

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ,
МОЛОДЕЖИ И СПОРТА УКРАИНЫ
ХАРЬКОВСКАЯ НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ
ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к практическим занятиям

по дисциплине

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ
ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ
УСТРОЙСТВ И СИСТЕМ**

*(для студентов 4 курса всех форм обучения
по направлению подготовки 6.050702
«Электромеханика» специальности
«Электромеханические системы автоматизации
и электропривод»)*

**Харьков
ХНАГХ
2012**

Методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Проектирование электромеханических устройств и систем» (для студентов 4 курса всех форм обучения по направлению подготовки 6.050702 «Электромеханика» специальности «Электромеханические системы автоматизации и электропривод») / Харьк. нац. акад. гор. хоз-ва; В. Н. Фатеев. – Х.: ХНАГХ, 2012. – 36 с.

Составитель доц. В. Н. Фатеев

Рекомендовано кафедрой Электрического транспорта,
протокол № 5 от 23.11.2010р.

Содержание

Занятие 1. Выбор электропривода по роду тока	5
Занятие 2. Определение функциональной схемы электропривода	7
Занятие 3. Расчет мощности и выбор двигателя	9
Занятие 4. Проверка двигателя по нагреву	12
Занятие 5. Выбор тиристорного преобразователя	16
Занятие 6. Выбор сглаживающего реактора, датчика скорости и тока	19
Занятие 7. Расчет параметров структурной схемы системы подчиненного регулирования	20
Занятие 8. Оптимизация контура регулирования тока	23
Занятие 9. Оптимизация контура регулирования скорости	25
Занятие 10. Определение показателей качества замкнутой системы	27
Джерела.....	35

Практические занятия по курсу «Проектирование электромеханических устройств и систем» проводятся на примере электропривода стола продольно-строгального станка. Механическая часть электропривода представляет собой двухступенчатое передаточное устройство и состоит из одноступенчатого понижающего редуктора, передающего вращение от двигателя на реечную шестерню. С помощью реечной шестерни и зубчатой рейки, прикрепленной к столу снизу, вращательное движение двигателя преобразуется в поступательное движение стола.

Изменение направления движения стола осуществляется за счет реверса двигателя.

Исходные данные для расчетов приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Исходные данные к расчету

№ п.п.	Наименование	Обозначение	Единица измерения	Значение
1	Масса стола	m_c	кг.	$4,5 \cdot 10^3$
2	Масса детали	m_d	кг.	$6,5 \cdot 10^3$
3	Длина стола	l_c	м	8,5
4	Количество вертикальных суппортов	N_{cv}	шт.	1
5	Количество горизонтальных суппортов	N_{cg}	шт.	1
6	Максимальное усилие резания по суппорту	F_p	Н	$0,5 \cdot 10^3$
7	Скорость резания	V_p	м/с	1
8	Быстрое перемещение стола	V_b	м/с	2,8
9	Скорость входа резца в металл	V_{bx}	м/с	0,095
10	Скорость выхода резца из металла	V_{bix}	м/с	0,3

При проведении занятий необходимо выбрать электропривод по роду тока, определить функциональную схему электропривода и выбрать ее основные элементы, рассчитать динамические параметры объекта управления и настроечные параметры системы управления.

Занятие 1. Выбор электропривода по роду тока

Для выбора электропривода по роду тока необходимо проанализировать диаграмму скорости, характеризующую требуемое изменение скорости стола во времени. Она приведена на рис. 1а и носит циклический характер.

Диаграмма состоит из двенадцати интервалов. На первом интервале, длительностью t_1 , стол разгоняется в прямом направлении до скорости входа V_{BX} . Величина V_{BX} выбирается такой, чтобы при входе резца в деталь не сминался край детали и не ломался резец. На втором интервале t_2 стол движется с постоянной скоростью V_{BX} . На третьем интервале t_3 резец входит в металл. На четвертом интервале t_4 стол разгоняется до скорости резания V_P . На пятом интервале t_5 стол движется с постоянной скоростью V_P . На шестом интервале t_6 скорость стола снижается до скорости выхода $V_{ВЫХ}$, что предотвращает скалывание кромки детали при выходе из нее резца. На седьмом интервале t_7 резец выходит из детали. На восьмом интервале t_8 стол движется с постоянной скоростью $V_{ВЫХ}$. На девятом интервале t_9 скорость двигателя снижается до нуля. На десятом интервале t_{10} стол начинает движение в обратном направлении и разгоняется до скорости обратного хода V_B . Величина V_B для повышения производительности станка устанавливается максимальной, так как во время обратного хода резцы перемещаются по прорезанным канавкам. На одиннадцатом интервале t_{11} стол движется в обратном направлении с постоянной скоростью V_B . На двенадцатом интервале t_{12} скорость стола уменьшается до нуля. После остановки стола изменяется положение резцов и далее цикл повторяется.

Из вида диаграммы скорости следует, что для обеспечения наиболее эффективных режимов резания необходимо на интервалах $t_2, t_3; t_5; t_7, t_8; t_{11}$ перемещать стол с постоянными во времени но различными по величине скоростями, т.е. регулировать скорость движения стола. При имеющейся кинематической схеме механической части электропривода это осуществляется за счет регулирования скорости двигателя.

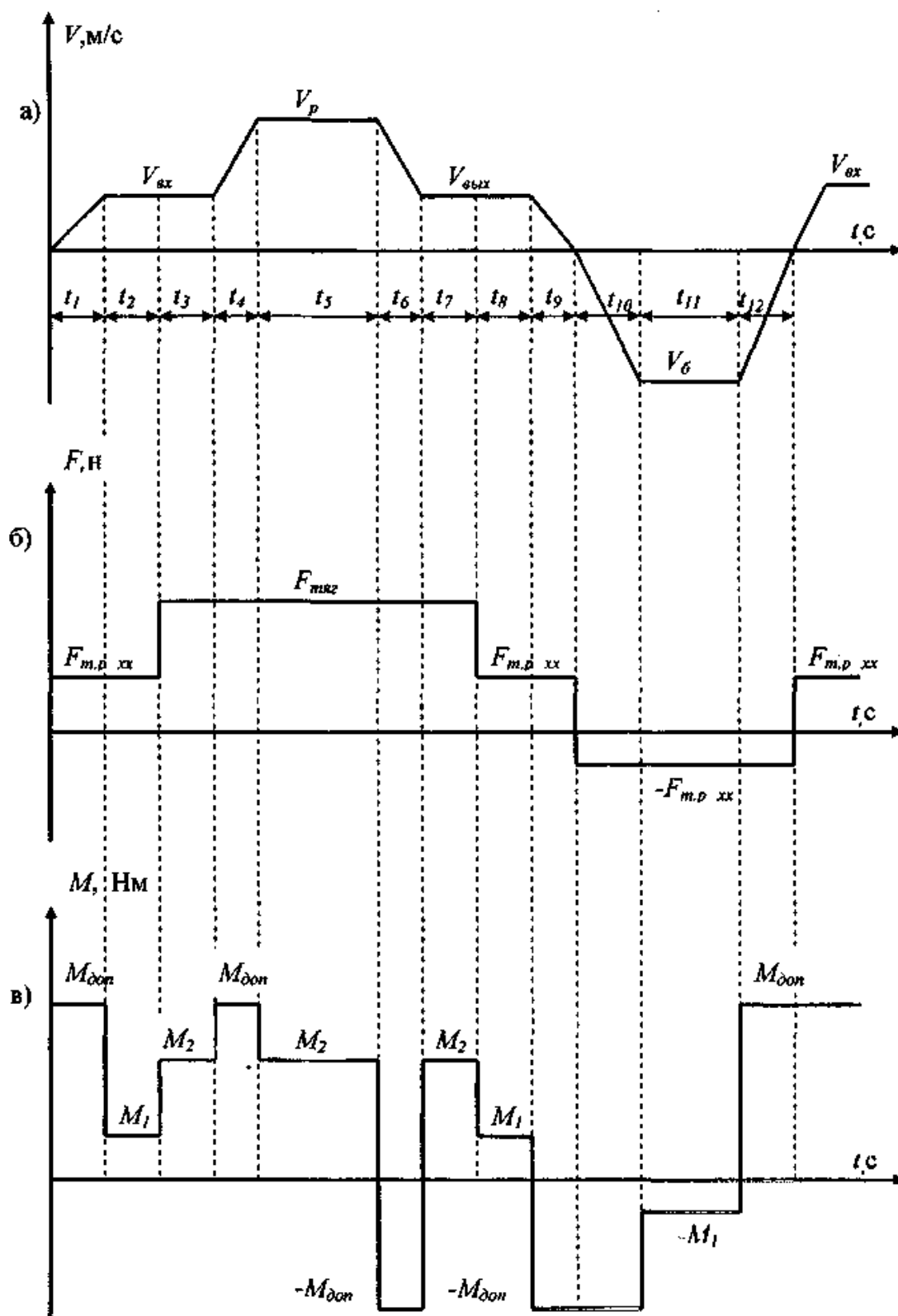


Рис. 1. а) тахограмма движения стола;
 б) диаграмма усилий;
 в) диаграмма моментов.

Диапазон регулирования скорости D определяется как отношение максимальной скорости поступательного движения стола к его минимальной скорости, т.е. как отношение скорости V_B к скорости V_{BX} . Наибольшая величина V_B изменяется в пределах $1,25 \div 2,0$ м/с, а наименьшая величина $V_{BX} = 0,067 \div 0,1$ м/с [2]. Поэтому диапазон регулирования скорости привода стола лежит в пределах:

$$D = \frac{V_B}{V_{BX}} = \frac{1,25 \div 2,0}{0,1 \div 0,067} = 12,5 \div 30$$

Поскольку величина $D > 10$, то в качестве приводного в электроприводе стола необходимо применять двигатель постоянного тока. Техничко-экономические показатели электропривода, благодаря регулировочным свойствам двигателя постоянного тока, будут лучше, чем у электропривода с асинхронным двигателем [3].

Занятие 2. Определение функциональной схемы электропривода

Функциональную схему системы электропривода или принцип управления, на основании которого она должна быть построена, выбирают исходя из необходимости обеспечивать требуемой технологической машиной точности регулирования выходной величины.

Точность регулирования скорости характеризуется величиной статизма S_x . Он зависит от наклона механической характеристики $\omega = f(M)$ и показывает, на сколько процентов от скорости идеального холостого хода ω_0 уменьшается скорость двигателя ω при увеличении момента сопротивления M_c от момента сопротивления холостого хода $M_{cхх}$ до момента сопротивления, равного номинальному моменту $M_c = M_n$.

В [2] отмечается, что статизм S_x главного электропривода продольно-строгального станка во всем диапазоне регулирования скорости не должен превышать 5 % при изменении нагрузки от холостого хода до номинальной. Указанное требование к точности регулирования скорости может быть

выполнено только лишь в результате применения системы управляемый преобразователь-двигатель (П-Д), построенной по замкнутому принципу с главной отрицательной обратной связью по скорости [3].

В настоящее время основным видом преобразователей систем П-Д постоянного тока являются тиристорные преобразователи (ТП). Функциональная схема замкнутой системы ТП-Д, построенной по принципу подчиненного регулирования, приведена на рис. 2.

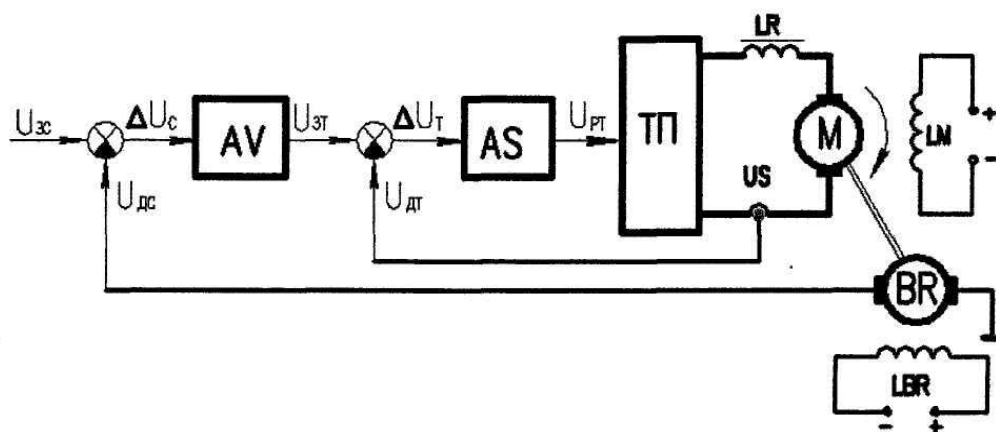


Рис. 2. Функциональная схема системы подчиненного регулирования

Обратная связь по скорости электродвигателя осуществляется с помощью тахогенератора BR. Сигнал обратной связи по скорости $U_{дс}$ в узле суммирования на входе регулятора скорости AV вычитается из сигнала задания скорости $U_{зс}$. Сигнал ошибки управления $\Delta U_c = U_{зс} - U_{дс}$ подается на вход регулятора скорости, который может реализовать как пропорциональный (П), так и пропорционально-интегральный (ПИ) законы управления. В первом случае система регулирования скорости будет статической, т.е. $S_x > 0$. При этом возможности изменения величины S_x весьма ограничены, т.к. единственный настроечный параметр регулятора скорости - коэффициент передачи k_{pc} используется для обеспечения требуемого качества регулирования скорости.

Во втором случае система будет астатической, т.е. $S_x = 0$ во всем диапазоне регулирования скорости, а механическая характеристика двигателя будет выглядеть прямой линией, параллельной оси абсцисс.

Выходной сигнал регулятора скорости U_{3T} является сигналом задания для регулятора тока AS, т.е. регулятор тока подчинен регулятору скорости.

В узле суммирования на входе регулятора тока из сигнала задания U_{3T} вычитается сигнал отрицательной обратной связи по току якоря двигателя $U_{ДТ}$, который снимается с выхода датчика тока US. Сигнал ошибки $\Delta U_T = U_{3T} - U_{ДТ}$ подается на вход регулятора тока. В отличие от регулятора скорости, регулятор тока обязательно реализует П-И закон управления, что позволяет обеспечивать требуемое качество регулирования тока.

Регулирование якорного тока $I_{я}$ в замкнутом контуре позволяет ограничивать его величину в переходном и установившемся режимах работы электропривода допустимым значением $I_{я.доп} = 2,5 \cdot I_{д.н.}$, а так же защищать двигатель в режиме работы "на упор".

Занятие 3. Расчет мощности и выбор двигателя

Для предварительного определения мощности двигателя P_d необходимо знать величины усилий, которые должен преодолевать двигатель на различных интервалах цикла. Диаграмма усилий приведена на рис.1.б. На первом и втором интервалах двигатель преодолевает усилие трения холостого хода $F_{тр.хх}$, величина которого определяется по формуле:

$$F_{тр.хх} = \mu \cdot g \cdot (m_c + m_d)$$

где: $\mu = 0,05$ - коэффициент трения стола о направляющие; $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ - ускорение силы тяжести; m_c, m_d - массы стола и детали, кг.

В нашем случае $F_{тр.хх}$ равно:

$$F_{тр.хх} = 0,05 \cdot 9,8 \cdot (4,5 \cdot 10^3 + 6,5 \cdot 10^3) = 5,39 \cdot 10^3 \text{ Н}$$

В начале третьего интервала резцы входят в металл, и двигатель преодолевает тяговое усилие $F_{тяг}$, величина которого определяется в результате сложения суммарного усилия резания $F_{р\sum}$ и нового усилия трения $F_{тр}$, учитывающего вертикальную составляющую усилия резания F_y :

$$F_{тяг} = F_{р\sum} + F_{тр}$$

Величина $F_{P\Sigma}$ равна:

$$F_{P\Sigma} = F_P \cdot (N_{CB} + N_{CT}) = 0,5(1+1) \cdot 10^3 = 1 \cdot 10^3 \text{ Н}$$

Величина F_Y равна:

$$F_Y = 0,4 \cdot F_P \cdot N_{CB} = 0,4 \cdot 0,5 \cdot 10^3 \cdot 1 = 0,2 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

Величина F_{TP} , равна: $F_{TP} = \mu \cdot [F_Y + g \cdot (m_C + m_D)]$

$$F_{TP} = 0,05 \cdot [0,2 + 9,8 \cdot (4,5 + 6,5)] \cdot 10^3 = 5,4 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

Величина $F_{ТЯГ}$ равна:

$$F_{ТЯГ} = F_{P\Sigma} + F_{TP} = (1 + 5,4) \cdot 10^3 = 6,4 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

Предварительное определение мощности электродвигателя P_D проводится без учета переходных процессов по максимальным величинам усилия сопротивления и скорости резания. Эти условия выполняются на пятом интервале цикла. Если потери мощности в механическом передаточном устройстве электропривода учесть с помощью его к.п.д. η_{II} , то выражение для определения P_D будет иметь вид:

$$P_D = \frac{F_{ТЯГ} \cdot V_P}{\eta_{II}}$$

Коэффициент полезного действия механического передаточного устройства η_{II} определяется по формуле:

$$\eta_{II} = \eta_n^n$$

где $\eta_n = 0,96 \div 0,98$ - номинальный к.п.д. зубчатой пары; n - число ступеней передачи, которое в нашем случае равно 2.

Величина η_{II} равна:

$$\eta_{II} = 0,97^2 = 0,94.$$

Тогда величина P_D будет равна:

$$P_D = 6,4 \cdot 10^3 \cdot 1 / 0,94 = 6,81 \cdot 10^3 \text{ Вт.}$$

Номинальная расчетная мощность двигателя $P_{н.расч}$ определяется с учетом того, что процесс резания можно осуществлять и со скоростью обратного хода V_B , а так же с учетом переходных режимов работы двигателя. Для этого предварительная мощность P_D увеличивается в V_B/V_P раз и полученное значение

умножается на коэффициент запаса k_z , изменяющийся в пределах от 1,1 до 1,3. Тем самым учитывается повышенный нагрев двигателя, вызываемый превышением в переходных режимах якорным током тока статической нагрузки. Тогда величина $P_{н.расч}$ будет равна:

$$P_{н.расч} = k_z \cdot P_D \cdot \frac{V_B}{V_P}$$

$$P_{н.расч} = 1,2 \cdot 6,81 \cdot 10^3 \cdot \frac{2,8}{1} = 22,88 \cdot 10^3 \text{ Вт}$$

По величине $P_{н.расч}$ в [4] выбирается ближайший больший по мощности двигатель постоянного тока с независимым возбуждением единой серии II типа П91 с номинальными данными:

номинальная мощность $P_n = 32 \cdot 10^3 \text{ Вт}$;

номинальная скорость $n_n = 1000 \text{ об/мин}$;

номинальное напряжение $U_{д.ном} = 220 \text{ В}$;

номинальный ток $I_{д.ном} = 171 \text{ А}$;

сопротивление на зажимах якоря двигателя $R_{я} + R_{дп} = 0,0666 \text{ Ом}$;

момент инерции якоря $J_d = 5,9 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$.

По номинальной скорости n_n определяется номинальная угловая скорость двигателя ω_n .

$$\omega_n = 2\pi n_n / 60 = 2 \cdot 3,14 \cdot 1000 / 60 = 104,7 \text{ рад/с}$$

По величинам P_n и ω_n определяется величина номинального момента двигателя $M_{ном}$

$$M_{ном} = P_n / \omega_n = 32 \cdot 10^3 / 104,7 = 305,6 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Радиус приведения ρ механического передаточного устройства главного электропривода определяется на основании того, что быстрое перемещение стола во время обратного хода со скоростью V_6 происходит при работе двигателя с номинальной скоростью ω_n . Тогда

$$\rho = V_B / \omega_n = 2,8 / 104,7 = 0,027 \text{ м/рад}$$

Занятие 4. Проверка двигателя по нагреву

Проверка двигателя по нагреву осуществляется косвенным методом – методом эквивалентного момента $M_{\text{э}}$. Оставаясь в течении цикла постоянным по величине, эквивалентный момент к концу цикла нагреет двигатель так же, как и реальный момент, изменяющийся по величине и знаку на разных интервалах цикла. Изменение знака реального момента требует определять $M_{\text{э}}$ как среднеквадратичную величину по формуле:

$$M_{\text{э}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n M_i^2 \cdot t_i}{\sum_{i=1}^n t_i}},$$

где $n=12$ – число интервалов цикла;

M_i – величина момента на i -м интервале,

t_i – длительность i -го интервала.

Двигатель проходит по нагреву, если эквивалентный момент $M_{\text{э}}$ оказывается меньше или равным номинальному моменту двигателя $M_{\text{ном}}$. Если условие $M_{\text{э}} \leq M_{\text{ном}}$ не выполняется, необходимо принять двигатель большей мощности и повторить расчет.

Диаграмма моментов приведена на рис. 1.в. На интервалах цикла, где двигатель работает в переходных режимах, с целью минимизации длительности пуска или торможения двигатель должен работать с допустимым моментом $M_{\text{доп}}$, который для двигателя постоянного тока с независимым возбуждением не должен превышать величины $M_{\text{доп}} \leq 2,5 M_{\text{ном}}$.

На интервалах с установившимся режимом работы вращающий момент двигателя равен моменту сопротивления $M_{\text{с}}$. Величина $M_{\text{с}}$ определяется с помощью операции приведения, в основе которой лежит баланс мощности. Усилие трения холостого хода $F_{\text{тр хх}}$, создаваемое на столе станка, приводится к оси вращения двигателя как момент M_1 по формуле:

$$M_1 = \frac{F_{\text{тр.хх}} \cdot \rho}{\eta_{\text{п}}}$$

$$M_1 = \frac{5,39 \cdot 10^3 \cdot 0,027}{0,94} = 0,15 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Тяговое усилие $F_{\text{тяг}}$ приводится к оси вращения двигателя как момент M_2 :

$$M_2 = \frac{F_{\text{тяг}} \cdot \rho}{\eta_{\text{п}}} \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_2 = \frac{6,4 \cdot 10^3 \cdot 0,027}{0,94} = 0,173 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Длительность интервалов цикла на которых двигатель работает в переходных режимах, можно рассчитать, воспользовавшись уравнением движения электропривода.

$$\pm M_{\text{доп}} - M_c = J \, d\omega/dt.$$

Здесь знак «+» перед $M_{\text{доп}}$ соответствует двигательному, а «-» - тормозному режиму работы двигателя. Знак «-» перед приведенным моментом сопротивления M_c говорит о том, что момент сопротивления, связанный с преодолением сил трения $F_{\text{тр.хх}}$ и $F_{\text{тяг}}$, имеет реактивный характер и всегда препятствует движению.

Приведенный момент инерции механической части электропривода J при ее заданной кинематической схеме определяется по формуле:

$$J = k_{\text{п}} \cdot J_{\text{д}} + (m_{\text{с}} + m_{\text{д}}) \cdot \rho^2,$$

где $k_{\text{п}} = 1,1 \div 1,2$ – учитывает моменты инерции элементов кинематической схемы.

$$J = 1,1 \cdot 5,9 + (4,5 \cdot 10^3 + 6,5 \cdot 10^3) \cdot 0,027^2 = 14,51 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Длительность интервалов с переходным режимом работы t_i можно определить по формуле, которая получается в результате интегрирования уравнения движения и в общей форме имеет вид:

$$t_i = \frac{J(V_{i+1} - V_i)}{(\pm M_{\text{доп}} - M_c) \cdot \rho},$$

где V_i - начальная и V_{i+1} - конечная скорость переходного режима

Формула для определения длительности первого интервала t_1 , на котором двигатель разгоняет стол до скорости $V_{\text{вх}}$ ($V_{i+1} = V_{\text{вх}}$) с нулевой скорости ($V_i = 0$), развивая вращающий момент $M_{\text{доп}}$ и преодолевая момент сопротивления $M_c = M_1$, будет иметь вид:

$$t_1 = \frac{J(V_{\text{вх}} - 0)}{(M_{\text{доп}} - M_1) \cdot \rho}$$

Как отмечено выше, величина допустимого момента $M_{\text{доп}}$ для двигателя постоянного тока с независимым возбуждением не должна превышать $2,5 M_n$. Действительное значение величины $M_{\text{доп}}$ можно определить при расчете длительности t_1 , учитывая что допустимое ускорение $a_{\text{доп}}$ (м/с^2) определяется механической прочностью элементов кинематической цепи электропривода и находится в пределах:

$$a_{\text{доп}} = V_{\text{вх}} / t_1 = 0,8 \div 1.$$

Тогда величина t_1 будет равна:

$$t_1 = 14,51 \cdot 0,095 / (764 - 150) \cdot 0,027 = 0,1 \text{ с.}$$

На четвертом интервале двигатель со скорости $V_{\text{вх}}$ разгоняет стол до скорости V_p , развивая вращающий момент $M_{\text{доп}}$ и преодолевая момент сопротивления $M_c = M_2$. Длительность четвертого интервала t_4 будет равна

$$t_4 = \frac{J(V_p - V_{\text{вх}})}{(M_{\text{доп}} - M_2) \cdot \rho} = 14,51 \cdot (1 - 0,095) / (764 - 173) \cdot 0,027 = 0,82 \text{ с.}$$

На шестом интервале двигатель со скорости V_p тормозит стол до скорости $V_{\text{вых}}$. Момент двигателя $M = -M_{\text{доп}}$. Момент сопротивления $M_c = M_2$. Он так же препятствует вращению.

$$t_6 = \frac{J(V_{\text{вых}} - V_p)}{(-M_{\text{доп}} - M_2) \cdot \rho} = 14,51 \cdot (0,3 - 1) / (-764 - 173) \cdot 0,027 = 0,4 \text{ с.}$$

На девятом интервале двигатель со скорости $V_{\text{вых}}$ тормозит стол до нулевой скорости. Момент сопротивления, препятствующий вращению, $M_c = M_1$.

$$t_9 = \frac{J(0 - V_{\text{вых}})}{(-M_{\text{доп}} - M_1) \cdot \rho} = 14,51 \cdot (0 - 0,3) / (-764 - 150) \cdot 0,027 = 0,18 \text{ с.}$$

На десятом интервале двигатель с нулевой скорости разгоняет стол до скорости обратного хода $V_{\text{б}}$. При этом $M_c = M_1$.

$$t_{10} = \frac{J(V_B - 0)}{(M_{\text{дон}} - M_1) \cdot \rho} = 14,51 \cdot (2,8 - 0) / (764 - 150) \cdot 0,027 = 2,45 \text{ с.}$$

На двенадцатом интервале двигатель со скорости V_6 тормозится до нулевой скорости. $M_c = M_1$.

$$t_{12} = \frac{J(0 - V_B)}{(-M_{\text{дон}} - M_1) \cdot \rho} = 14,51 \cdot (0 - 2,8) / (-764 - 150) \cdot 0,027 = 1,65 \text{ с.}$$

По требованиям технологии обработки деталей на продольнострогательном станке величина пути l_T , проходимого столом на 2, 3, 7 и 8 интервалах, лежит в пределах $l_T = 0,01 \div 0,03 \text{ м}$. Тогда длительность второго t_2 и третьего t_3 интервалов будет равна

$$t_2 = t_3 = l_T / V_{\text{BX}} = 0,02 / 0,095 = 0,21 \text{ с.}$$

Аналогично длительность седьмого t_7 и восьмого t_8 интервалов

$$t_7 = t_8 = l_T / V_{\text{ВЫХ}} = 0,02 / 0,3 = 0,67 \text{ с.}$$

Величина пути l_i , проходимого столом на 1, 4, 6, 9, 10 и 12 интервалах определяется по формуле

$$l_i = 0,5 | V_{i+1} + V_i | t_i$$

На первом интервале $l_1 = 0,5 | V_{\text{BX}} + 0 | t_1 = 0,5 | 0,095 + 0 | \cdot 0,1 = 0,005 \text{ м}$.

На четвертом интервале $l_4 = 0,5 | V_p + V_{\text{BX}} | t_4 = 0,5 | 1 + 0,095 | \cdot 0,82 = 0,45 \text{ м}$.

На шестом интервале $l_6 = 0,5 | V_{\text{ВЫХ}} + V_p | t_6 = 0,5 | 0,3 + 1 | \cdot 0,4 = 0,27 \text{ м}$.

На девятом интервале $l_9 = 0,5 | 0 + V_{\text{ВЫХ}} | t_9 = 0,5 | 0 + 0,3 | \cdot 0,18 = 0,03 \text{ м}$.

На десятом интервале $l_{10} = 0,5 | V_B + 0 | t_{10} = 0,5 | 2,8 + 0 | \cdot 2,45 = 3,43 \text{ м}$.

На двенадцатом интервале $l_{12} = 0,5 | 0 + V_B | t_{12} = 0,5 | 0 + 2,8 | \cdot 1,65 = 2,31 \text{ м}$.

Полный путь перемещения стола в прямом направлении l будет равен

$$l = k_c \cdot l_c + l_1 + l_2 + l_8 + l_9,$$

где l_c – длина стола; $k_c = 0,8 \div 0,9$ – учитывает длину детали.

$$l = 0,8 \cdot 8,5 + 0,005 + 0,02 + 0,02 + 0,03 = 6,81 \text{ м.}$$

По величине l и величинам пути, проходимым столом на интервалах прямого хода, найдем величину пути на пятом интервале l_5 .

$$l_5 = l - (l_1 + l_2 + l_3 + l_4 + l_6 + l_7 + l_8 + l_9)$$

$$l_5 = 6,81 - (0,005 + 0,02 + 0,02 + 0,45 + 0,27 + 0,02 + 0,02 + 0,03) = 5,97 \text{ м.}$$

Аналогично путь на одиннадцатом интервале обратного хода l_{11}

$$l_{11} = l - (l_{10} + l_{12}) = 6,81 - (3,43 + 2,31) = 1,07 \text{ м.}$$

Длительность пятого интервала t_5 равна

$$t_5 = l_5 / V_p = 5,97 / 1 = 5,97 \text{ с.}$$

Длительность одиннадцатого интервала t_{11} равна

$$t_{11} = l_{11} / V_6 = 1,07 / 2,8 = 0,38 \text{ с.}$$

Величина M_9 будет равна

$$M_9 = \sqrt{\frac{M_{\text{дон}}^2 \cdot t_1 + M_1^2 \cdot t_2 + M_2^2 \cdot t_3 + M_{\text{дон}}^2 \cdot t_4 + M_2^2 \cdot t_5 + M_{\text{дон}}^2 \cdot t_6 + M_2^2 \cdot t_7 + M_1^2 \cdot t_8 + M_{\text{дон}}^2 \cdot t_9 + M_{\text{дон}}^2 \cdot t_{10} + M_1^2 \cdot t_{11} + M_{\text{дон}}^2 \cdot t_{12}}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6 + t_7 + t_8 + t_9 + t_{10} + t_{11} + t_{12}}}$$

$$M_9 = \sqrt{\frac{764^2 \cdot 0,1 + 150^2 \cdot 0,21 + 173^2 \cdot 0,31 + 764^2 \cdot 0,82 + 173^2 \cdot 5,97 +}{0,1 + 0,21 + 0,31 + 0,82 + 5,97 + 0,4 + 0,67 + 0,67 +}}$$

$$\sqrt{\frac{+ 764^2 \cdot 0,4 + 173^2 \cdot 0,67 + 150^2 \cdot 0,67 + 764^2 \cdot 0,18 + 764^2 \cdot 2,45 +}{+ 0,18 + 2,45 + 0,38 + 1,65}}$$

$$\sqrt{\frac{150^2 \cdot 0,38 + 764^2 \cdot 1,65}{}} =$$

$$= 279,4 \text{ Н·м}$$

Поскольку $M_9 < M_{\text{ном}}$, выбранный двигатель проходит по нагреву.

Занятие 5. Выбор тиристорного преобразователя

Применение тиристорных преобразователей в электроприводах постоянного тока позволяет повысить быстродействие электропривода, расширить диапазон регулирования скорости до 1000:1 и более, улучшить энергетические показатели электропривода. В частности, к.п.д. системы тиристорный преобразователь - двигатель на 5-7 % выше к.п.д. системы генератор - двигатель. Вместе с тем, тиристорный преобразователь имеет повышенную чувствительность к перегрузкам, а пульсирующий характер

выпрямленного тока увеличивает потери в двигателе и уменьшает его коммутационную способность.

В главном электроприводе продольно-строгального станка для питания якоря двигателя необходимо использовать реверсивный тиристорный преобразователь. Изменение полярности напряжения на зажимах якоря работающего двигателя переводит его в режим торможения противовключением, что обеспечивает минимальное время торможения. После остановки двигатель сразу же начинает разгон в противоположном направлении. Это обеспечивает минимально возможное время реверса и поэтому способствует повышению производительности станка.

Функциональная схема реверсивного тиристорного преобразователя типа АТЕРЗ приведена на рис. 3. Они выпускаются мощностью до 1150 кВт [5]. Преобразователи с номинальным выпрямленным напряжением 460 В подключаются непосредственно к сети с линейным напряжением 380 В, а преобразователи с номинальным выпрямленным напряжением 230 В подключаются к сети 380 В через согласующий трансформатор.

Схема выпрямления преобразователей трехфазная, мостовая полностью управляемая. Реверсивность обеспечивается встречно-параллельным включением двух трехфазных мостовых выпрямителей БТ1 и БТ2 с отдельным управлением каждым выпрямителем. Для этого импульсы управления тиристорами с выхода системы импульсно-фазового управления (СИФУ) подаются на ключ К, который по команде логического переключающего устройства Л в зависимости от необходимого направления вращения двигателя подает импульсы управления на один из выпрямителей.

Система импульсно-фазового управления выполняется по вертикальному принципу с линейным опорным напряжением. Сигнал управления U_y на вход СИФУ подается с выхода полупроводникового усилителя УП, который осуществляет алгебраическое суммирование входных сигналов и усиление результирующего сигнала.

Коррекция динамических характеристик электропривода и ограничение тока перегрузки осуществляется посредством устройств коррекции и токоограничения УКТ.

Защита силовых цепей от токов короткого замыкания осуществляется быстродействующими устройствами токовой защиты УТЗ, а защита тиристоров от перенапряжения - устройством УЗП.

Входным элементом системы управления системы ТП является узел задания УЗ. В нем определяется сигнал ошибки управления $\Delta U = U_3 - U_{oc}$.

Выбор тиристорного преобразователя производится по номинальному выпрямленному напряжению $U_{тп.ном}$ и номинальному выпрямленному току $I_{тп.ном}$. Для двигателей с номинальным напряжением 220 В выбирается преобразователь с номинальным выпрямленным напряжением 230 В. Номинальный выпрямленный ток преобразователя должен быть ближайшим большим по отношению к номинальному току двигателя.

В соответствии с номинальными данными двигателя выбираем по данным [4] преобразователь АТР- 200 / 230-2Р с $U_{тп.ном} = 230$ В и $I_{тп.ном} = 200$ А.

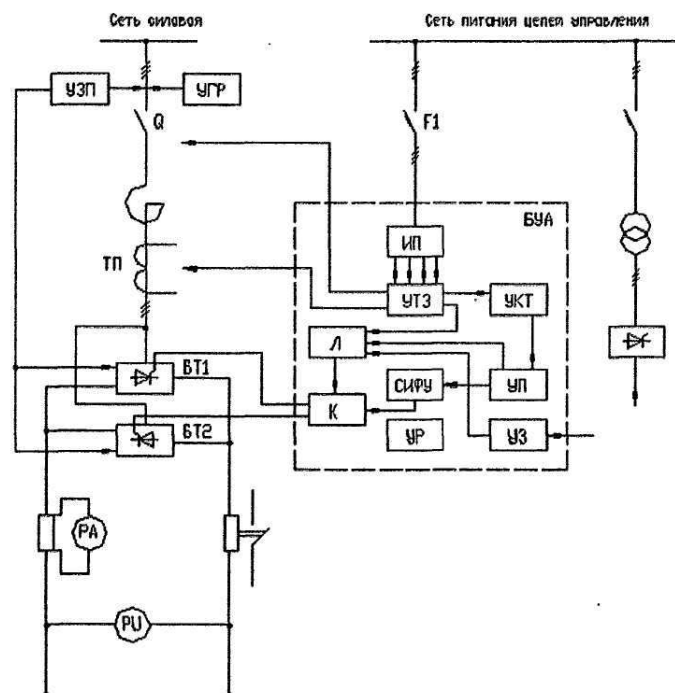


Рис.3. Функциональная схема тиристорного преобразователя

Занятие 6. Выбор сглаживающего реактора, датчика скорости и тока

Влияние пульсаций выпрямленного тока на коммутацию двигателей проявляется в сужении зоны темной коммутации и появлении искрения под щетками на коллекторе. Обеспечение удовлетворительной коммутации особенно важно для реверсивных электроприводов, работающих с частыми пусками, реверсами и торможениями. Для этого цепь выпрямленного тока должна иметь индуктивность L_D , значение которой определяется по формуле [6]:

$$L_D = \frac{U_{dm} \cdot 100}{\omega \cdot P\% \cdot I_{\text{ТП.НОМ}}}$$

где U_{dm} - амплитудное значение первой гармоники выпрямленного напряжения; $U_{dm} = 0,2 \cdot U_{\text{мн.ном}} = 0,2 \cdot 230 = 46$ В; $\omega = 314$ 1/с - круговая частота сети; $P\%$ - допустимая амплитуда первой гармоники тока в процентах. Для электроприводов мощностью меньше 500 кВт $P\% = 2 \div 5$.

Величина L_D равна:

$$L_D = 46 \cdot 100 / (314 \cdot 3 \cdot 200) = 0,024 \text{ Гн.}$$

Зная величину L_D , можно определить индуктивность дополнительного реактора LR в цепи протекания якорного тока $L_{ДР}$;

$$L_{ДР} = L_D - L_{Я}$$

где $L_{Я}$ — индуктивность якоря двигателя.

Величина $L_{Я}$ может быть определена по формуле:

$$L_{Я} = k \cdot \frac{30 \cdot U_{\text{д.ном}}}{\pi \cdot I_{\text{д.ном}} \cdot n_n \cdot p},$$

где $k = 0,5 \div 0,6$ для некомпенсированных машин; $p=2$ - число пар полюсов двигателя. Величина $L_{Я}$ равна:

$$L_{Я} = 0,5 \cdot 30 \cdot 220 / (3,14 \cdot 171 \cdot 1000 \cdot 2) = 0,003 \text{ Гн.}$$

Величина $L_{ДР}$ равна:

$$L_{ДР} = L_D - L_{Я} = 0,024 - 0,003 = 0,021 \text{ Гн.}$$

Выбор датчика скорости. В качестве датчика скорости принимаются специальные машины постоянного тока с независимым возбуждением. Они имеют линейные и однозначные зависимости выходных сигналов от скорости вращения двигателя, а также низкие полюсные и обратные пульсации. Технические данные тахогенераторов приведены в [7]. Выбор тахогенератора производится по номинальной скорости двигателя: номинальная скорость тахогенератора должна быть ближайшей большей по отношению к скорости двигателя.

В соответствии с изложенным выбираем тахогенератор типа ТД-102 с паспортными данными:

номинальная скорость $\omega_{дсн}$ - 157 рад/с;

номинальное напряжение $U_{дсн}$ - 75 В;

номинальное напряжение возбуждения - $U_{вдсн}$ - 110 В;

Выбор датчика тока. В системах подчиненного регулирования датчик тока состоит из измерительного шунта и операционного усилителя [6]. При этом шунт выбирается на 0,075 В, а усилитель имеет фиксированный коэффициент усиления, равный 134. Наилучшая помехозащищенность канала измерения тока обеспечивается в том случае, когда ток шунта $I_{ш}$ равен номинальному току двигателя $I_{д.ном}$.

Занятие 7. Расчёт параметров структурной схемы системы подчинённого регулирования

Структурная схема системы изображена на рис.4 . Каждому элементу функциональной схемы, приведенной на рис.2, поставлена в соответствие передаточная функция одного или нескольких определённым образом включённых элементарных динамических звеньев.

Желаемый переходной процесс для системы подчинённого регулирования, вызванный ступенчатым изменением сигнала задания скорости $U_{зс}$ на её входе,

носит колебательный характер с одним отклонением регулируемой величины (угловой скорости ω) от установившегося значения при котором перерегулирование σ не превышает 5% от установившегося значения - $\sigma \leq 5\%$.

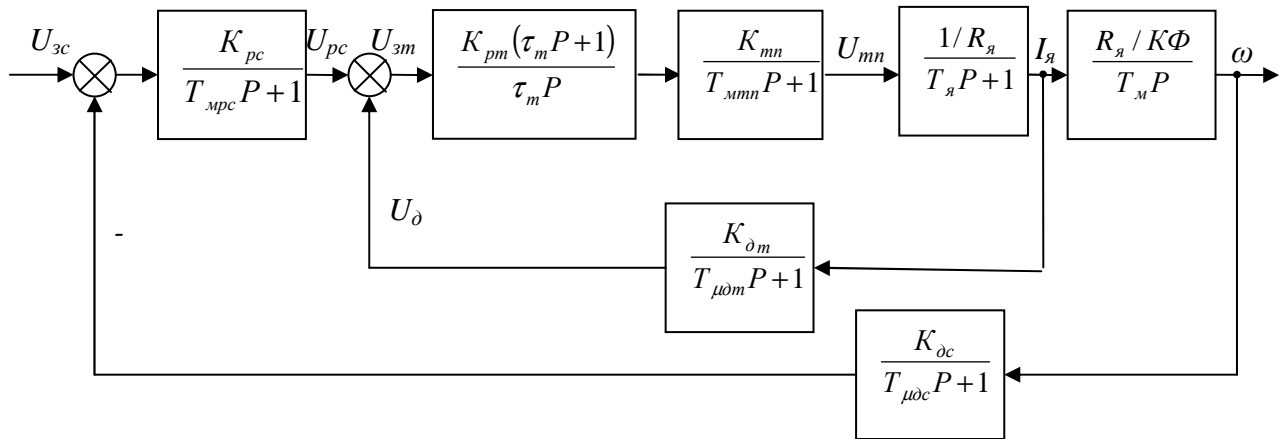


Рис. 4. Структурная схема системы подчиненного регулирования

Решающее влияние на вид переходного процесса оказывает «большое» постоянные времени $T_я$ и $T_м$. Для достижения желаемого вида переходного процесса постоянные времени $T_я$ и $T_м$ необходимо компенсировать. Физическим принципом компенсации «большой» постоянной времени является форсировка. Она осуществляется при регулировании величины с «большой» постоянной времени в замкнутом контуре. Поэтому система подчинённого регулирования, структурная схема которой приведена на рис.4 в соответствии с числом больших постоянных времени содержит два контура регулирования: во внутреннем контуре, где регулируемой величиной является ток якоря $I_я$, осуществляется компенсация $T_я$; во внешнем контуре, где регулируется скорость ω - компенсируется $T_м$.

Оптимизация системы подчиненного регулирования начинается с внутреннего контура. Как следует из рис. 4, в состав объекта управления контура тока входят: якорная цепь двигателя, тиристорный преобразователь и датчик тока якоря.

Электромагнитный переходный процесс в якорной цепи (изменение тока якоря $I_{я}$, вызванное изменением напряжения $U_{тп}$) представлен апериодическим звеном первого порядка с передаточной функцией

$$W(p) = \frac{1/R_{яц}}{T_{я} \cdot p + 1},$$

где $T_{я}$ - электромагнитная постоянная времени, с; $R_{яц}$ - активное сопротивление якорной цепи двигателя при температуре двигателя 75°C , Ом.

Величина $T_{я}$ определяется как отношение определённой выше индуктивности цепи выпрямленного тока $L_{д}$ к $R_{яц}$

$$T_{я} = \frac{L_{д}}{R_{яц}},$$

Активное сопротивление якорной цепи двигателя $R_{яц}$ включает приводимые в каталоге сопротивления обмотки якоря $R_{я}$, компенсационной обмотки $R_{ко}$ и обмотки дополнительных полюсов $R_{дп}$. Если величины $R_{я}$, $R_{ко}$, $R_{дп}$ приводятся для температуры 25°C , то пересчёт к температуре 75°C осуществляется по формуле:

$$R_{яц} = 1,2(R_{я} + R_{ко} + R_{дп})$$

Принятый двигатель не имеет компенсационной обмотки, поэтому

$$R_{яц} = 1,2(R_{я} + R_{дп}) = 1,2 \cdot 0,0666 = 0,08, \text{ Ом}$$

Тогда величина $T_{я} = \frac{L_{д}}{R_{яц}} = \frac{0,024}{0,08} = 0,3 \text{ с}$

Тиристорный преобразователь представлен апериодическим звеном первого порядка с передаточной функцией

$$W(p) = \frac{K_{mn}}{T_{\mu mn} \cdot p + 1},$$

где $K_{mn} = \frac{U_{mn.ном}}{U_y}$, – коэффициент передачи тиристорного преобразователя. Поскольку напряжение управления U_y на входе тиристорного преобразователя изменяется в пределах $0 \div \pm 15 \text{ В}$, имеем

$$K_{mn} = \frac{U_{mn.ном}}{15} = \frac{230}{15} = 15,3$$

Величина постоянной времени фильтра на входе тиристорного преобразователя $T_{\mu mn}$ существенно меньше величины $T_{\text{я}}$. Поэтому $T_{\text{я}}$ называют «большой» постоянной времени, а $T_{\mu mn}$ - «малой». Величина $T_{\mu mn}$ и величина других «малых» постоянных времени контура учитываются при расчёте параметров регулятора тока.

Датчик тока якоря представлен апериодическим звеном первого порядка с передаточной функцией

$$W(p) = \frac{k_{\partial m}}{T_{\mu \partial m} \cdot p + 1},$$

где $k_{\partial m}$ - коэффициент передачи; $T_{\mu \partial m}$ - «малая» постоянная времени фильтра на входе датчика тока, с.

С учётом рассмотренных выше конструктивных особенностей датчика тока и перегрузочной способности двигателя по току, величина $k_{\text{дт}}$ будет равна

$$k_{\partial m} = \frac{134 \cdot 0,075}{2,5 I_{\text{ном}}} = \frac{134 \cdot 0,075}{2,5 \cdot 171} = 0,024 \frac{B}{A}$$

Занятие 8. Оптимизация контура регулирования тока

Для обеспечения форсировки в прямом канале управления контура системы подчиненного управления обязательно присутствие интегрирующего звена. Поэтому регулятор тока выбирается интегро-пропорциональным (ИП) с передаточной функцией

$$W(p) = \frac{k_{pm}(\tau_m \cdot p + 1)}{\tau_m p},$$

где k_{pm} - коэффициент передачи; τ_m - постоянная времени регулятора тока, с.

При наиболее часто применяющей настройке контура тока по модульному оптимуму постоянную времени регулятора тока τ_m принимают равной «большой» постоянной времени $T_{\text{я}}$ - $\tau_m = T_{\text{я}} = 0,3$ с.

Коэффициент передачи регулятора тока рассчитывают по формуле

$$k_{pm} = \frac{T_{\text{я}}}{k_{om} B_{om}},$$

где $k_{om} = \frac{k_{mn} \cdot k_{om}}{R_{яц}} = \frac{15,3 \cdot 0,024}{0,08} = 4,59$, - коэффициент передачи объекта управления контура тока; $B_{om} = 2T_{\mu t}$ - постоянная интегрирования контура тока; $T_{\mu t}$ - некомпенсируемая постоянная времени контура тока.

Для контура тока некомпенсируемая постоянная тока времени $T_{\mu t}$ равна сумме «малых» постоянных времени.

$$T_{\mu t} = T_{\mu tn} + T_{\mu dt} + T_{\mu pt},$$

где $T_{\mu pt}$ - «малая» постоянная времени фильтра на входе регулятора тока. В зависимости от вида элементной базы, на которой построена система подчиненного регулирования, величина $T_{\mu t}$ лежит в пределах $1 \leq T_{\mu t} \leq 10$ мс. При расчетах следует принимать $T_{\mu t}$ в пределах 4÷10мс, так как при меньших значениях помехозащищенность контура тока снижается.

С учетом изложенного, величина коэффициента передачи регулятора тока будет равна

$$k_{pm} = \frac{T_{\text{я}}}{k_{om} B_{om}} = \frac{0,3}{4,59 \cdot 2 \cdot 0,01} = 3,27$$

При таком выборе параметров регулятора тока оптимизированный контур тока является звеном второго порядка с передаточной функцией

$$W(p) = \frac{1 / k_{om}}{2T_{\mu t}^2 \cdot p^2 + T_{\mu t} \cdot p + 1},$$

где $1/k_{om}$ – коэффициент передачи оптимизированного контура тока;

$T_{\mu t}$ – некомпенсируемая постоянная времени контура тока, с.

Коэффициент демпфирования звена $\xi=0,707$ и поэтому перерегулирование тока при ступенчатом изменении сигнала задания на входе контура тока не превысит 5%.

Занятие 9. Оптимизация контура регулирования скорости

В состав объекта управления контура скорости входят: механическая часть электропривода, оптимизированный контур тока и датчик скорости.

Электромеханический переходный процесс (изменение угловой скорости двигателя ω вызванное изменением тока якоря I_a) представлен интегрирующим звеном с передаточной функцией

$$W(p) = \frac{R_{яц} / k\Phi}{T_m \cdot p},$$

где T_m - электромеханическая постоянная времени, с; k - конструктивный коэффициент; Φ - магнитный поток двигателя, Вб.

Величина T_m определяется по формуле

$$T_m = \frac{J \cdot R_{яц}}{(k \cdot \Phi)^2},$$

где J - приведенный момент инерции механической части электропривода, величина которого определена ранее.

Величина $k\Phi$ может быть определена по уравнению электромеханической характеристики при подстановке в него номинальных данных двигателя.

$$k \cdot \Phi = \frac{(U_{\text{ном}} - I_{\text{яном}} R_{яц})}{\omega_n} = \frac{220 - 171 \cdot 0,08}{1047} = 1,97 \quad \text{В*с/рад}$$

$$\text{Тогда величина } T_m = \frac{J \cdot R_{яц}}{(k \cdot \Phi)^2} = \frac{14,9 \cdot 0,08}{1,97^2} = 0,31 \text{ с.}$$

Передаточная функция датчика скорости представлена апериодическим звеном первого порядка с передаточной функцией.

$$W(p) = \frac{k_{\partial c}}{T_{\mu \partial c} \cdot p + 1},$$

где $k_{\partial c}$ - коэффициент передачи; $T_{\mu \partial c}$ - «малая» постоянная времени фильтра на его выходе, с.

Как отмечалось ранее, статические характеристики датчиков скорости (тахогенераторов) линейны и однозначны. Поэтому величина $k_{\partial c}$ определяется как отношение номинального напряжения тахогенератора $U_{\partial cн}$ к номинальной скорости $\omega_{\partial cн}$

$$k_{\partial c} = \frac{U_{\partial cн}}{\omega_{\partial cн}} = \frac{75}{157} = 0,48 \text{ В*с/рад}$$

В прямом канале контура регулирования скорости имеется интегрирующее звено в составе объекта управления. Поэтому можно применять как пропорциональный, так и интегрально-пропорциональный регулятор скорости. В первом случае система регулирования скорости будет статической, а во втором – астатической.

Требования к точности поддержания заданного значения скорости главного электропривода продольно-строгального станка не очень жестки, т.к. статизм $S_x \leq 5\%$. Поэтому можно применить пропорциональный регулятор скорости с передаточной функцией

$$W(p) = \frac{k_{pc}}{T_{\mu pc} \cdot p + 1},$$

где k_{pc} – коэффициент передачи регулятора скорости;

$T_{\mu pc}$ – «малая» постоянная времени фильтра на входе регулятора скорости.

Оптимальной настройке контура скорости с пропорциональным регулятором соответствует

$$k_{pc} = \frac{T_m}{K_{oc} \cdot B_{oc}},$$

$$\text{где } k_{oc} = \frac{1/k_{\partial m} \cdot k_{\partial c} \cdot R_{яц}}{k \cdot \Phi} = \frac{417 \cdot 0,48 \cdot 0,08}{1,97} = 0,81 \quad - \quad \text{коэффициент передачи}$$

объекта управления контура скорости;

$B_{oc} = 2T_{\mu c}$ - постоянная интегрирования контура регулирования скорости;

$T_{\mu c}$ - некомпенсируемая постоянная времени контура скорости.

Величины $T_{\mu c} = 2T_{\mu m} + T_{\mu \partial c}$, где $T_{\mu \partial c} = 10-12$ мс – «малая» постоянная времени фильтра на входе датчика скорости.

С учетом изложенного величина коэффициента передачи регулятора скорости будет равна

$$k_{pc} = \frac{T_m}{K_{oc} \cdot B_{oc}} = \frac{0,31}{0,81 \cdot 2 \cdot (2 \cdot 0,01 + 0,01)} = 6,38$$

Передаточная функция оптимизированного контура скорости имеет вид передаточной функции звена второго порядка

$$W(p) = \frac{1/k_{\partial c}}{2T_{\mu c}^2 \cdot p^2 + T_{\mu c} \cdot p + 1}$$

Как и для контура регулирования тока, коэффициент демпфирования звена $\xi=0,707$. Поэтому перерегулирование скорости при ступенчатом изменении сигнала задания на входе контура скорости не превысит 5%.

Занятие 10. Определение показателей качества замкнутой системы

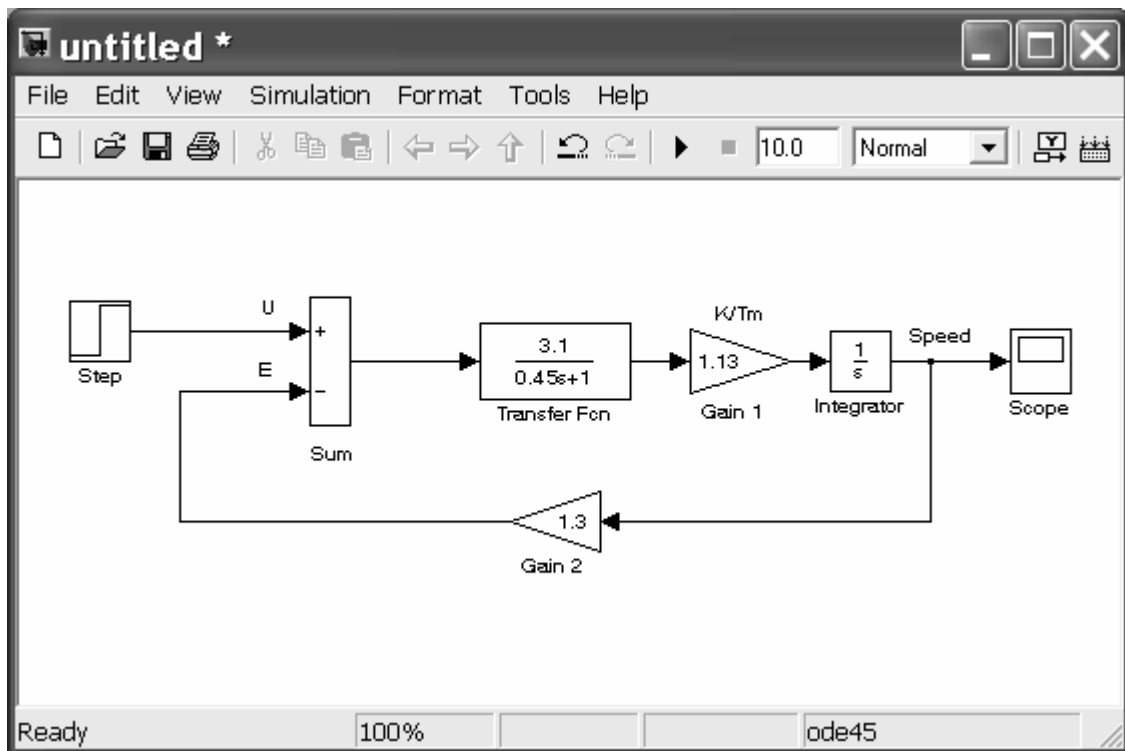
Показатели качества системы могут быть определены по ее переходной характеристике $h(t)$, которая представляет собой реакцию системы на единичное ступенчатое воздействие $I(t)$ при нулевых начальных условиях.

Оригинал переходной характеристики $h(t)$ можно определить по передаточной функции системы с помощью теоремы разложения [7].

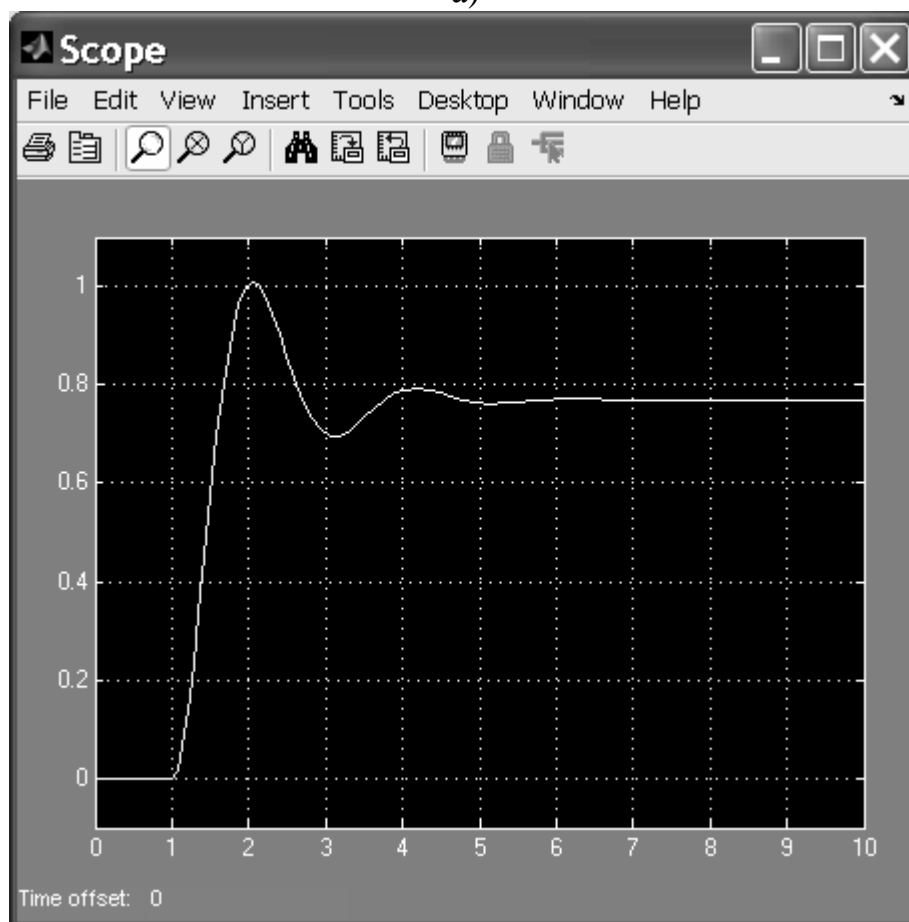
Однако в настоящее время более рациональным подходом является использование компьютерного моделирования на основе существующих

прикладных пакетов, в которые уже заложен некоторый набор готовых и апробированных алгоритмов. Современные версии всех этих пакетов позволяют осуществлять численное моделирование систем и процессов управления в них на достаточно высоком уровне с использованием широкого спектра средств визуального представления результатов. Наиболее приспособленным для решения конкретных инженерных задач в области электромеханики является пакет MATLAB с широко развитыми дополнениями (TOOLBOXES), из которых TOOLBOXES SIMULINK наиболее приспособлен для анализа электромеханических систем [10].

Объектом управления в проектируемой системе является электропривод с двигателем постоянного тока независимого возбуждения при управлении двигателем со стороны якоря. Модель электропривода, соответствующая структурной схеме на рис. 3, приведена на рис. 5а. Блок (Transfer Fcn) моделирует электромагнитный переходный процесс с коэффициентом передачи $1/R_{яц}$ и постоянной времени $T_{я}$. Блоки (Gain 1, Integrator) моделируют электромеханический переходный процесс. Коэффициент передачи блока (Gain 1) определяется как результат деления коэффициента передачи интегрирующего звена $R_{яц}/k\Phi$ на электромеханическую постоянную времени $T_{м}$. Блоки (Gain 2, Sum) моделируют внутреннюю обратную связь по э.д.с. (E) вращения двигателя. Коэффициент передачи блока (Gain 2) равен $k\Phi$.



а)



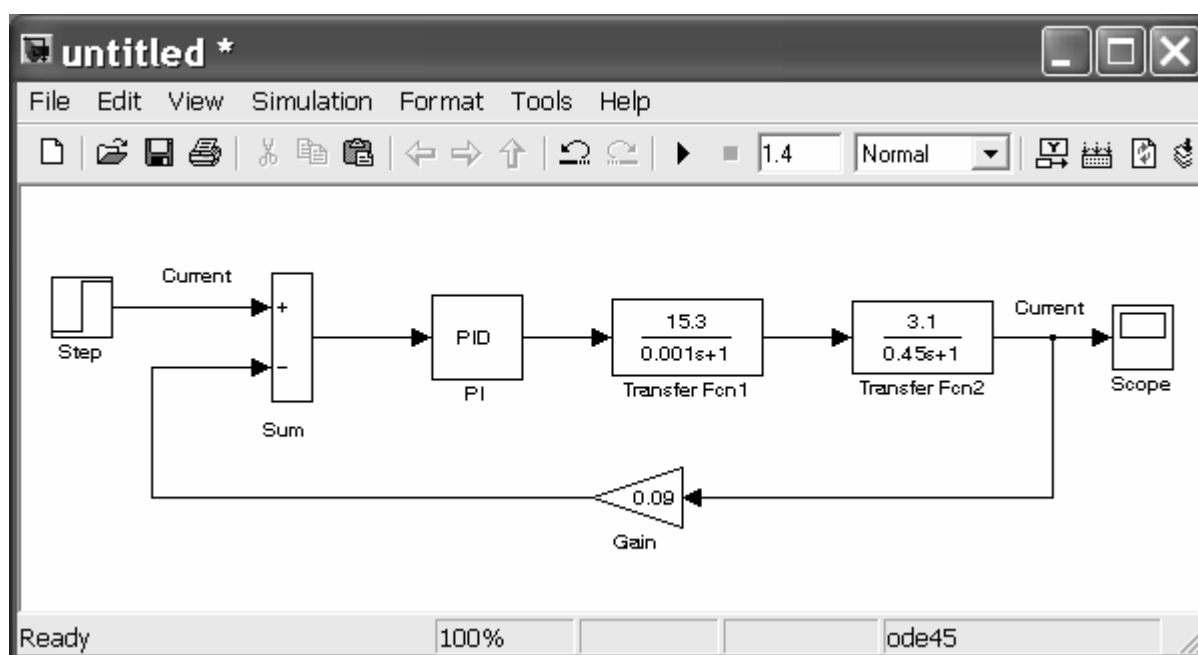
б)

Рис. 5. Модель (а) и результаты моделирования (б) электропривода с двигателем постоянного тока независимого возбуждения при управлении двигателем со стороны якоря.

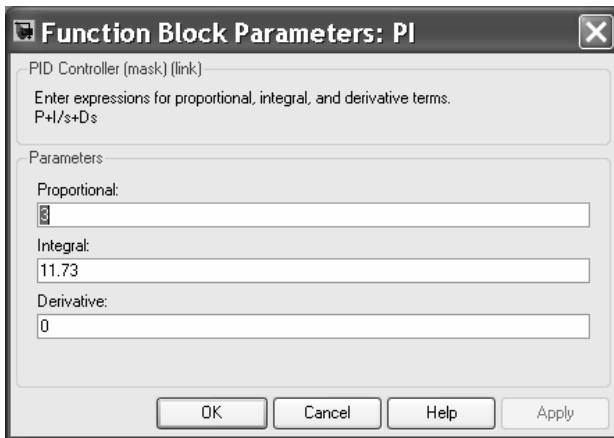
Результаты моделирования приведены на рис. 5б. Полученная переходная характеристика объекта управления позволяет определить показатели качества – время регулирования t_p , количество отклонений выходной величины от установившегося значения за время регулирования n и перерегулирования σ . Полученные значения необходимо сравнить с оптимальными показателями качества – одно отклонение от установившегося значения с перерегулированием $\sigma \leq 5\%$.

Моделирование СПР, как и расчет оптимальных значений настроек регуляторов контуров, как и настройка реальной СПР, начинается с внутреннего контура – контура регулирования тока якоря двигателя.

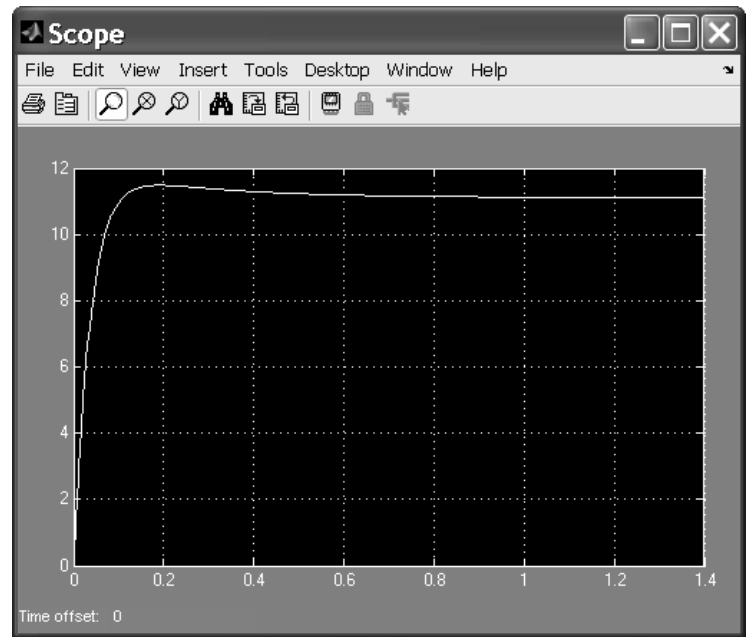
Модель контура тока приведена на рис. 6а. Блок (Transfer Fcn1) моделирует тиристорный преобразователь, а блок (Transfer Fcn2) – электромагнитный переходный процесс. Блок (Gain) моделирует обратную связь по току якоря с коэффициентом передачи K_{dm} . Пропорционально-интегральный регулятор тока моделируется с помощью блока (PID) – ПИД – регулятора, входящего в состав дополнительной библиотеки Simulink Extras. Окно настройки регулятора приведено на рис. 6б.



а)



б)



в)

Рис. 6. Модель (а), окно настройки PID регулятора (б) и результаты моделирования (в) контура регулирования тока якоря двигателя.

Передаточная функция ПИ-регулятора тока представлена выражением (29). После деления числителя и знаменателя передаточной функции на κ_{pm} она может быть преобразована к виду:

$$W_{pm}(p) = \frac{\kappa_{pm}(\tau_m p + 1)}{\tau_m p} = \frac{\tau_m p + 1}{(\tau_m / \kappa_{pm}) p} = \frac{\tau_m}{\tau_m / \kappa_{pm}} + \frac{1}{(\tau_m / \kappa_{pm}) p} = \kappa_n + \frac{\kappa_u}{p}, \quad (42)$$

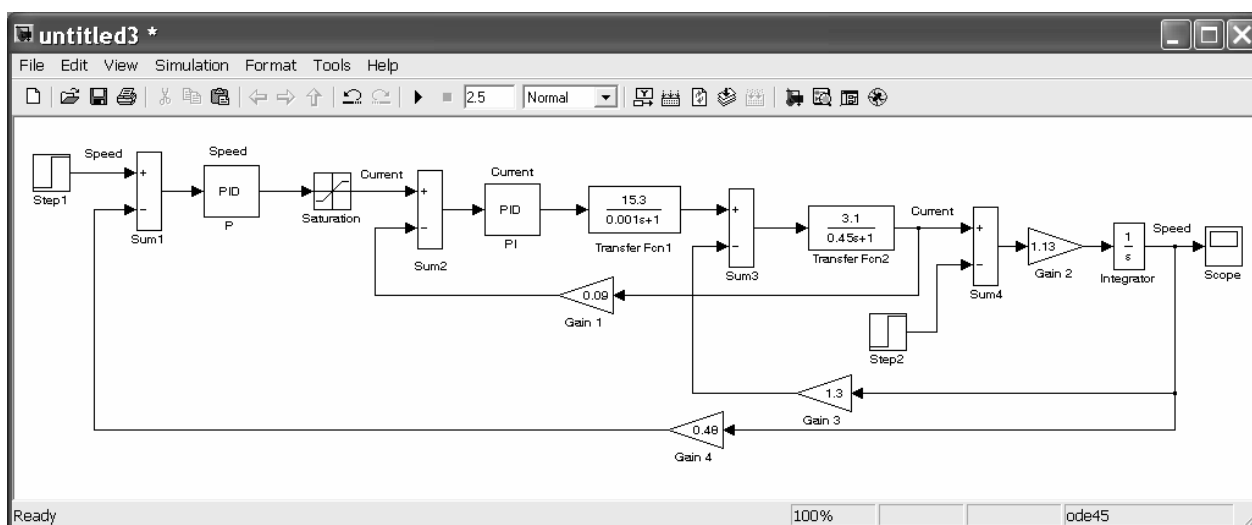
где $\kappa_n = \frac{\tau_m}{\tau_m / \kappa_{pm}}$ - коэффициент передачи пропорциональной части

регулятора тока; $\kappa_u = \frac{1}{\tau_m / \kappa_{pm}}$ - коэффициент передачи интегральной части.

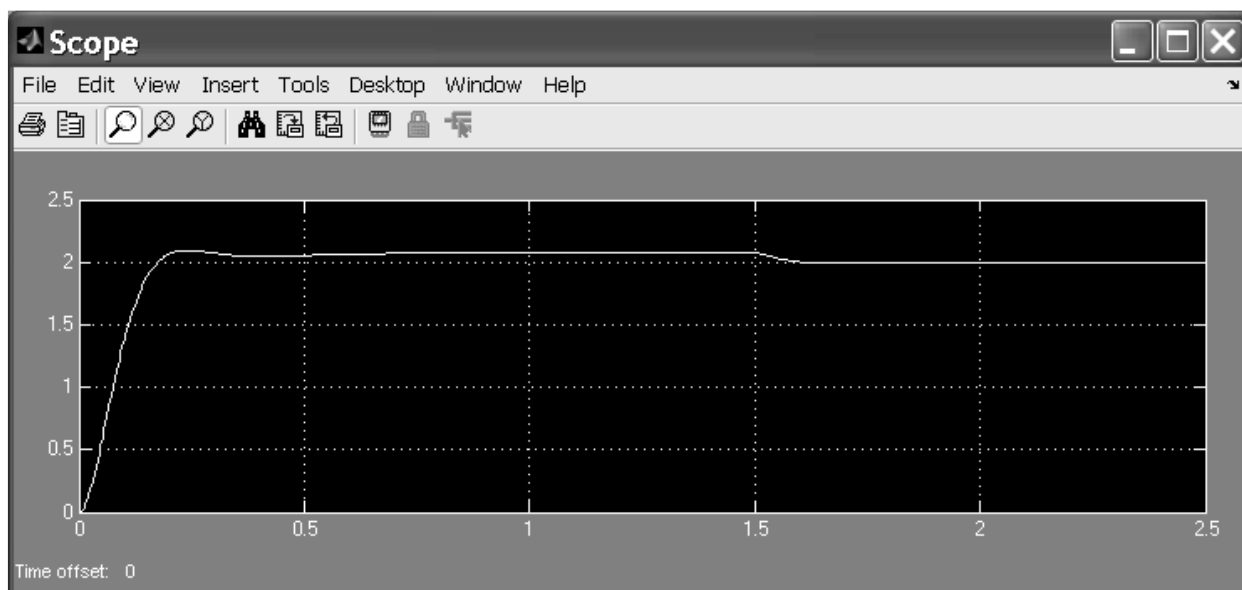
Коэффициент передачи дифференциальной части в окне настройки ПИД – регулятора (Derivative) принимается равным нулю.

Результаты моделирования контура регулирования тока приведены на рис. 6в. Поскольку уравнение (31) для определения оптимального значения k_{pm} получено без учета внутренней обратной связи по э.д.с. вращения двигателя, показатели качества переходной характеристики могут несколько отличаться от оптимальных. Для получения $\sigma \leq 5\%$ необходимо изменить величину k_{pm} .

Модель контура регулирования скорости приведена на рис. 7а. В ней оптимизированный контур регулирования тока входит в состав объекта управления как звено с малой, некомпенсируемой постоянной времени $T_{\mu t}$. Он представлен блоками (Transfer Fcn1, Transfer Fcn2, Sum2, Sum3, Gain1, Gain3, PI). Сигналом задания для контура регулирования тока является выходной сигнал регулятора скорости. На вход «+» блока (Sum2) он подается через нелинейный блок (Saturation) – усилитель с ограничением. Величина выходного сигнала при положительном и отрицательном входном сигнале устанавливается в окне настройки блока. Рекомендуется принимать ее равной 10. Использование блока (Saturation) позволяет реализовать еще одну важную особенность СПР – простыми средствами осуществлять ограничение любой из координат системы: действительное значение тока на выходе контура в установившемся режиме не может быть больше заданного.



а)



б)

Рис.7. Модель (а) и результаты моделирования (б) контура регулирования скорости двигателя.

Электромеханический переходный процесс моделируется блоками (Gain2, Integrator). Применение блоков (Sum4, Step2) позволяет моделировать реакцию системы на изменение возмущающего воздействия (момента сопротивления). Блок (Gain4) моделирует обратную связь по скорости двигателя с коэффициентом передачи k_{dc} .

Регулятор скорости моделируется блоком (P). В соответствии с правилами оптимизации контуров СПР применен П-регулятор, т.к. в состав объекта управления контура скорости входит интегрирующее звено. Коэффициент передачи пропорциональной части ПИД – регулятора, устанавливаемый в окне настройки регулятора, определяется по формуле (37). Коэффициенты передачи интегральной и дифференциальной частей принимаются равными нулю.

Результаты моделирования контура регулирования скорости приведены на рис. 7а. Как и для контура регулирования тока, показатели качества могут отличаться от оптимальных. Для получения $\sigma \leq 5\%$ необходимо изменить

величину коэффициента передачи пропорциональной части регулятора скорости κ_{pc} .

По истечении 1,5 с появляется сигнал на выходе блока (Step2). Новое значение регулируемой величины, устанавливающееся по окончании переходного процесса, меньше предыдущего на величину $\Delta\omega_c$, определяемую по формуле (41). Это означает, что по возмущению контур регулирования скорости является статическим. Если такая характеристика не удовлетворяет требованиям, то следует применить ПИ – регулятор скорости с передаточной функцией

$$W_{pc}(p) = \frac{\kappa_{pc}(\tau_c p + 1)}{\tau_c p},$$

где κ_{pc} – коэффициент передачи регулятора скорости, величина которого определяется по формуле (37); τ_c – постоянная времени регулятора скорости, равная $\tau_c = 4T_{\mu c}$.

После преобразований, аналогичных выполненным для регулятора тока, уравнение для определения коэффициента передачи пропорциональной части регулятора скорости будет иметь вид:

$$\kappa_p = \frac{\tau_c}{\tau_c / \kappa_{pc}},$$

Для интегральной части:

$$\kappa_u = \frac{1}{\tau_c / \kappa_{pc}},$$

После установки полученных значений в окне настройки PID регулятора скорости, повторить моделирование контура регулирования скорости. Результаты моделирования проанализировать и пояснить, воспользовавшись определением передаточной функции по ошибке регулирования.

ИСТОЧНИКИ

1. Методичні вказівки до розрахунково-графічної роботи «Головний електропривод стругального верстата» (для студентів 4 курсу всіх форм навчання спеціальності 6.090603 – «Електротехнічні системи електроспоживання»). Укладачі: Гаряжа В.М., Фатєєв В.М. – Харків: ХНАМГ – 2007. – 26 стор.
2. Капунцов Ю.Д., Елисеєв В. А., Ильяшенко А. А. Электрооборудование и электропривод промышленных установок. - М.: Высшая школа, 1979.
3. Зимин Е.Н., Яковлев В.И. Автоматическое управление электроприводом. - М.: Высшая школа, 1979. -318 с.
4. Вешеневский С.Н. Характеристики двигателей в электроприводе. - М.: Энергия, 1967.
5. Справочник по преобразовательной технике. Под ред. чл. Кор. АНУССР И.М. Чиженко. Киев: Техника, 1978.
6. Гарнов В.К., Рабинович В.Б., Вишневецкий Л.М. Унифицированные системы управления электроприводом в металлургии. - М: Металлургия, 1971. - 216 с.
7. Справочник по автоматизированному электроприводу. Под редакцией В.А. Елисеева, А.В. Шинянского. - М.: Энергоатомиздат, 1983. - 616 с.

НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

Методичні вказівки

до практичних занять по дисципліні

«ПРОЕКТУВАННЯ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ ПРИСТРОЇВ ТА СИСТЕМ»

*(для студентів 4 курсу всіх форм навчання
за напрямом підготовки 6.050702 «Електромеханіка»
спеціальності «Електромеханічні системи автоматизації та електропривод»)*

(Рос. мовою)

Укладач **ФАТЕЄВ Віктор Миколайович**

Відповідальний за випуск *В. Х. Далека*

Редактор *З. М. Зайцева*

Комп'ютерна верстка *І. В. Волосожарова*

План 2010, поз. 202М

Підп. до друку 12.05.2011

Формат 60x84/16

Друк на ризографі

Ум. друк. арк. 1,6

Тираж 50 пр.

Зам. №

Видавець і виготовлювач:

Харківська національна академія міського господарства,
вул. Революції, 12, Харків, 61002

Електронна адреса: rectorat@ksame.kharkov.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 4064 від 12. 05. 2011 р.