 204,41 + 1878,82 = 2083,23 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Интервал 2. Подход детали к резцу с постоянной скоростью.

Путь, пройденный столом на интервале 2:

$$L_2 = L_n - L_1,$$

$$L_2 = 0,2 - 0,0013 = 0,2 \text{ м}$$

Продолжительность интервала 2:

$$t_2 = \frac{L_2}{V_{\text{пон}}},$$

$$t_2 = \frac{0,2}{0,12} = 1,6 \text{ с}$$

Момент двигателя на интервале 2:

$$M_2 = M_{\text{схх}} = 204,41 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

					ПЗ	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат		17

Интервал 8. Отход детали от резца с постоянной скоростью.
Путь, пройденный столом на интервале 8:

$$L_8 = L_8 - L_9,$$
$$L_8 = 0,15 - 0,0013 = 0,15 \text{ м}.$$

Продолжительность интервала 8:

$$t_8 = \frac{L_8}{V_{\text{пон}}},$$
$$t_8 = \frac{0,15}{0,12} = 1,25 \text{ с}.$$

Момент двигателя на интервале 8:

$$M_8 = M_{\text{схх}} = 204,41 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Интервал 3. Резание на пониженной скорости
Путь, пройденный столом на интервале 3 (принимается):

$$L_3 = L_1 = 0,0013 \text{ м}.$$

Продолжительность интервала 3:

$$t_3 = \frac{L_3}{V_{\text{пон}}},$$
$$t_3 = \frac{0,0013}{0,12} = 0,01 \text{ с}.$$

Момент двигателя на интервале 3:

$$M_3 = M_{\text{ср}} = 572,29 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Интервал 7. Резание на пониженной скорости
Путь, пройденный столом на интервале 7 (принимается):

$$L_7 = L_9 = 0,0013 \text{ м}.$$

Продолжительность интервала 7:

					ПЗ	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат		18

$$t_7 = \frac{L_7}{V_{\text{пон}}}$$

$$t_7 = \frac{0,0013}{0,12} = 0,01 \text{ с}$$

Момент двигателя на интервале 7:

$$M_7 = M_{\text{ср}} = 572,29 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Интервал 5. Резание на скорости прямого хода

Путь, пройденный столом на интервале 5 (принимается):

$$L_5 = L_{\partial} - (L_3 + L_4 + L_6 + L_7)$$

$$L_5 = 4,5 - (0,0013 + 0,07 + 0,07 + 0,0013) = 4,35 \text{ м}$$

Продолжительность интервала 5:

$$t_5 = \frac{L_5}{V_{\text{пр}}}$$

$$t_5 = \frac{4,35}{0,12} = 36,25 \text{ с}$$

Момент двигателя на интервале 5:

$$M_5 = M_{\text{ср}} = 572,29 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Интервал 11. Возврат со скоростью обратного хода

Путь, пройденный столом на интервале 11:

$$L_{11} = L_{\partial} + L_n + L_6 - (L_{10} + L_{12})$$

$$L_{11} = 4,5 + 0,2 + 0,15 - (0,09 + 0,09) = 4,67 \text{ м}$$

Продолжительность интервала 11:

$$t_{11} = \frac{L_{11}}{V_{\text{обр}}}$$

$$t_{11} = \frac{4,67}{0,12} = 38,92 \text{ с}$$

					ПЗ	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат		19

Момент двигателя на интервале 5:

$$M_{11} = M_{схх} = 204,41 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Нагрузочная диаграмма и тахограмма двигателя представлены на рисунке 4.

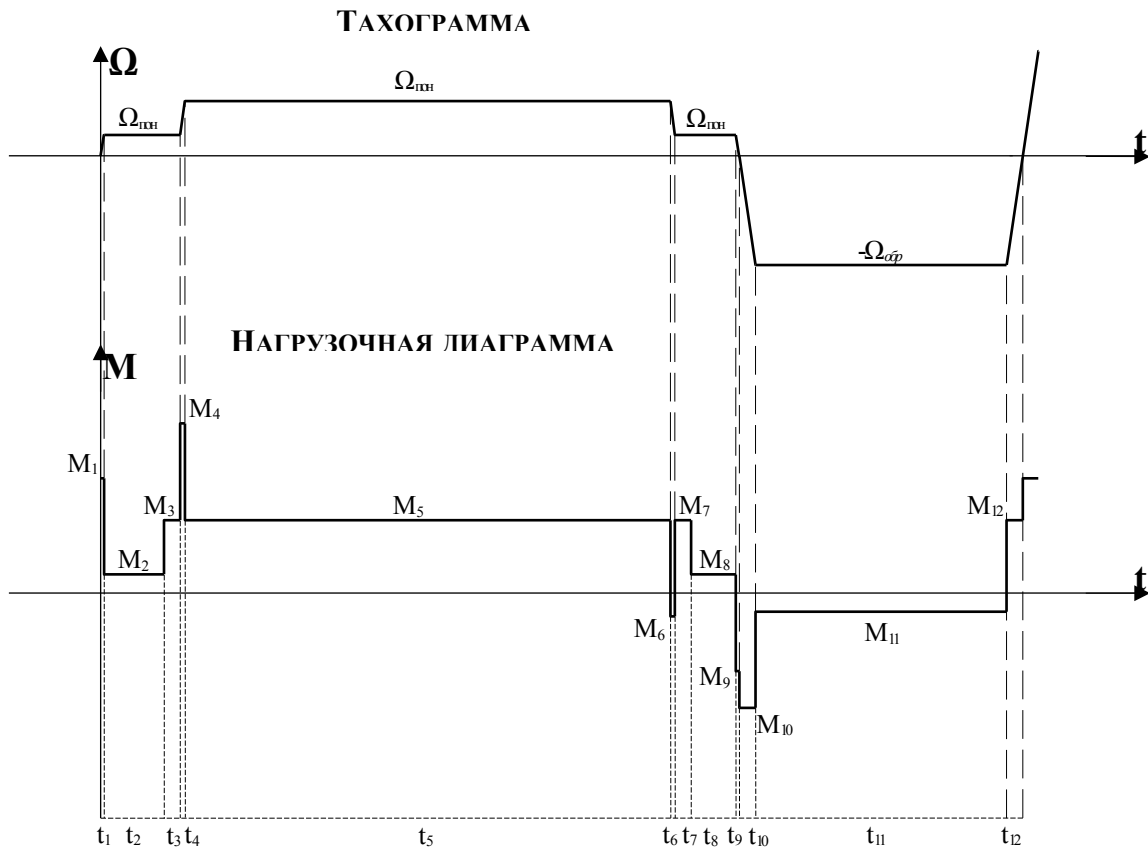


Рисунок 4 – Нагрузочная диаграмма и тахограмма двигателя

1.2 Проверка двигателя по нагреву

Для проверки двигателя по нагреву используем метод эквивалентного

Рисунок 3

Тахограмма и нагрузочная диаграмма электропривода механизма перемещения стола продольно-строгального станка.

$$M_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{12} (M_i^2 \cdot t_i)}{\sum_{i=1}^{12} t_i}}, \quad M_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{13603020}{78,51}} = 416,3 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

					ПЗ	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат		20

Условие $M_{\text{экв}} \leq M_N$ выполняется, следовательно выбранный двигатель подходит по нагреву.

Запас по нагреву:

$$\Delta = \frac{M_N - M_{\text{экв}}}{M_N}, \quad \Delta = \frac{1009,84 - 416,3}{1009,84} = 58,7\%$$

					ПЗ	Лис
						21
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат		

2 ВЫБОР ОСНОВНЫХ УЗЛОВ СИЛОВОЙ ЧАСТИ

2.1 Выбор тиристорного преобразователя

Номинальное выпрямленное напряжение и номинальный выпрямленный ток преобразователя принимаем из ряда стандартных значений по ГОСТ 6827-76 (ближайшее большее по сравнению с номинальным напряжением и током двигателя) [3].

Принимаем $U_{dN} = 230 \text{ В}$; $I_{dN} = 320 \text{ А}$.

Выбираем стандартный преобразователь комплектного тиристорного электропривода серии КТЭУ [4]. Выбираем двухкомплектный реверсивный преобразователь, схема соединения комплектов встречно-параллельная, управление комплектами раздельное, каждый комплект выполнен по трехфазной мостовой схеме.

Номинальное напряжение комплектного электропривода равно номинальному напряжению двигателя $U_{ном} = 220 \text{ В}$. Номинальный ток комплектного электропривода выбирается по номинальному току преобразователя $I_{ном} = 320 \text{ А}$.

Выбираем тип комплектного электропривода КТЭУ-800/220-13212-УХЛ4.

2.2 Выбор силового трансформатора

Силовой трансформатор предназначен для согласования напряжения сети ($U_c = 380 \text{ В}$) с номинальным напряжением преобразователя.

Номинальный линейный ток вторичных обмоток (расчетный):

$$I_{2N} = 0,816 \cdot I_{dN},$$
$$I_{2N} = 0,816 \cdot 320 = 261,12 \text{ А}.$$

Выбираем трансформатор типа ТСП (или ТСЗП), трехфазный, двухобмоточный, сухой с естественным воздушным охлаждением, открытого исполнения [2, таблица 3.1], параметры которого приведены в таблице 3.

Рассчитываем параметры трансформатора.

Коэффициент трансформации:

$$n_{21} = \frac{U_{2N}}{U_{1N}},$$
$$n_{21} = \frac{205}{380} = 0,54.$$

					ПЗ	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат		22

Таблица 3 - Данные выбранного трансформатора

Параметр	Значение
Тип трансформатора	ТСЗП-100/0,7-УХЛ4
Способ соединения первичной и вторичной обмоток	Звезда - треугольник
Номинальная мощность	$S_T = 93000$ кВА
Номинальное линейное напряжение первичных обмоток	$U_{1N} = 380$ В
Номинальное линейное напряжение вторичных обмоток	$U_{2N} = 205$ В
Номинальный линейный ток вторичных обмоток	$I_{2N} = 262$ В
Потери КЗ	$P_K = 2300$ Вт
Относительно напряжение короткого замыкания	$u_K = 5,8\%$

Номинальный линейный ток первичных обмоток:

$$I_{1N} = \frac{S_T}{\sqrt{3} \cdot U_{1N}},$$

$$I_{1N} = \frac{93000}{\sqrt{3} \cdot 380} = 141,3 \text{ А}$$

Активное сопротивление обмоток одной фазы трансформатора:

$$R_T = \frac{P_K}{3 \cdot I_{1N}^2} \cdot n_{21}^2,$$

$$R_T = \frac{2300}{3 \cdot 141,3^2} \cdot 0,54^2 = 0,01118 \text{ Ом}$$

Активная составляющая напряжения короткого замыкания:

$$u_{ка} = \frac{P_K}{\sqrt{3} \cdot U_{1N} \cdot I_{1N}} \cdot 100\%,$$

$$u_{ка} = \frac{2300}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 141,3} \cdot 100\% = 2,47\%$$

Реактивная составляющая напряжения короткого замыкания:

$$u_{кр} = \sqrt{u_K^2 - u_{ка}^2},$$

					ПЗ	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат		23

$$u_{\text{кр}} = \sqrt{33,64 - 6,12} = 5,25\%$$

Индуктивное сопротивление обмоток одной фазы трансформатора:

$$X_T = \frac{u_{\text{кр}}}{100} \cdot \frac{U_{1N}}{\sqrt{3} \cdot I_{1N}} \cdot n_{21}^2$$

$$X_T = \frac{5,25}{100} \cdot \frac{380}{\sqrt{3} \cdot 141,3} \cdot 0,54^2 = 0,02371 \text{ Ом}$$

Индуктивность фазы трансформатора:

$$L_T = \frac{X_T}{\Omega_c}$$

где Ω_c - угловая частота сети.

$$\Omega_c = 2 \cdot \pi \cdot f_c = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 = 312 \text{ рад/с}$$

$$L_T = \frac{0,02371}{312} = 7,6 \cdot 10^{-5} \text{ Гн}$$

2.3 Выбор сглаживающего реактора

Сглаживающий редактор включается в цепь выпрямленного тока с целью уменьшения его переменной составляющей. Пульсации выпрямленного тока должны быть ограничены на уровне допустимого значения для выбранного двигателя.

ЭДС преобразователя при угле управления $\alpha = 0$:

$$E_{d0} = 1,35 \cdot U_{2N}$$

$$E_{d0} = 1,35 \cdot 205 = 276,75$$

Минимальная суммарная (эквивалентная) индуктивность якорной цепи по условию ограничения пульсаций выпрямленного тока:

$$L_{\text{э}(\text{min})} = \frac{k_U}{k_{I_{\text{доп}}}} \cdot \frac{E_{d0}}{p \cdot \Omega_c \cdot I_{\text{яN}}}$$

					ПЗ	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат		24

где k_U - коэффициент пульсаций напряжения (для трехфазной мостовой схемы принимаем $k_U = 0,13$);

p - пульсность преобразователя (для мостовой трехфазной схемы $p = 6$).

$$L_{\varepsilon(\min)} = \frac{0,13}{0,15} \cdot \frac{276,75}{6 \cdot 312 \cdot 282} = 0,00045 \text{ Гн}$$

Расчетная индуктивность сглаживающего реактора:

$$L_c = L_{\varepsilon(\min)} - 2 \cdot L_T - L_{\varepsilon}$$

$$L_c = 0,00045 - 2 \cdot 7,6 \cdot 10^{-5} - 0,004 = -0,00376 \text{ Гн}$$

Так как расчетная индуктивность оказалась отрицательной, сглаживающий реактор не требуется. Собственной индуктивности якорной цепи достаточно для ограничения пульсаций тока.

2.4 Принципиальная электрическая схема силовой части

Принципиальная схема выбирается по [4]. Для номинального тока $I_{\text{ном}} = 320 \text{ А}$ выбираем схему, приведенную на рисунке 1.3 [4].

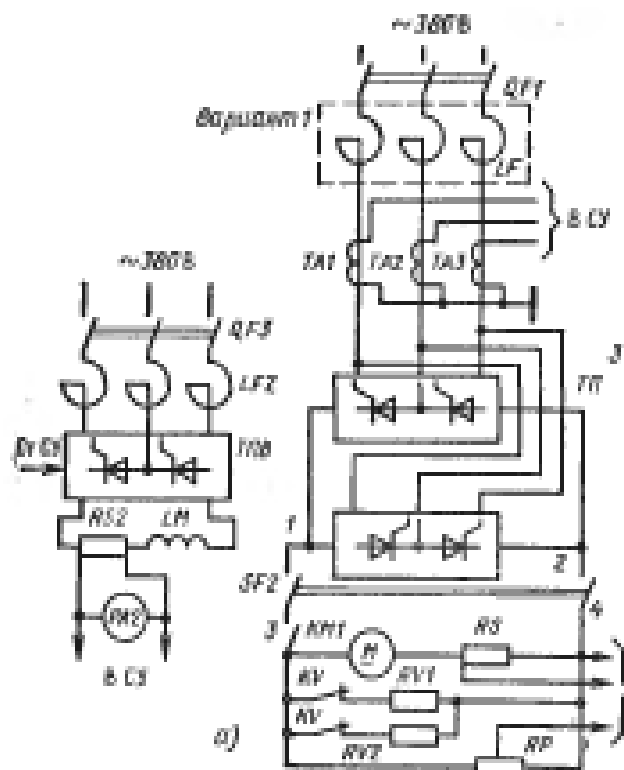


Рисунок 4 - Силовая часть однодвигательного электропривода
серии КТЭУ, $I_{ном} = 320 \text{ А}$

На рисунке 5 приведена схема силовой части электропривода с номинальным током 320, 500 А. Защитные автоматические выключатели QF1, QF2 установлены последовательно с тиристорами. Для неоперативного отключения электродвигателя от тиристорного преобразователя (ТП) используется рубильник QS. Силовой трансформатор ТМ присоединяется к высоковольтной сети 6 или 10 кВ через шкаф высоковольтного ввода (ШВВ). При напряжении питания 380 В ТП подключается к сети через анодные реакторы LF и автоматические выключатели QF3, QF4.

					ПЗ	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат		26

3 МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИЛОВОЙ ЧАСТИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

3.1 Расчет эквивалентных параметров системы

Главную цепь системы «тиристорный преобразователь - двигатель» можно представить в виде схемы замещения (рисунок 6). В главной цепи действуют ЭДС преобразователя E_d и ЭДС якоря двигателя $E_{я}$. На схеме замещения показаны:

- $R_{я}$ - активные сопротивления якорной цепи двигателя;
- $2R_T$ - активные сопротивления двух фаз трансформатора;
- R_g - фиктивное сопротивление обусловленное коммутацией тиристоров;
- $L_{я}$ - индуктивность якорной цепи двигателя;
- $2L_T$ - индуктивность двух фаз трансформатора.

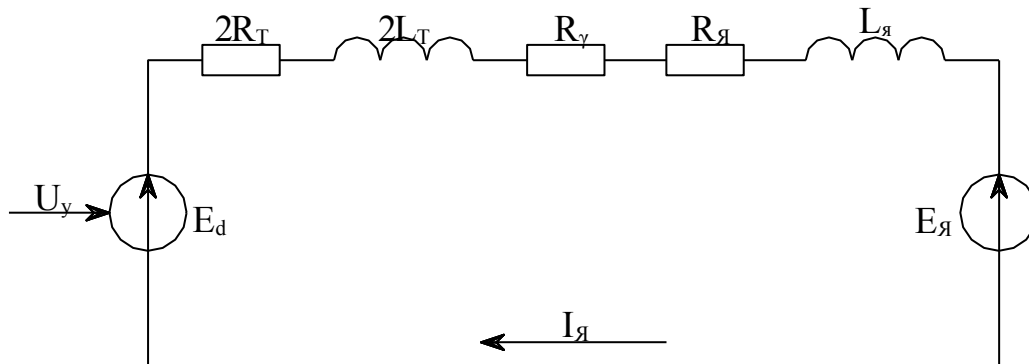


Рисунок 6 – Схема замещения главной цепи ТП – Д

Направления тока и ЭДС соответствуют двигательному режиму электропривода (см. рисунок 6).

От полной схемы можно перейти к эквивалентной схеме, где все индуктивности объединяются в одну эквивалентную индуктивность L_{Σ} , а все активные сопротивления в одно эквивалентное сопротивление R_{Σ} .

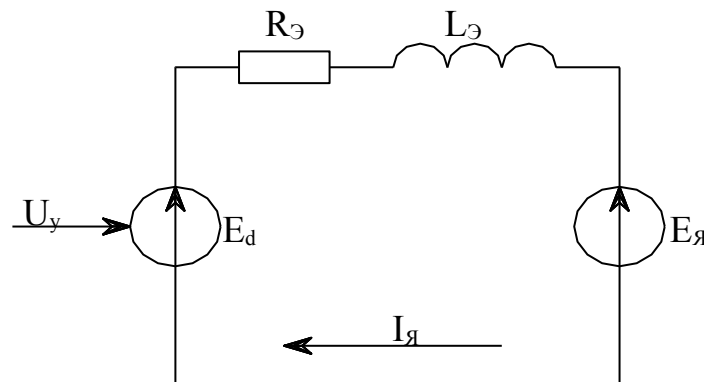


Рисунок 7 - Эквивалентная расчетная схема системы ТП – Д

Определим параметры силовой части в абсолютных (т.е. физических) единицах.

Фиктивное активное сопротивление преобразователя обусловленное коммутацией тиристоров:

$$R_{\gamma} = \frac{P}{2 \cdot \pi} \cdot L_T \cdot \Omega_c$$
$$R_{\gamma} = \frac{6}{2 \cdot 3,14} \cdot 7,6 \cdot 10^{-5} \cdot 312 = 0,02265 \text{ Ом}$$

Эквивалентное сопротивление якорной цепи:

$$R_{\text{я}} = R_{\text{я}} + R_C + R_{\gamma} + 2 \cdot R_T$$
$$R_{\text{я}} = 0,049 + 0 + 0,02265 + 0,02235 = 0,094 \text{ Ом}$$

Эквивалентная индуктивность якорной цепи:

$$L_{\text{я}} = L_{\text{я}} + L_C + 2 \cdot L_T$$
$$L_{\text{я}} = 0,004 + 0 + 2 \cdot 7,6 \cdot 10^{-5} = 0,0042 \text{ Гн}$$

Электромагнитная постоянная времени якорной цепи:

$$T_{\text{я}} = \frac{L_{\text{я}}}{R_{\text{я}}}$$
$$T_{\text{я}} = \frac{0,004}{0,094} = 0,04 \text{ с}$$

Коэффициент передачи преобразователя:

$$K_n = \frac{E_{\text{до}}}{U_{\text{у max}}}$$

где $U_{\text{у max}} = 10 \text{ В}$ - максимальное напряжение управления СИФУ.

$$K_n = \frac{276,75}{10} = 27,68$$

3.2 Выбор базисных величин системы относительных единиц

					ПЗ	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат		28

При рассмотрении модели силовой части электропривода как объекта управления параметры и переменные электропривода удобно перевести в систему относительных единиц. Переход к относительным единицам осуществляется по формуле

$$y = \frac{Y}{Y_{\sigma}},$$

где y - значение величины в системе относительных единиц;

Y - значение физической величины в исходной системе единиц;

Y_{σ} - базисное значение, выраженное в той же системе единиц, что и величина Y .

Принимаем следующие основные базисные величины силовой части электропривода: базисное напряжение для силовой части:

$$U_{\sigma} = E_{яN} = 206,15 \text{ В}$$

Базисный ток для силовой части:

$$I_{\sigma} = I_{яN} = 282 \text{ А}$$

Базисная скорость:

$$\Omega_{\sigma} = \Omega_N = 57,57 \text{ рад/с}$$

Базисный момент:

$$M_{\sigma} = M_N = 1009,84 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Базисный магнитный поток:

$$\Phi_{\sigma} = \Phi_N = 3,58.$$

Базисное напряжение для системы регулирования (принято):

$$U_{\sigma p} = 10 \text{ В}$$

Базисный ток для системы регулирования (принято):

$$I_{\sigma p} = 0,0005 \text{ А} = 0,5 \text{ мА}$$

					ПЗ	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат		29

Базисное сопротивление для системы регулирования:

$$R_{\text{бр}} = \frac{U_{\text{бр}}}{I_{\text{бр}}},$$

$$R_{\text{бр}} = \frac{10}{0,0005} = 20000 \text{ Ом} = 20 \text{ кОм}$$

3.3 Расчет параметров силовой части электропривода в относительных единицах

На рисунке 8 показана структурная схема модели силовой части электропривода как объекта управления. Переменные модели выражены в относительных единицах. В модель входят следующие звенья:

- тиристорный преобразователь (ТП) - пропорциональное звено с коэффициентом передачи k_n ;
- главная цепь (ГЦ) - апериодическое звено с электромагнитной постоянной времени T_3 и коэффициентом передачи, равным $r_{\text{э}}^{-1}$, т.е. эквивалентной проводимости главной цепи в относительных единицах;
- механическая часть (МЧ) - интегрирующее звено с механической постоянной времени T_j ;
- звенья умножения на магнитный поток ϕ (поток рассматривается в модели как постоянный параметр).

Входные величины модели представляют собой управляющее воздействие U_y (сигнал управления на входе преобразователя) и возмущающее воздействие m_c (момент статического сопротивления на валу двигателя).

Переменными модели являются:

- ЭДС преобразователя e_d ;
- ЭДС якоря двигателя $e_{\text{я}}$;
- ток якоря двигателя $i_{\text{я}}$;
- электромагнитный момент двигателя m ;
- угловая скорость двигателя ω .

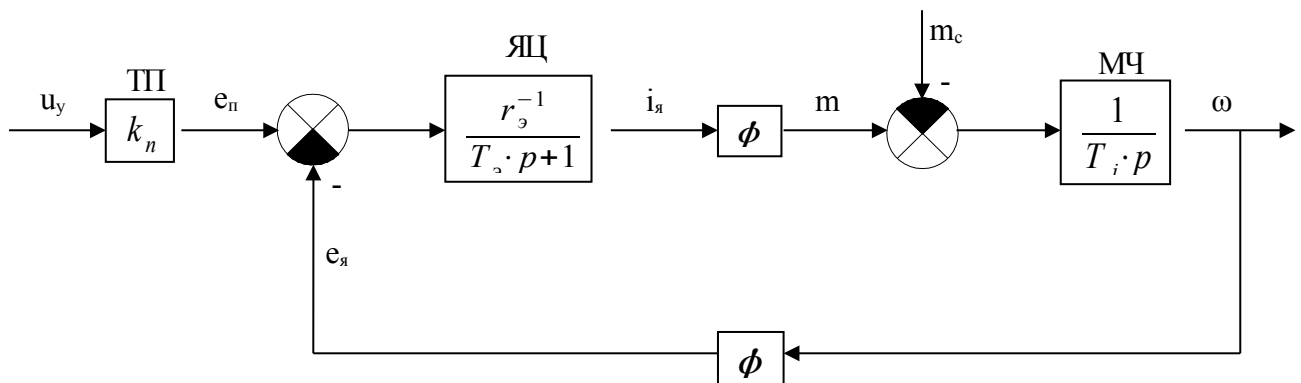


Рисунок 8 - Структурная схема объекта управления

Далее используем следующие переменные в относительных единицах (о.е.).
Напряжение управления преобразователя в о.е.:

$$u_y = \frac{U_y}{U_{бр}}$$

ЭДС преобразователя в о.е.:

$$e_n = \frac{E_d}{U_{б}}$$

ЭДС якоря двигателя в о.е.:

$$e_я = \frac{E_я}{U_{б}}$$

Ток якоря в о.е.:

$$i_я = \frac{I_я}{I_{б}}$$

Момент статического сопротивления в о.е.:

$$m_c = \frac{M_c}{M_{б}}$$

Скорость двигателя в о.е.:

$$\omega = \frac{\Omega}{\Omega_{б}}$$

Определим параметры объекта управления в относительных единицах.
Эквивалентное сопротивление якорной цепи в о.е.:

$$r_я = R_я \cdot \frac{I_{б}}{U_{б}}$$

					ПЗ	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат		31

$$r_{\text{э}} = 0,026 \cdot \frac{745}{210,64} = 0,092$$

Коэффициент передачи преобразователя в о.е.:

$$k_n = K_n \cdot \frac{U_{\text{бр}}}{U_{\text{б}}},$$

$$k_n = 27,68 \cdot \frac{10}{206,15} = 1,34$$

Сопротивление цепи якоря двигателя:

$$r_{\text{я}} = \frac{R_{\text{я}}}{R_{\text{б}}},$$

$$r_{\text{я}} = \frac{0,049}{0,73} = 0,067$$

Магнитный поток двигателя:

$$\phi = \frac{\Phi_N}{\Phi_{\text{б}}},$$

где ϕ - магнитный поток в о.е. (при однозонном регулировании скорости $\phi = 1$).

$$\phi = \frac{3,58}{3,58} = 1$$

3.4 Расчет коэффициентов передачи датчиков

Рассчитаем коэффициенты передачи датчиков в абсолютных единицах так, чтобы при максимальном значении величины, измеряемой датчиком, напряжение на выходе датчика было равно базисному напряжению регулирующей части.

Коэффициент передачи датчика тока:

$$K_{\text{дт}} = \frac{U_{\text{БР}}}{I_{\text{я(max)}}},$$

где $I_{\text{я(max)}}$ - максимальный ток якоря по перегрузочной способности двигателя.

					ПЗ	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат		32

$$K_{\text{дГ}} = \frac{10}{712,09} = 0,014$$

Максимальный ток определяется по формуле

$$I_{\text{я(max)}} = \frac{M_{\text{max}}}{c\Phi_N}$$

Коэффициент передачи датчика напряжения:

$$K_{\text{дН}} = \frac{U_{\text{БР}}}{E_{\text{д0}}}$$

$$K_{\text{дН}} = \frac{10}{276,75} = 0,036$$

					ПЗ	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат		33

4 ВЫБОР ТИПА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ

В курсовом проекте проектируется аналоговая система управления электроприводом. Система управления строится по принципу подчиненного регулирования координат.

Каждый электропривод снабжается системой автоматического регулирования (САР), предназначенной для изменения по заданному закону основной координаты электропривода, регулирования и ограничения промежуточных координат. В системе регулирования скорости основной координатой является скорость двигателя, а промежуточной — ток якоря. В САР основной координатой является положение исполнительного органа механизма, а скорость и ток — промежуточными.

Система регулирования замкнутая (с обратной связью), т.е. заданное значение координаты сравнивается с фактическим и их разность, усиленная и преобразованная в регуляторе, в конечном счете воздействует на вход СИФУ тиристорного преобразователя якоря или возбуждения электродвигателя. Системы построены по принципу подчиненного регулирования, в соответствии с которым САР разбивается на несколько контуров, один из этих контуров является внешним, на его входе сравниваются задание и фактическое значение основной координаты. Выход внешнего контура является задающим сигналом для промежуточного контура, на входе которого сравниваются выходной сигнал внешнего контура и фактическое значение промежуточной координаты, и т.д., а выход внутреннего контура воздействует на вход СИФУ.

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.

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.

Рассмотрим функциональную схему системы управления электроприводом (рисунок 9). Система управления электроприводом представляет собой двухконтурную систему автоматического регулирования (САР) скорости. Внутренним контуром системы является контур регулирования тока якоря, внешним и главным контуром - контур регулирования скорости.

Для проектируемого электропривода выбираем однократную систему регулирования скорости. Однократная САР скорости по сравнению с двукратной

					ПЗ	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат		34

не обладает астатизмом по возмущающему воздействию (моменту сопротивления), однако для проектируемой системы обеспечение такого астатизма не требуется. Однократная САР скорости обладает лучшими динамическими свойствами по сравнению с двукратной САР. Для контуров регулирования тока якоря и скорости применяется настройка на модульный оптимум. Данную настройку обеспечивают пропорционально-интегральный регулятор тока (РТ) и пропорциональный регулятор скорости (РС). Плавное ускорение и замедление привода обеспечиваются с помощью задатчика интенсивности (ЗИ). Для разгона или торможения привода задатчик интенсивности формирует линейно изменяющийся во времени сигнал задания на скорость. Для разгона или торможения привода задатчик интенсивности формирует линейно изменяющийся во времени сигнал задания на скорость.

Сигналы обратных связей поступают в систему регулирования от датчиков тока якоря (ДТ), напряжения якоря (ДН) и скорости (ДС). Датчики состоят из измерительного элемента и устройства согласования. Измерительным элементом для датчика тока якоря является шунт в цепи якоря $R_{ш}$, для датчика напряжения - делитель напряжения $R_{д}$, для датчика скорости - тахогенератор (ТГ). Устройство согласования обеспечивает необходимый коэффициент передачи датчика и гальваническую развязку силовых цепей от цепей управления. Косвенный датчик ЭДС (ДЭ) вычисляет ЭДС якоря по сигналам датчиков тока и напряжения. Сигнал ЭДС через звено компенсации (ЗК) подается на вход регулятора тока, что требуется для компенсации отрицательного влияния ЭДС якоря на процессы в контуре тока.

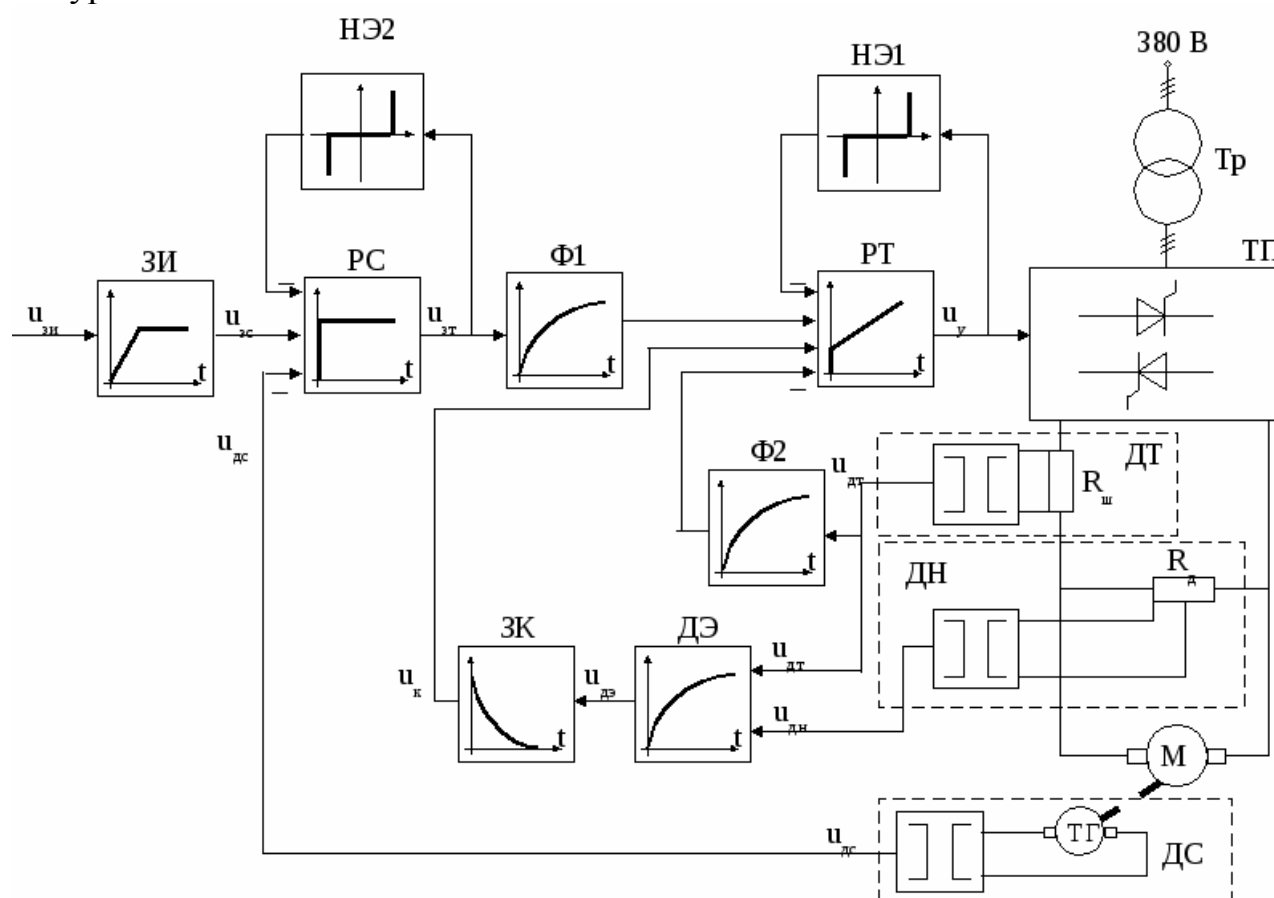


Рисунок 9 - Функциональная схема системы управления электроприводом

					ПЗ	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат		35

5 РАСЧЕТ РЕГУЛИРУЕМОЙ ЧАСТИ КОНТУРА ТОКА ЯКОРЯ

5.1 Расчет параметров математической модели контура тока

Рассмотрим структуру и выполним расчет параметров модели контура тока, используя систему относительных единиц. Структурная схема контура тока представлена на рисунке 10. В контуре тока находятся звенья регулятора тока (РТ), фильтра (Ф), тиристорного преобразователя (ТП) и главной цепи (ГЦ). На структурной схеме фильтр показан внутри контура, что эквивалентно наличию фильтра в цепи задания и обратной связи (см. рисунок 9). Обратная связь по току при рассмотрении относительных величин принимается единичной. На процессы в контуре тока влияет ЭДС якоря двигателя, которую можно считать возмущающим воздействием. При отсутствии ЭДС якоря (якорь неподвижен) в контуре тока можно рассматривать одно звено объекта управления с передаточной функцией:

$$W_i(p) = \frac{k_{\Pi} r_{\Delta}^{-1}}{T_{\Delta} p + 1}$$

В реальных САУ с подчиненным регулированием параметров величина T_{μ} лежит в пределах 0,004 – 0,01 с.

Для нашей системы выберем $T_{\mu} = 0,007$ с.

Рисунок 10 - Структурная схема контура регулирования тока якоря

При синтезе регулятора тока влияние ЭДС якоря не учитывается. Передаточная функция регулятора тока находится по условию настройки контура на модульный оптимум:

					ПЗ	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат		36

$$R_i(p) = \frac{T_{i1} p + 1}{T_{i2} p}$$

Получаем передаточную функцию ПИ-регулятора. Параметры регулятора тока находятся по следующим формулам:

$$T_{i1} = T_3 = 0,04 \text{ с};$$

$$T_{i2} = \frac{2 \cdot T_\mu \cdot k_n}{r_3} = \frac{2 \cdot 0,007 \cdot 1,34}{0,129} = 0,146 \text{ с};$$

$$R_i(p) = \frac{0,04 \cdot p + 1}{0,146 \cdot p}$$

При выборе данной передаточной функции регулятора тока замкнутый контур тока будет описываться передаточной функцией фильтра Баттерворта II порядка:

$$\Phi_i(p) = \frac{1}{2 \cdot T_\mu^2 \cdot p^2 + 2 \cdot T_\mu \cdot p + 1},$$

$$\Phi_i(p) = \frac{1}{2 \cdot 0,007^2 \cdot p^2 + 2 \cdot 0,007 \cdot p + 1} = \frac{1}{0,0001 \cdot p^2 + 0,014 \cdot p + 1}.$$

Влияние ЭДС якоря приводит к появлению статической ошибки по току, что ухудшает качество системы. Для компенсации данного влияния вводится положительная обратная связь по ЭДС якоря. Структурная схема контура тока с компенсацией ЭДС представлена на рисунке 11. При выносе фильтра из контура он должен оказаться в цепи задания на ток (Φ_1), в цепи обратной связи по току (Φ_2) и в цепи обратной связи по ЭДС, где его удобно объединить с датчиком ЭДС. Таким образом, датчик ЭДС имеет небольшую инерционность, что является необходимым, т.к. безынерционный датчик ЭДС реализовать невозможно.

Компенсирующий сигнал U_k подается на вход регулятора тока, а не непосредственно в точку действия ЭДС якоря (между звеньями ТП и ГЦ). Поэтому влияние звеньев регулятора тока и преобразователя на прохождение компенсирующего сигнала необходимо устранить. Это достигается за счет включения в цепь обратной связи по ЭДС звена компенсации. Передаточная функция звена компенсации определяется по формуле:

$$W_k(p) = \frac{T_{k1} \cdot p}{T_{k2} \cdot p + 1},$$

					ПЗ	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат		37

$$T_{к1} = \frac{2 \cdot T_{\mu}}{r_{\omega}} = \frac{2 \cdot 0,007}{0,129} = 0,11 \text{ с}$$

где

$$T_{к2} = T_{\omega} = 0,04 \text{ с}$$

$$W_{к}(p) = \frac{0,11 \cdot p}{0,04 \cdot p + 1}$$

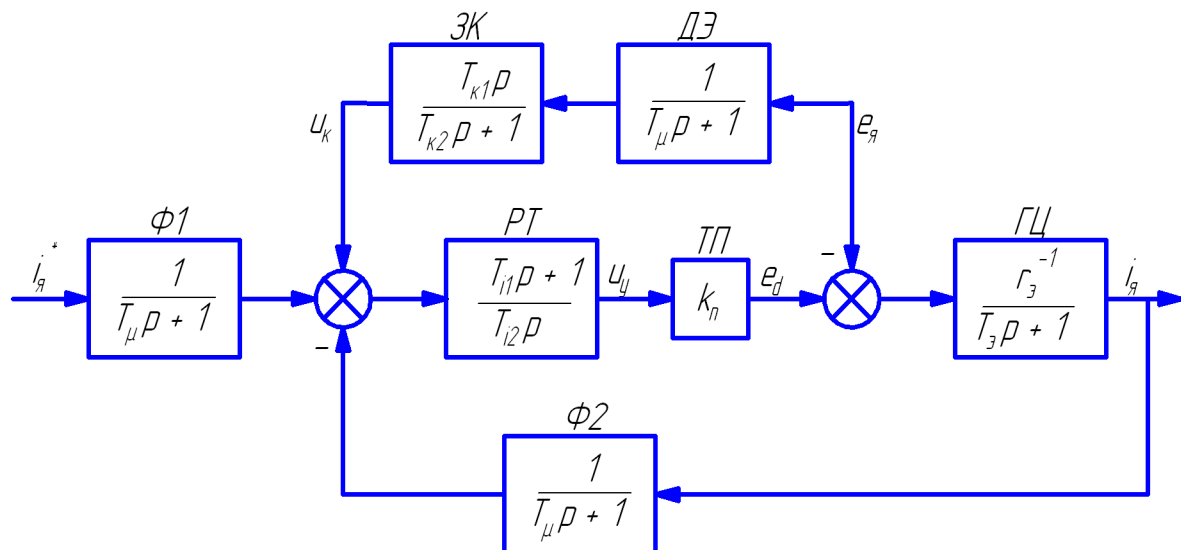


Рисунок 11 - Структурная схема контура тока с компенсацией ЭДС

В результате компенсации ЭДС статическая ошибка по току устраняется.

ЭДС якоря двигателя недоступна для прямого измерения. Косвенный датчик ЭДС якоря использует сигналы тока и напряжения якоря. Связь между током, напряжением и ЭДС якоря следует из уравнения электрического равновесия для якорной цепи. В области изображений по Лапласу это уравнение имеет вид:

$$e_{я}(p) = U_{я}(p) - r_{я}(T_{я} p + 1) i_{я}(p)$$

Реализовать датчик ЭДС в полном соответствии с данным уравнением невозможно, т.к. требуется идеальное форсирующее звено. Поэтому внесем в датчик инерционное звено с постоянной времени T_{μ} . В результате уравнение датчика ЭДС принимает вид:

5.2 Реализация датчика ЭДС

ЭДС якоря двигателя, в отличие от тока якоря и скорости, недоступна для прямого измерения. Датчик косвенного измерения ЭДС якоря использует сигналы датчика тока якоря и датчика напряжения на якоре двигателя. Связь между током якоря, напряжением якоря и ЭДС якоря устанавливает уравнение

электрического состояния равновесия в якорной цепи. В операторном виде оно имеет вид:

$$u_z(p) = l_{я}(p) + i_{я}(p) \cdot [T_{я}(p) + 1] \cdot r_{я},$$

где
$$T_{я} = \frac{L_{я}}{R_{я}} = \frac{0,004}{0,049} = 0,082 \text{ с}$$

В результате компенсации ЭДС статическая ошибка по току устраняется.

ЭДС якоря двигателя недоступна для прямого измерения. Косвенный датчик ЭДС якоря использует сигналы тока и напряжения якоря. Связь между током, напряжением и ЭДС якоря следует из уравнения электрического равновесия для якорной цепи. В области изображений по Лапласу это уравнение имеет вид:

$$e_{я}(p) = U_{я}(p) - r_{я}(T_{я}p + 1)i_{я}(p).$$

Реализовать датчик ЭДС в полном соответствии с данным уравнением невозможно, т.к. требуется идеальное форсирующее звено. Поэтому внесем в датчик инерционное звено с постоянной времени T_{μ} . В результате уравнение датчика ЭДС принимает вид:

$$U_{дэ}(p) = \frac{1}{T_{\mu}p + 1} U_{я}(p) - r_{я} \frac{T_{я}p + 1}{T_{\mu}p + 1} i_{я}(p) = \frac{1}{0,007p + 1} U_{я}(p) - 0,067 \frac{0,082p + 1}{0,007p + 1} i_{я}(p)$$

Данному уравнению соответствует структурная схема датчика ЭДС структурная схема датчика ЭДС, показанная на рисунке 12. Также показано звено компенсации.

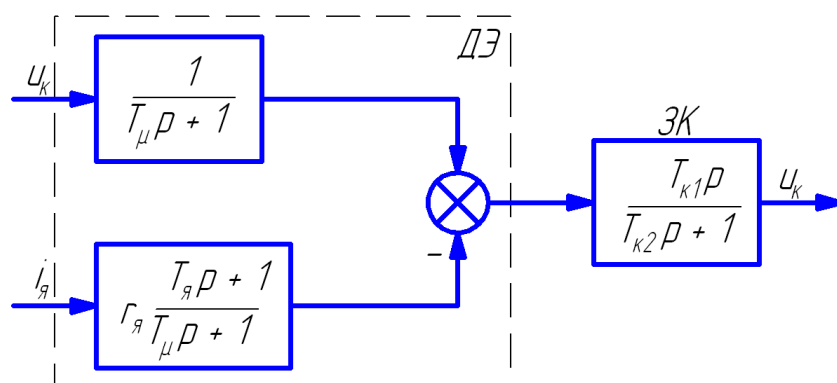


Рисунок 12 - Структурная схема датчика ЭДС и звена компенсации

5.3 Конструктивный расчет датчика ЭДС и звена компенсации

В аналоговых системах автоматического управления электроприводами реализация регуляторов и других преобразователей сигналов осуществляется на базе операционных усилителей.

Принципиальная схема датчика ЭДС и звена компенсации показана на рисунке 13. Фильтр в канале напряжения реализуется на элементах R12, R13, C6. Форсирующее звено в канале тока реализуется на элементах R10, R11, C5. Операционный усилитель DA3 предназначен для суммирования сигналов в датчике ЭДС, что осуществляется путем суммирования токов I1 и I2. Звено компенсации выполнено на операционном усилителе DA2. Элементы входной цепи и цепи обратной связи усилителя DA2 R8, R7, C4 обеспечивают реализацию свойств реального дифференцирующего звена.

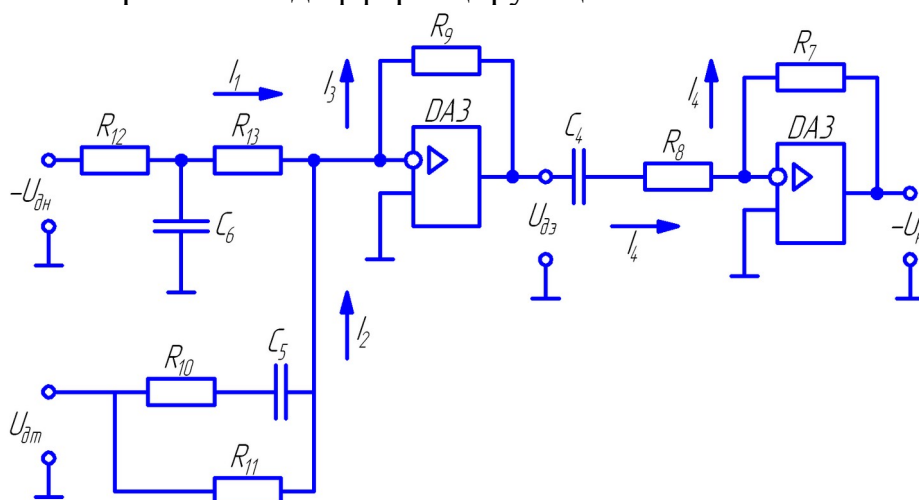


Рисунок 13 - Принципиальная схема датчика ЭДС и звена компенсации

На рисунке 14 представлена структурная схема для абсолютных величин токов и напряжений, которая соответствует принципиальной схеме, показанной на рисунке 13. При ее составлении было принято, что сопротивления R12 и R13 одинаковы.

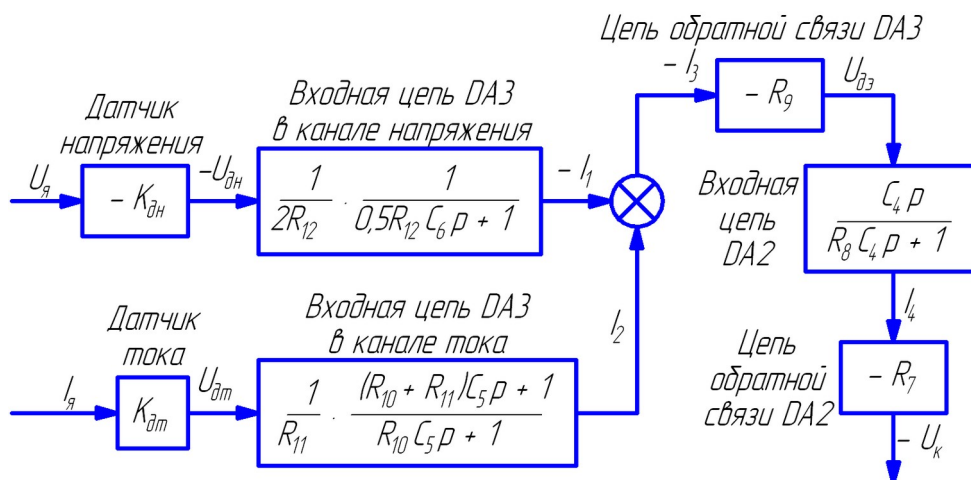


Рисунок 14 - Структурная схема датчика ЭДС и звена компенсации для абсолютных величин

$$R_8 C_4 = T K_2.$$

Из записанных соотношений выразим и рассчитаем параметры элементов принципиальной схемы (сопротивления и ёмкости):

$$R_{12} = R_{13} = 20000 \cdot 0,745 / 2 = 7,45 \text{ кОм};$$

$$R_{11} = 20000 \cdot 0,396 / 0,067 = 118,21 \text{ кОм};$$

$$R_9 = R_7 = R_{6p} = 20 \text{ кОм};$$

$$C_6 = 0,007 / (0,5 \cdot 7450) = 1,88 \cdot 10^{-6} \text{ Ф} = 1,88 \text{ мкФ};$$

$$C_5 = (0,08 - 0,007) / 118210 = 6,17 \cdot 10^{-7} \text{ Ф} = 0,62 \text{ мкФ};$$

$$R_{10} = 0,007 / 6,17 \cdot 10^{-7} = 11345,21 \text{ Ом} = 11,35 \text{ кОм};$$

$$C_4 = 0,11 / 20000 = 0,0000055 \text{ Ф} = 5,5 \text{ мкФ};$$

$$R_8 = 0,04 / 0,0000055 = 7272,73 \text{ Ом} = 7,27 \text{ кОм}.$$

					ПЗ	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат		47

6 КОНСТРУКТИВНЫЙ РАСЧЕТ РЕГУЛЯТОРА ТОКА

На рисунке 16 показана принципиальная схема регулятора тока и его входных цепей. Регулятор тока выполнен на операционном усилителе DA1. Последовательное включение в цепь обратной связи усилителя DA1 сопротивления R1 и емкости C1 обеспечивает пропорционально-интегральный тип регулятора. На входе усилителя DA1 суммируются три сигнала, приходящие по каналам задания на ток, обратной связи по току и по каналу компенсации ЭДС, путем суммирования токов I1, I2 и I3. В цепи задания на ток и в цепи обратной связи по току установлены фильтры на элементах R2, R3, C2 и R4, R5, C3 соответственно. Нелинейный элемент НЭ1 реализуется на стабилитронах VD1 и VD2.

Рисунок 16 - Принципиальная схема регулятора тока и его входных цепей

На рисунке 17 представлена структурная схема для абсолютных величин токов и напряжений, которая соответствует принципиальной схеме, показанной на рисунке 16. При составлении структурной схемы предполагалось, что сопротивления R2 и R3, а также R4 и R5 одинаковы. От структурной схемы для абсолютных величин перейдем к структурной схеме для относительных величин (рисунок 18).

					ПЗ	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат		43

$$0,5R_2C_2=0,5R_4C_3=T_{\mu};$$

$$R_{6p}C_1=T_{i2};$$

$$R_1C_1=T_{i1}.$$

Из записанных соотношений выразим и рассчитаем параметры элементов принципиальной схемы (сопротивления и ёмкости):

$$R_6 = R_{6p} = 20 \text{ кОм};$$

$$R_2 = R_3 = 0,5R_{6p} = 10 \text{ кОм};$$

$$R_4 = R_5 = 20*0,396/2 = 3,96 \text{ кОм};$$

$$C_2 = 0,007/(0,5*10000) = 0,0000014 \text{ Ф} = 1,4 \text{ мкФ};$$

$$C_3 = 0,007/(0,5*3960) = 3,54 \text{ мкФ};$$

$$C_1 = 0,146/20000 = 0,0000073 \text{ Ф} = 7,3 \text{ мкФ};$$

$$R_1 = 0,04/0,0000073 = 5479,45 = 5,5 \text{ кОм}.$$

					ПЗ	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат		45

7 РАСЧЕТ РЕГУЛИРУЮЩЕЙ ЧАСТИ КОНТУРА СКОРОСТИ

7.1 Расчет параметров математической модели контура скорости

Рассмотрим структуру и выполним расчет параметров модели контура скорости, используя систему относительных единиц. Структурная схема контура регулирования скорости представлена на рисунке 19. Контур регулирования тока якоря при его настройке на модульный оптимум рассматриваем как одно звено с передаточной функцией (10). Контур скорости включает в себя звено регулятора скорости (РС), звено контура тока якоря (КТ), звено умножения на поток и звено механической части привода (МЧ). Обратная связь по скорости при рассмотрении относительных величин принимается единичной. На объект управления действует возмущающее воздействие — момент статического сопротивления, создаваемый нагрузкой на валу двигателя.

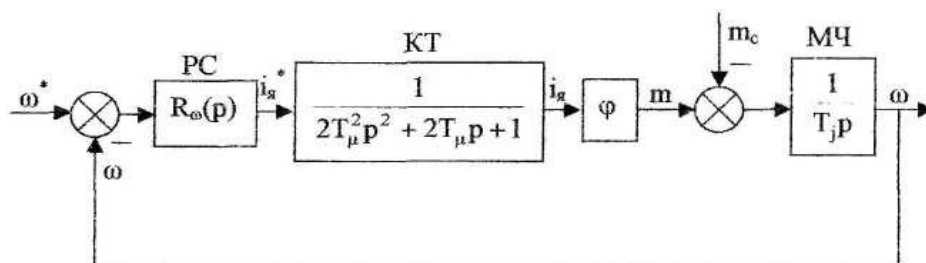


Рисунок 19 - Структурная схема контура регулирования скорости

При синтезе регулятора скорости считаем, что момент статического сопротивления равен нулю (режим идеального холостого хода двигателя). При условии $m_c=0$ объект управления в контуре скорости представляется одним звеном:

$$W_{\omega}(p) = \frac{\phi}{T_J p}$$

Передаточная функция регулятора скорости находится по условию настройки контура на модульный оптимум:

$$R_{\omega}(p) = \frac{1}{W_{\omega}(p)} \frac{1}{4T_{\mu}p} = k_{PC}$$

Получаем передаточную функцию П-регулятора. Коэффициент передачи регулятора скорости согласно находится по формуле

$$k_{PC} = \frac{T_J}{4T_\mu \phi} = \frac{0,37}{4 \cdot 0,007 \cdot 1} = 13,21$$

Однократная САР скорости является статической по возмущающему воздействию, поэтому в результате появления нагрузки на валу двигателя появляется статическая ошибка по скорости. Определим величину максимальной статической ошибки по скорости:

$$\Delta\omega_{C(\max)} = \frac{4T_\mu}{T_J} m_{C(\max)} = \frac{4 \cdot 0,007}{0,37} 2465,85 = 186,6$$

где $m_{C(\max)} = 2465,85$ - максимальный по модулю статический момент на валу двигателя в относительных единицах (см. нагрузочную диаграмму двигателя).

7.2 Конструктивный расчет регулирующей части контура скорости

Принципиальная схема регулирующей части контура скорости представлена на рисунке 20. Регулятор скорости выполнен на операционном усилителе DA4. Суммирование сигнала задания на скорость и сигнала обратной связи по скорости осуществляется путем суммирования токов I1 и I2. Включение в цепь обратной связи усилителя DA4 сопротивления R16 обеспечивает пропорциональный тип регулятора. Стабилитроны VD3, VD4 реализуют нелинейный элемент НЭ2.

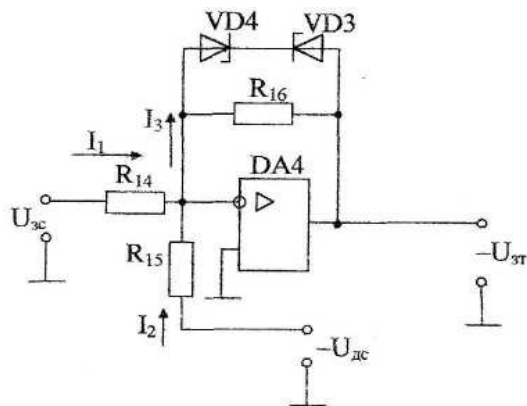


Рисунок 20 - Принципиальная схема регулирующей части контура скорости

На рисунке 21 показана структурная схема для абсолютных величин токов и напряжений, соответствующая принципиальной схеме на рисунке 20.

$$\frac{R_{16}}{R_{\text{бр}}} = k_{\text{PC}}$$

Выразим и рассчитаем сопротивления R14, R15 и R16:

$$\begin{aligned} R_{14} &= R_{\text{бр}} = 20 \text{ кОм}, \\ R_{15} &= R_{\text{бр}} * k_{\text{де}} = 20 * 0,174 = 3,48 \text{ кОм}, \\ R_{16} &= R_{\text{бр}} * k_{\text{pc}} = 20 * 13,21 = 264,2 \text{ кОм}. \end{aligned}$$

					ПЗ	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат		49

8 РАСЧЕТ ЗАДАТЧИКА ИНТЕНСИВНОСТИ

8.1 Расчет параметров математической модели задатчика интенсивности

Задатчик интенсивности предназначен для формирования линейно изменяющегося во времени сигнала задания на скорость с определенным темпом. Структурная схема задатчика представлена на рисунке 23. Темп изменения выходного сигнала задатчика определяется уровнем ограничения Q нелинейного элемента (НЭ) и постоянной времени $T_{иp}$ интегратора (И).

Определим параметры математической модели задатчика интенсивности в относительных единицах.

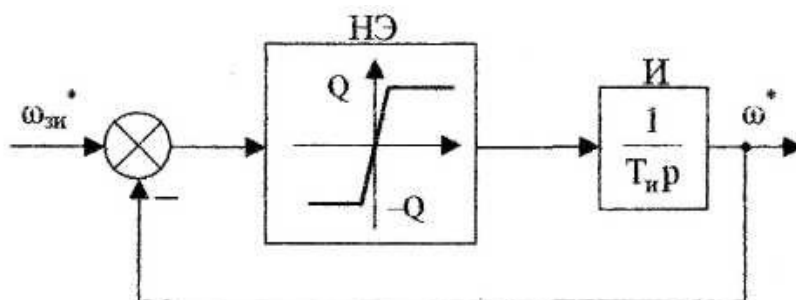


Рисунок 23 – Структурная схема задатчика интенсивности

Темп задатчика:

$$A = \frac{\varepsilon}{\Omega_6} = 245,8/57,57 = 4,27$$

Уровень ограничения нелинейного элемента (принимается): $Q=0,9$.

Постоянная времени интегрирующего звена ЗИ:

$$T_{иp} = Q/A = 0,9/4,27 = 0,211 \text{ с.}$$

Коэффициент передачи в линейной зоне нелинейного элемента (принимается)
 $K_{дl}=100$.

8.2 Конструктивный расчет задатчика интенсивности

Принципиальная схема задатчика интенсивности представлена на рисунке 24. Нелинейный элемент реализуется на операционном усилителе DA7. Ограничение выходного сигнала обеспечивается за счет включения в цепь обратной связи усилителя DA7 стабилитронов VD5 и VD6. Интегратор реализуется на операционном усилителе DA6. Емкость $C7$ в цепи обратной связи усилителя DA6 определяет постоянную времени интегратора. Усилитель DA5 предназначен для инвертирования сигнала, чтобы обеспечить отрицательную

					ПЗ	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат		50

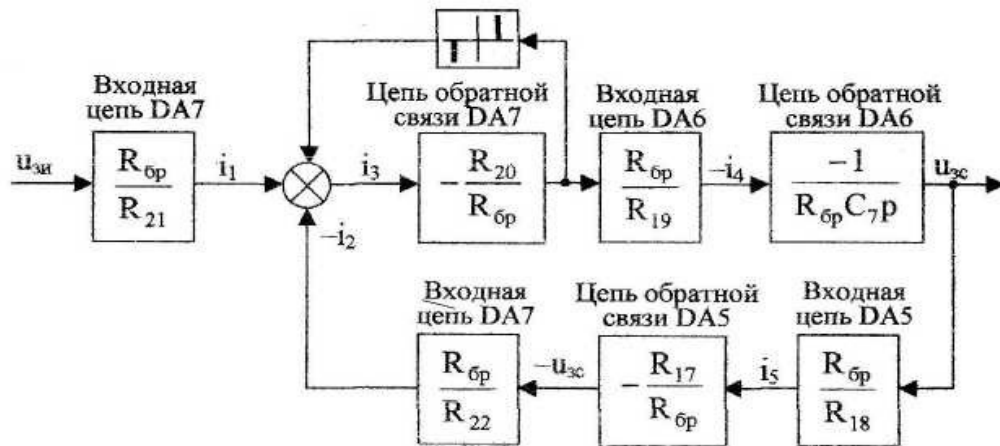


Рисунок 26 - Структурная схема датчика интенсивности для относительных величин

Для обеспечения требуемого коэффициента передачи в линейной зоне нелинейного элемента должно выполняться условие

$$\frac{R_{20}}{R_{бр}} = K_{Л}$$

Остальные сопротивления в схеме датчика должны быть таковы, чтобы обеспечить единичные коэффициенты передачи. Для этого должны выполняться следующие условия:

$$\frac{R_{бр}}{R_{21}} = \frac{R_{бр}}{R_{19}} = \frac{R_{бр}}{R_{22}} = \frac{R_{17}}{R_{бр}} = \frac{R_{бр}}{R_{18}} = 1.$$

Из записанных соотношений выразим и рассчитаем параметры элементов принципиальной схемы (сопротивления и ёмкости):

$$C7 = T_{и}/R_{бр} = 0,211/20000 = 1,06 \cdot 10^{-5} \text{ Ф} = 10,6 \text{ мкФ};$$

$$R_{20} = R_{бр} \cdot K_{Л} = 20 \cdot 100 = 2 \text{ Мом};$$

$$R_{17} = R_{18} = R_{19} = R_{21} = R_{22} = R_{бр} = 20000 = 20 \text{ кОм}.$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В курсовом проекте разработан электропривод главного движения стола продольно-строгального станка. Проведен выбор типа электропривода, выбор и проверка электродвигателя, выбор основных узлов силовой части, составлена математическая модель силовой части, спроектирована система управления электроприводом, рассчитан контур регулирования тока якоря и цепи компенсации ЭДС якоря, рассчитан контур регулирования скорости и задатчик интенсивности.

В графической части проекта выполнены функциональная и структурная схемы разработанного электропривода.

					ПЗ	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат		53

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 Константинов, В.Д. Автоматизированный электропривод станков: методическое пособие для курсового проектирования / В.Д. Константинов. - Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006. – 68 с.

2 Ключев, В.И. Теория электропривода: учебник для вузов / В.И. Ключев. - М.: Энергоатомиздат, 1985. – 560 с., ил.

3 Комплектные тиристорные электроприводы: справочник / под. ред. В.М. Перельмутера. - М.: Энергоатомиздат, 1988. – 319 с.

4 Евзеров, И.Х. Тиристорные электроприводы серии КТЭУ мощностью до 2000 кВт / И.Х. Евзеров, В.М. Перельмутер, А.А. Ткаченко. - М.: Энергоатомиздат, 1988. – 96 с.: ил.

5 Чиликин, М.Г. Общий курс электропривода: учебник для вузов / М.Г. Чиликин, А.С. Сандлер. - 6-е изд., доп. и перераб. - М.: Энергоиздат, 1981. – 576 с., ил.

					ПЗ	Лис
Изм.	Лис	№ докум.	Подпись	Дат		54