

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПЕТРА ВЕЛИКОГО

Институт металлургии, машиностроения и транспорта

Кафедра «Технологические процессы и оборудование автоматизированных
машиностроительных производств»

Допускаю к защите

И.О. Зав.кафедрой _____ А.В. Приемшев

«_____» _____ 2015 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема: РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ
МОЩНОСТИ РЕЗАНИЯ

Направление: 15.03.04 «АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ»

Профиль: 15.03.04_01 «Автоматизация технологических процессов и
производств»

Выполнил
студент группы 343329/2

А. Н. Жилин

Руководитель
к.т.н., доцент

А. Е. Епишкин

Рецензент
Исполнительный директор ЗАО "НПП "ЭПРО"
к.т.н., доц.

В. А. Шаряков

Санкт-Петербург
2015 г.

СОДЕРЖАНИЕ

Аннотация.....	3
Список используемых сокращений	4
Введение.....	5
1. Объект управления	
1.1. Привод главного движения станка	8
1.1.1. Построение функциональной схемы	8
1.1.2. Составление передаточных функций звеньев СЭП.....	9
1.1.3. Построение структурной динамической схемы и синтез регуляторов...10	
1.1.4. Моделирование динамики СЭП.....	13
1.2. Привод подачи станка	16
1.2.1. Построение функциональной схемы	16
1.2.2. Составление передаточных функций звеньев СЭП.....	17
1.2.3. Построение структурной динамической схемы и синтез регуляторов...18	
1.2.4. Моделирование динамики СЭП.....	20
2. Разработка и исследование системы стабилизации мощности резания	
2.1. Построение взаимосвязанной системы стабилизации мощности резания ..24	
2.2. Структурная динамическая модель взаимосвязанной СЭП и оптимизация контура мощности резания	26
2.3. Исследование динамики СЭП при вариации момента сопротивления главного привода	29
Заключение	34
Список используемой литературы	40

АННОТАЦИЯ

Жилин Алексей Николаевич

группа з43329/2

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ МОЩНОСТИ РЕЗАНИЯ КАРУСЕЛЬНОГО СТАНКА

DEVELOPMENT OF AUTOMATIC STABILIZATION SYSTEM CUTTING POWER OF A ROTARY MACHINE

В работе проведен синтез системы стабилизации мощности резания карусельного станка, состоящей из приводов главного движения и подачи на двигателях постоянного тока. Оба привода, представляющие собой системы автоматического регулирования скорости предварительно настроены. Выполнен расчет системы стабилизации. Проведено имитационное моделирование работы системы стабилизации с приводами станка.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ СОКРАЩЕНИЙ

АРФ – активный режекторный фильтр

Д – двигатель

ЗС – задатчик скорости

ЛЧХ – логарифмическая частотная характеристика

ОМ – оптимум по модулю (настройка контура регулирования)

2П, 4П – серии электродвигателей постоянного тока

ПБВ – электродвигатель постоянного тока, безобдужный, высокомоментный

ПГТ – электродвигатель постоянного тока, с гладким якорем и встроенным тахогенератором

ПИ – пропорционально-интегральный (закон управления)

ПК – персональный компьютер

РС – регулятор скорости

РТ – регулятор тока

СО – симметричный оптимум (настройка контура регулирования)

САР – система автоматического регулирования

САУ – система автоматического управления

ССМР – система стабилизации мощности резания

СЭП – систем электропривода

ТП, ТрП – тиристорный и транзисторный преобразователи

УБСР-АИ – универсальная блочная система регуляторов аналогового исполнения

ЧПУ – числовое программное управление

ШИМ – широтно-импульсная модуляция

ЭДС – электродвижущая сила

ВВЕДЕНИЕ

Проектирование является важным этапом при разработке автоматизированных систем электропривода (СЭП). Качество проектирования в значительной степени определяет качество функционирования СЭП. Современные системы электропривода характеризуется широким внедрением силовой полупроводниковой техники и микроэлектроники. Применение унифицированных СЭП, силовых тиристорных и транзисторных преобразователей требует хорошего знания протекающих в них физических процессов, статических и динамических характеристик, методов выбора и расчета электроприводов (ЭП) постоянного и переменного тока.

Электропривод в настоящее время имеет большое значение в машиностроении других видах промышленности, как основное звено автоматизации. Особенно огромна его роль в станкостроении, так как конструктивно это один из основных компонентов металлорежущего станка. Качественный выбор и расчет элементов, а так же исследование динамики СЭП приводит к значительному улучшению работы всего станка.

Целью данного дипломного проекта является разработка автоматической системы стабилизации мощности резания карусельного станка. Эта система состоит из двух локальных приводов, главного движения и подачи.

Разработка проекта состоит из следующих этапов работы:

- 1) Составление передаточных функций и моделирование динамики заданных локальных СЭП
- 2) Построение взаимосвязанной системы стабилизации мощности резания
- 3) Построение структурной динамической модель взаимосвязанной СЭП и оптимизация контура мощности резания
- 4) Исследование динамики СЭП при вариации момента сопротивления главного привода

Карусельные станки являются пятым типом станков токарной группы (модели 1Д502, 1Б502, 1508, 1512 и др.) [5]. Размеры карусельных станков характеризуются диаметром стола (планшайбы), вращающегося относительно вертикальной оси. Этот тип станков имеет одинаковое назначение: токарную обработку заготовок с большим диаметром и малой длиной (маховики, диски и др.). Станки предназначены для черновой и чистовой обработки. На карусельных станках обрабатывают наиболее ответственные корпусные детали, без ограничения массы и диаметром до десятков метров. Различают карусельные станки одностоечные и двухстоечные (портального типа). Последние предназначены для обработки заготовок диаметром более 1000 мм. Характеризующим внешним признаком карусельных станков является вращающийся относительно вертикальной оси стол (планшайба, карусель) с заготовкой. Станки применяют в единичном и серийном производстве для обработки крупногабаритных литых и сварных заготовок, которые неудобно обрабатывать на обычных токарных станках.

Основные узлы и рабочие движения карусельного станка [5]. Несущая система двухстоечного токарно-карусельного станка состоит из основания стола (карусели), двух стоек и поперечины, образующих портал. На основании имеются кольцевые направляющие для вращения стола (карусели) с необходимой скоростью резания на заданном диаметре заготовки. По направляющим стоек перемещается траверса для установки на необходимой высоте двух суппортов: револьверного с револьверной головкой и вертикального с резцедержателем. Револьверный суппорт позволяет устанавливать режущие инструменты на каждой из пяти граней револьверной головки. Головка может поворачиваться на $1/5$ окружности относительно горизонтальной оси, суппорт — перемещаться горизонтально по траверсе (s_T) с помощью винта и вертикально или наклонно (s_p) по собственным направляющим. Вертикальный суппорт также передвигается горизонтально по траверсе (s_T) и вертикально или наклонно по собственным направляющим (s_b). Кроме упомянутых, имеется еще и боковой

суппорт, перемещающийся по стойке (s_B) горизонтально (s_T). Главным движением является вращение планшайбы с заготовкой.

При использовании тиристорного преобразователя в составе главного движения в место многоступенчатой коробки скоростей (как до применения Систем автоматического управления скоростью вращения двигателя, а значит и планшайбы) входят двух и трех ступенчатый редуктор и регулируемый двигатель постоянного тока типа 2П, 4П, обеспечивающий плавное регулирование частот вращения планшайбы в достаточно широком диапазоне. В качестве привода подачи можно использовать двигатели постоянного тока типа ПБВ и ПГТ, а преобразователь – транзисторный.

Система стабилизации мощности резания (ССМР) необходима для поддержания мощности на заданном уровне при вариации параметров режима резания. Режим резания характеризуется значениями глубины резания, подачи, скорости резания, твердости материала. ССМР может применяться для крупных и уникальных станков, работающих в режимах близких к номинальным.

1. ОБЪЕКТ УПРАВЛЕНИЯ

1.1. Привод главного движения станка

1.1.1. Построение функциональной схемы

Функциональная схема системы электропривода (СЭП) позволяет определить основные функциональные связи между звеньями системы. Функциональная схема для привода главного движения представлена на рис. 1.1.

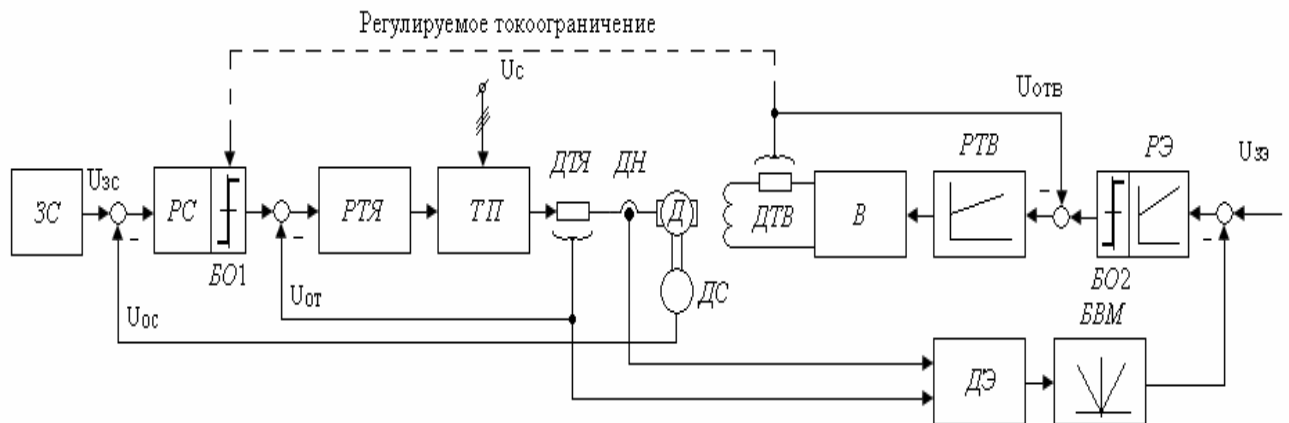


Рис. 1.1. Функциональная схема СЭП главного движения

- ЗС - задатчик скорости;
- РС - регулятор скорости;
- РТЯ - регулятор тока якоря;
- ТП - тиристорный преобразователь;
- ДТЯ - датчик тока якоря;
- ДС - датчик скорости;
- ДН – датчик напряжения;
- Д – электродвигатель;
- БО1, БО2 – блоки ограничения;

БВМ – блок выделения модуля;

РЭ – регулятор ЭДС;

ДЭ – датчик ЭДС;

В – возбудитель;

$U_{зс}$ - напряжение задания скорости;

$U_{ос}$ - напряжение обратной связи по скорости;

$U_{от}$ - напряжение обратной связи по току якоря;

U_c - напряжение питающей сети;

$U_{отв}$ - напряжение обратной связи по току возбуждения.

1.1.2. Составление передаточных функций звеньев СЭП

Построенная выше функциональная схема САУ дает возможность выделить отдельные динамические звенья САУ 1-го и 2-го порядка. Для каждого динамического звена необходимо составить его передаточную функцию и структурную схему.

Тиристорный преобразователь вместе с системой управления (СУТП) и фильтром для сглаживания пульсаций входных сигналов в первом приближении может быть представлен аperiodическим звеном с передаточной функцией [1, 3]:

$$W_{ТП}(p) = \frac{K_{ТП}}{T_{ТП} \cdot p + 1} = \frac{63,6}{0,00467 \cdot p + 1},$$

где $T_{ТП}$ – постоянная времени ТП, $T_{ТП} = T_{\phi} + t_{ТП}$ (T_{ϕ} – постоянная времени фильтра), обычно $T_{\phi} = 0,003..0,005$ с, выбираю $T_{\phi} = 0,003$; $t_{ТП}$ – время запаздывания силовой части ТП, $t_{ТП} = \frac{1}{2 \cdot m \cdot f}$

$$t_{ТП} = \frac{1}{2 \cdot 6 \cdot 50} = 0,00167$$

$$T_{ТП} = 0,003 + 0,00167 = 0,00467 \text{ с}$$

Датчики скорости и тока при наличии фильтров на выходе следует считать аperiodическими звеньями с передаточной функцией:

$$W_{oc}(p) = \frac{K_{oc}}{T_{dc} \cdot p + 1} = \frac{0,096}{0,01 \cdot p + 1}$$

$$W_{ot}(p) = \frac{K_{ot}}{T_{dt} \cdot p + 1} = \frac{0,0175}{0,003 \cdot p + 1},$$

Постоянные времени выбраны $T_{dc} = 0,01$, $T_{dt} = 0,003$

Передаточная функция ДПТ с учетом упругости механической части ЭП:

$$W_1(p) = \frac{K_d \cdot R_{яц}}{T_{эм} \cdot p} \cdot \frac{T_2^2 \cdot p^2 + 2 \cdot x_2 \cdot T_2 \cdot p + 1}{T_1^2 \cdot p^2 + 2 \cdot x_1 \cdot T_1 \cdot p + 1} = \frac{0,026}{0,152 \cdot p} \cdot \frac{0,000625 \cdot p^2 + 0,0025 \cdot p + 1}{0,00015625 \cdot p^2 + 0,0025 \cdot p + 1}$$

где $T_1 = \frac{1}{w_y} = \frac{1}{80} = 0,0125$ с – постоянная времени, определяющий упругий

резонанс на частоте w_y ;

$$T_2 = \frac{T_1}{\sqrt{q}} = \frac{0,0125}{\sqrt{0,25}} = 0,025 - \text{постоянная времени характеризующая "провал" в}$$

ЛАХ объекта на частоте $w_y \cdot \sqrt{q} = 40$

$$q = \frac{J_d}{J_\Sigma} = \frac{J_d}{J_d + J_M} = \frac{5,9}{23,6} = 0,25 - \text{коэффициент соотношения инерционных}$$

масс;

$$x_1 = x_y = 0,1 \text{ и } x_2 = x_1 \cdot \sqrt{q} = 0,05 - \text{коэффициенты демпфирования упругих}$$

звеньев.

Передаточная функция механической части ЭП приведенной к валу двигателя:

$$W_2(p) = \frac{1}{T_2^2 \cdot p^2 + 2 \cdot x_2 \cdot T_2 \cdot p + 1} = \frac{1}{0,000625 \cdot p^2 + 0,0025 \cdot p + 1}$$

1.1.3. Построение структурной динамической схемы и синтез регуляторов

На основании разработанной функциональной схемы и передаточных функций звеньев СЭП необходимо построить структурную динамическую схему (ДСС) системы, обозначив на ней соответствующие функциональные звенья и переменные (регулируемые) параметры.

Для определения настроек регуляторов следует преобразовать исходную структурную схему САУ. В ряде случаев можно пренебречь внутренней отрицательной обратной связью по ЭДС двигателя.

В системах подчиненного регулирования оптимизация контуров выполняется в соответствии со стандартными настройками с учетом режима работы СЭП и соотношения параметров объекта управления.

В САУ скорости контур тока чаще всего настраивается на оптимум по модулю (ОМ), поскольку такая настройка дает хорошие переходные процессы по задающему воздействию, а контур скорости на симметричный оптимум (СО) т.к. СО дает хорошие переходные процессы по возмущению, а в контуре скорости возмущающие воздействия составляют 100%. При этом параметры ПИ-регулятора тока определяются формулами [1, 3]:

$$b_2 = \left[\frac{T_{я}}{2 \cdot T_{\Sigma 2} \cdot K_{02}} \right] = \frac{T_{я}}{2T_{\Sigma 2} \cdot \frac{k_{ПИ} \cdot k_{ОР}}{R_{яц}}}$$

$T_{\Sigma 2} = T_{ПИ} + T_{дт} = 0,00467 + 0,003 = 0,00767$ – суммарная малая постоянная времени контура тока.

$$\tau_2 = T_{я} = 0,0292 \text{ с}$$

$$b_2 = \frac{0,0292}{2 \cdot 0,00767 \cdot \frac{63,6 \cdot 0,0175}{0,108}} = 0,185$$

Передаточные функции разомкнутого и замкнутого контура тока соответственно будут

$$W_{p2}(P) \approx \frac{1}{2T_{\Sigma 2} p (T_{\Sigma 2} p + 1)};$$

$$W_{32}(P) \approx \frac{T_{дт} p + 1}{k_{ОР} (2T_{\Sigma 2}^2 p^2 + 2T_{\Sigma 2} p + 1)} = \frac{0,003 p + 1}{0,0175 \cdot (0,000118 \cdot p^2 + 0,01534 \cdot p + 1)}$$

В СЭП с упругой передачей контур скорости настраивается в зависимости от соотношения механических параметров. При $q < 0,5$ параметры ПИ-регулятора скорости при настройке на симметричный оптимум выбирают по формулам (вторая ступень оптимизации СЭП с упругостью) [1, 3, 5,]:

$$b_1 = \frac{K_{OT} \cdot T_{ЭМ} \cdot w_y \cdot \sqrt{q}}{2 \cdot K_{OC} \cdot K_D \cdot R_{ЯЦ}} = \frac{0,0175 \cdot 0,152 \cdot 80 \cdot \sqrt{0,25}}{2 \cdot 0,096 \cdot 0,24 \cdot 0,108} = 21,34$$

$$t_1 = \frac{4}{w_y \cdot \sqrt{q}} = \frac{4}{80 \cdot \sqrt{0,25}} = 0,1,$$

что обеспечит частоту среза контура скорости $w_{с1} = 0,5 \cdot w_y \cdot \sqrt{0,25} = 20 \text{ с}^{-1}$.

Для подавления упругих колебаний в механической системе следует ввести в САУ дополнительные средства последовательной или параллельной коррекции. Введение последовательной коррекции на активном режекторном фильтре (АРФ) с передаточной функцией [4]:

$$W_{АФ}(p) = \frac{K_{АФ} \cdot (T_1^2 \cdot p^2 + 2 \cdot x_1 \cdot T_1 \cdot p + 1)}{T_1^2 \cdot p^2 + 2 \cdot x_э \cdot T_1 \cdot p + 1} = \frac{0,00015625 \cdot p^2 + 0,0025 \cdot p + 1}{0,00015625 \cdot p^2 + 0,0125 \cdot p + 1}$$

при $K_{АФ} = 1$, $x_э = 0,5..1$ - обеспечивает в большинстве случаев

удовлетворительную динамику СЭП при управлении U_{3C} и возмущающем M_c воздействиях.

Для снижения перерегулирования скорости при управляющих воздействиях на вход САР обычно включают инерционный фильтр 1-го порядка с постоянной времени: $T_\phi = \frac{4...6}{w_y \cdot \sqrt{q}} \text{ с.}$

После синтеза регуляторов следует определить статическую ошибку $\Delta v_{с.з}$ замкнутой САУ на верхней и нижней скоростях и построить соответствующие механические характеристики [4].

Для двукратноинтегрирующей системы с ПИ-РС:

$$\Delta n_{с.з} = \frac{k_D \cdot k_{OT} \cdot \Delta M_c}{k_{PC} \cdot k_{OC} \cdot w_c} * 100\%,$$

где k_D – коэффициент передачи двигателя; k_{PCo} – коэффициент усиления регулятора скорости в статике ($k_{PCo} \approx 10000$).

$$\Delta n_{с.ЗВ} = \frac{0,24 \cdot 0,0175 \cdot 837,96}{10000 \cdot 0,096 \cdot 104,67} \cdot 100\% = 0,0035\%$$

$$\Delta n_{с.ЗН} = \frac{0,24 \cdot 0,0175 \cdot 837,96}{10000 \cdot 0,096 \cdot 3,84} \cdot 100\% = 0,095\%$$

Динамическая структурная схема СЭП при оптимизированных контурах приведена на рис. 1.2.

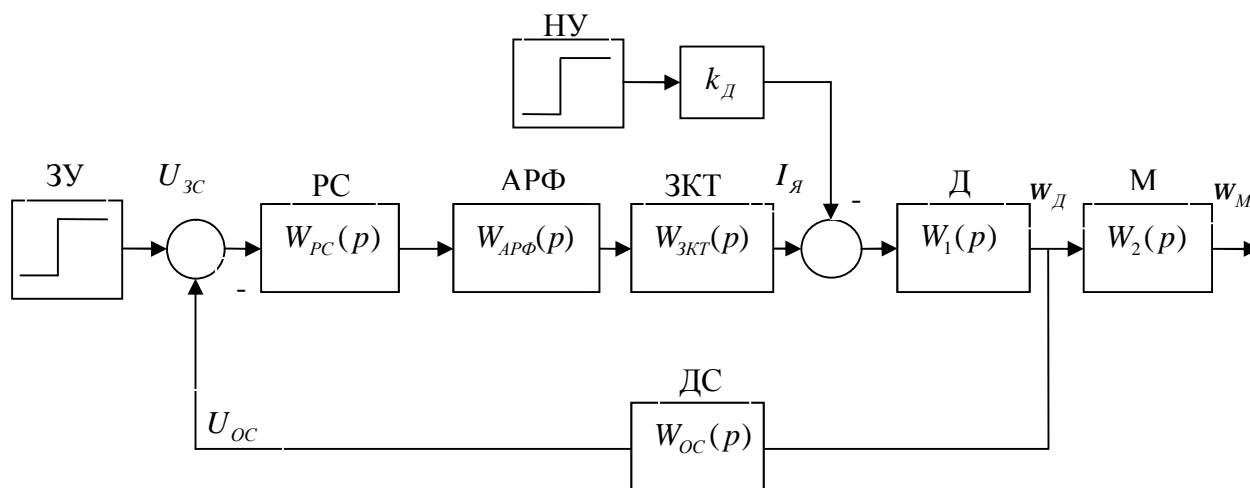


Рис. 1.2. Динамическая структурная схема СЭП

1.1.4. Моделирование динамики СЭП

Динамическая схема СЭП в пакете MATLAB приведена на рис. 1.3. Использование структурного метода моделирования позволяет построить структурную схему в виде связанных блоков со своими передаточными функциями, коэффициенты которых можно легко редактировать. Так же позволяет получить необходимые регулируемые координаты (угловая скорость двигателя, механизма, ток якоря) в виде осциллограмм.

В результате моделирования были получены следующие графики, показанные на рисунках 1.4, 1.5, 1.6 соответственно:

- графики скорости двигателя и механизма по управлению $U_{зс}$;
- графики тока двигателя по управлению;
- графики скорости двигателя и механизма по возмущению M_c ;

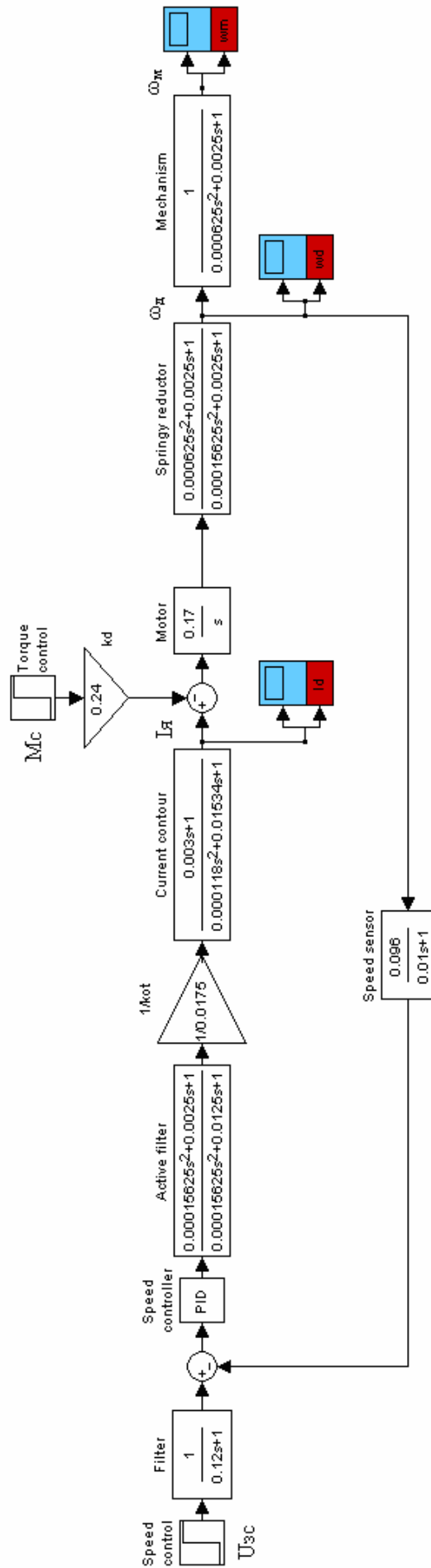


Рис. 3. Динамическая структурная схема СЭП при оптимизированных контурах MatLab

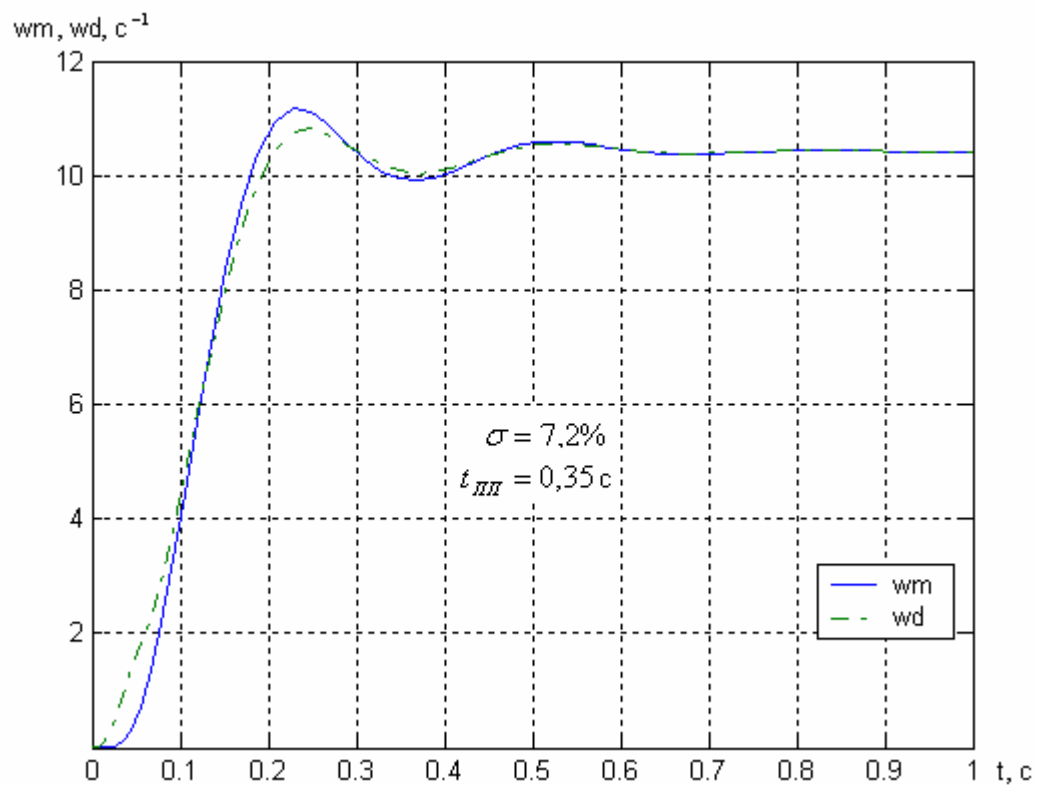


Рис. 1.4 Переходный процесс скорости двигателя и механизма по управлению

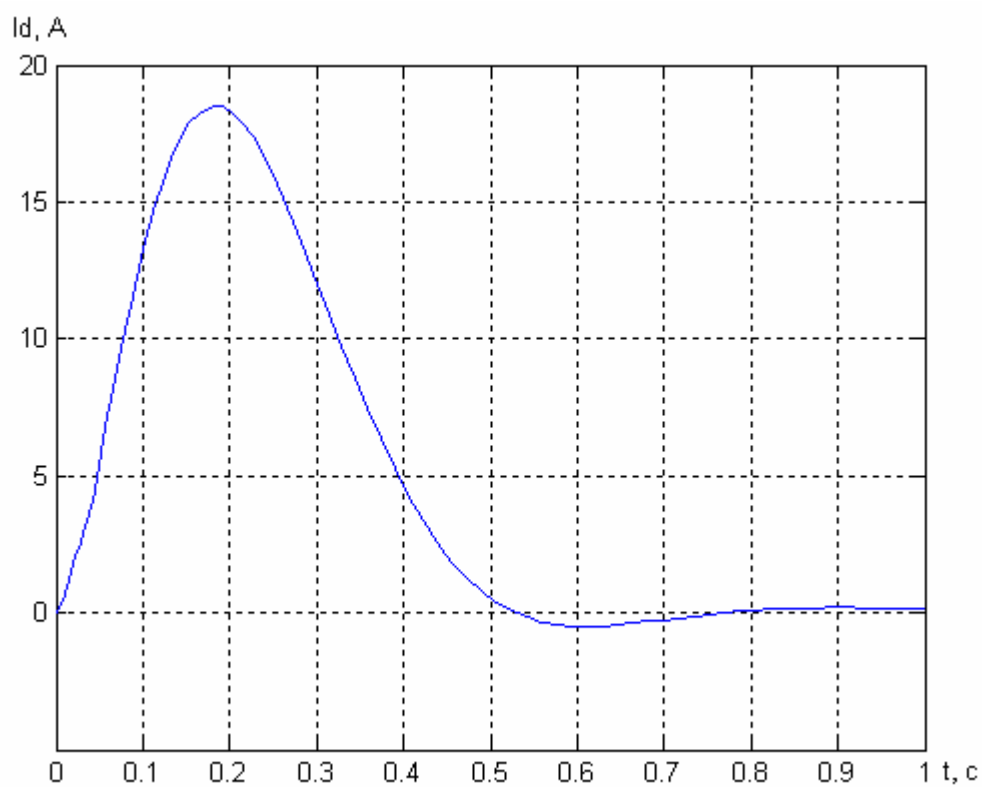


Рис. 1.5 Переходный процесс тока якоря по управлению

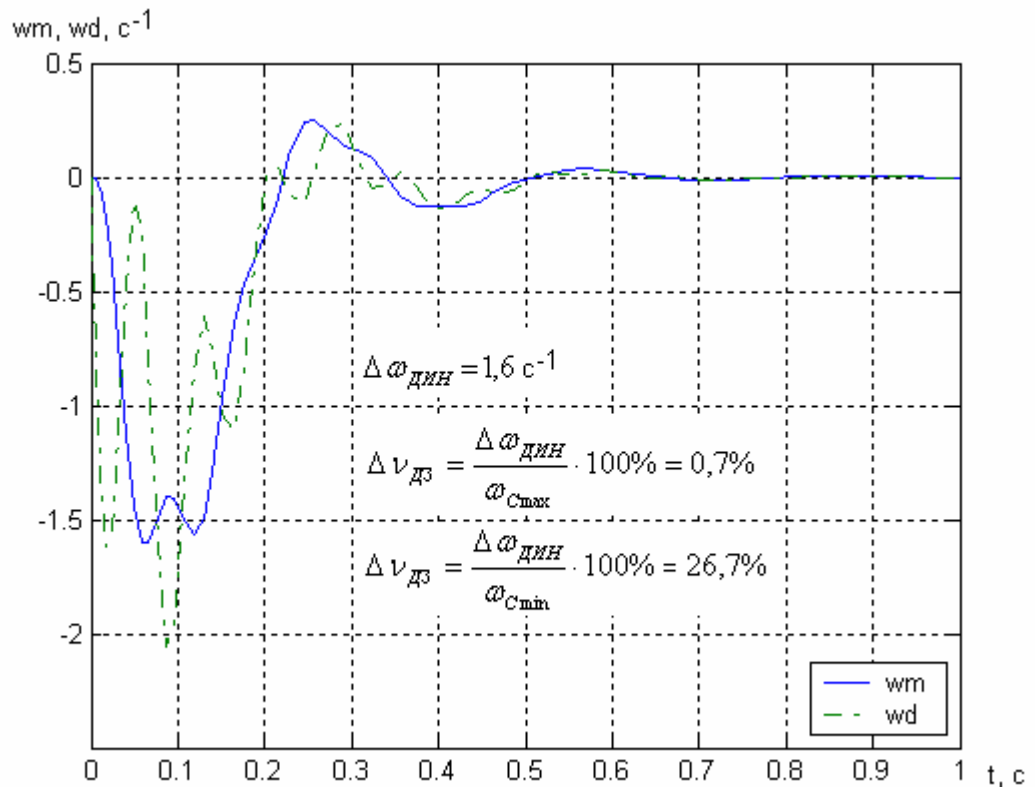


Рис.1.6. Переходный процесс скорости двигателя и механизма по возмущению

Расчет основных показателей переходного процесса:

При управляющем воздействии ($U_{3C} = 1, M_C = 0$) через входной фильтр

$$\text{Перерегулирование: } S = \frac{y_{\max} - y^*}{y^*} \cdot 100\% = \frac{11,16 - 10,41}{10,41} \cdot 100\% = 7,2\%$$

Время переходного процесса: $t_{III} = 0,35 \text{ с}$

1.2. Привод подачи станка

1.2.1. Построение функциональной схемы

Согласно заданию привод подачи станка проектируется с однозонным управлением, с контурами тока и скорости и аналогичен левой части функциональной схемы рис. 1.1.

1.2.2. Составление передаточных функций звеньев СЭП

Транзисторный преобразователь вместе с системой управления в первом приближении может быть представлен апериодическим звеном с передаточной функцией [1, 3]:

$$W_{ТП}(p) = \frac{K_{ТП}}{T_{ТП} \cdot p + 1} = \frac{28,1}{0,002 \cdot p + 1},$$

где $T_{ТП}$ – постоянная времени ТрП, $T_{ТП} = \frac{2}{f_0}$ (T_ϕ – постоянная времени фильтра),

$$T_{ТП} = \frac{2}{1000} = 0,002 \text{ с}$$

Датчики скорости и тока при наличии фильтров на выходе следует считать апериодическими звеньями с передаточной функцией [4]:

$$W_{OC}(p) = \frac{K_{OC}}{T_{ДС} \cdot p + 1} = \frac{0,0318}{0,01 \cdot p + 1}$$

$$W_{OT}(p) = \frac{K_{OT}}{T_{ДТ} \cdot p + 1} = \frac{0,059}{0,003 \cdot p + 1},$$

В частности, для датчика скорости $T_{ДС} = 0,01..0,02$ с, а для датчика тока

$T_{ДТ} = 0,002..0,003$ с. Выбираю $T_{ДС} = 0,01$ с, $T_{ДТ} = 0,003$ с.

Передаточная функция ДПТ с учетом упругости механической части ЭП:

$$W_1(p) = \frac{K_D \cdot R_{яц} \cdot T_2^2 \cdot p^2 + 2 \cdot x_2 \cdot T_2 \cdot p + 1}{T_{ЭМ} \cdot p \cdot T_1^2 \cdot p^2 + 2 \cdot x_1 \cdot T_1 \cdot p + 1} = \frac{4,33}{0,675 \cdot p} \cdot \frac{0,00205 \cdot p^2 + 0,002 \cdot p + 1}{0,0001 \cdot p^2 + 0,002 \cdot p + 1}$$

где $T_1 = \frac{1}{w_y} = \frac{1}{100} = 0,01$ с – постоянная времени, определяющий упругий резонанс

на частоте w_y ;

$$T_2 = \frac{T_1}{\sqrt{q}} = \frac{0,01}{\sqrt{0,0488}} = 0,0453 \text{ - постоянная времени характеризующая "провал"}$$

в ЛАХ объекта на частоте $w_y \cdot \sqrt{q} = 22,36$

$$q = \frac{J_D}{J_\Sigma} = \frac{J_D}{J_D + J_M} = \frac{0,00205}{0,04205} = 0,0488 \text{ - коэффициент соотношения}$$

инерционных масс;

$x_1 = x_y = 0,1$ и $x_2 = x_1 \cdot \sqrt{q} = 0,022$ - коэффициенты демпфирования упругих звеньев.

Передаточная функция механической части ЭП приведенной к валу двигателя:

$$W_1(p) = \frac{1}{T_2^2 \cdot p^2 + 2 \cdot x_2 \cdot T_2 \cdot p + 1} = \frac{1}{0,00205 \cdot p^2 + 0,002 \cdot p + 1}$$

1.2.3. Построение структурной динамической схемы и синтез регуляторов

Параметры ПИ-регулятора тока определяются формулами:

$$b_2 = \left[\frac{T_{\text{я}}}{2 \cdot T_{\Sigma 2} \cdot K_{02}} \right] = \frac{T_{\text{я}}}{2T_{\Sigma 2} \cdot \frac{k_{\text{ТПИ}} \cdot k_{\text{ОТ}}}{R_{\text{ЯЦ}}}}$$

$T_{\Sigma 2} = T_{\text{ТПИ}} + T_{\text{ДТ}} = 0,002 + 0,003 = 0,005$ с – суммарная малая постоянная времени контура тока.

$$\tau_2 = T_{\text{я}} = 0,028 \text{ с}$$

$$b_2 = \frac{0,028}{2 \cdot 0,005 \cdot \frac{28,1 \cdot 0,059}{1,171}} = 1,97 \approx 2$$

Передаточные функции разомкнутого и замкнутого контура тока соответственно будут

$$W_{P2}(P) \approx \frac{1}{2T_{\Sigma 2} p (T_{\Sigma 2} p + 1)};$$

$$W_{32}(P) \approx \frac{T_{\text{ДТ}} p + 1}{k_{\text{ОТ}} (2T_{\Sigma 2}^2 p^2 + 2T_{\Sigma 2} p + 1)} = \frac{0,003 p + 1}{0,059 \cdot (0,0005 p^2 + 0,01 p + 1)}$$

В СЭП с упругой передачей контур скорости настраивается в зависимости от соотношения механических параметров. При $q < 0,5$ параметры ПИ-регулятора скорости выбирают по формулам (вторая ступень оптимизации СЭП с упругостью):

$$b_1 = \frac{K_{OT} \cdot T_{ЭМ} \cdot w_y \cdot \sqrt{q}}{2 \cdot K_{OC} \cdot K_D \cdot R_{ЯЦ}} = \frac{0,059 \cdot 0,675 \cdot 100 \cdot \sqrt{0,0488}}{2 \cdot 0,0318 \cdot 3,7 \cdot 1,171} = 3,19$$

$$t_1 = \frac{4}{w_y \cdot \sqrt{q}} = \frac{4}{100 \cdot \sqrt{0,0488}} = 0,181 \text{ с}$$

что обеспечит частоту среза контура скорости $w_{C1} = 0,5 \cdot w_y \cdot \sqrt{0,0488} = 11,05 \text{ с}^{-1}$

Для подавления упругих колебаний в механической системе следует ввести в САУ дополнительные средства последовательной или параллельной коррекции. Введение последовательной коррекции на активном режекторном фильтре (АРФ) с передаточной функцией [4]:

$$W_{АФ}(p) = \frac{K_{АФ} \cdot (T_1^2 \cdot p^2 + 2 \cdot x_1 \cdot T_1 \cdot p + 1)}{T_1^2 \cdot p^2 + 2 \cdot x_2 \cdot T_1 \cdot p + 1} = \frac{0,0001 \cdot p^2 + 0,002 \cdot p + 1}{0,0001 \cdot p^2 + 0,01 \cdot p + 1}$$

при $K_{АФ} = 1$, $x_2 = 0,5 \cdot 1$ - обеспечивает в большинстве случаев удовлетворительную динамику СЭП при управлении U_{3C} и возмущающем M_C воздействиях.

После синтеза регуляторов следует определить статическую ошибку $\Delta n_{C.3}$ замкнутой САУ на верхней и нижней скоростях и построить соответствующие механические характеристики. Для двукратноинтегрирующей системы с ПИ-РС:

$$\Delta n_{C.3} = \frac{k_D \cdot k_{OT} \cdot \Delta M_C}{k_{PC} \cdot k_{OC} \cdot w_C} * 100\%,$$

где k_D – коэффициент передачи двигателя; k_{PC0} – коэффициент усиления регулятора скорости в статике ($k_{PC0} \approx 10000$).

$$\Delta n_{C.3B} = \frac{3,16 \cdot 0,059 \cdot 1,8}{10000 \cdot 0,0318 \cdot 314} \cdot 100\% = 0,00034\%$$

$$\Delta n_{C.3H} = \frac{3,16 \cdot 0,059 \cdot 1,8}{10000 \cdot 0,0318 \cdot 0,57} \cdot 100\% = 0,2\%$$

Динамическая структурная схема СЭП при оптимизированных контурах приведена на рис. 1.8

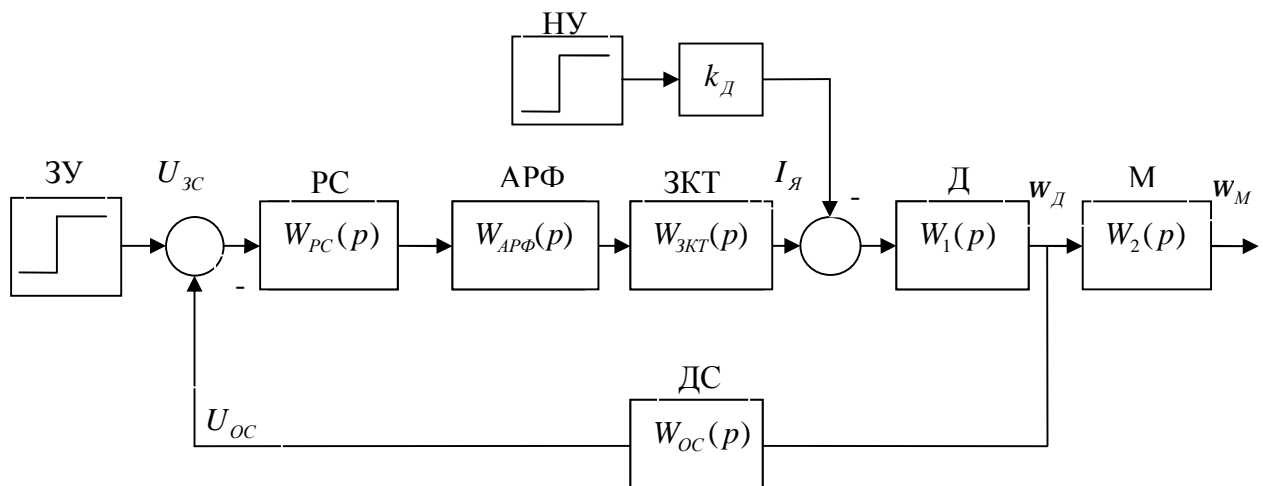


Рис. 1.8. Динамическая структурная схема СЭП

1.2.4. Моделирование динамики СЭП

Динамическая схема СЭП в MatLab приведена на рис. 1.9.

В результате моделирования были получены следующие графики, показанные на рисунках 1.10, 1.11, 1.12 соответственно:

графики скорости двигателя и механизма по управлению $U_{зс}$;

графики тока двигателя по управлению;

графики скорости двигателя и механизма по возмущению M_c ;

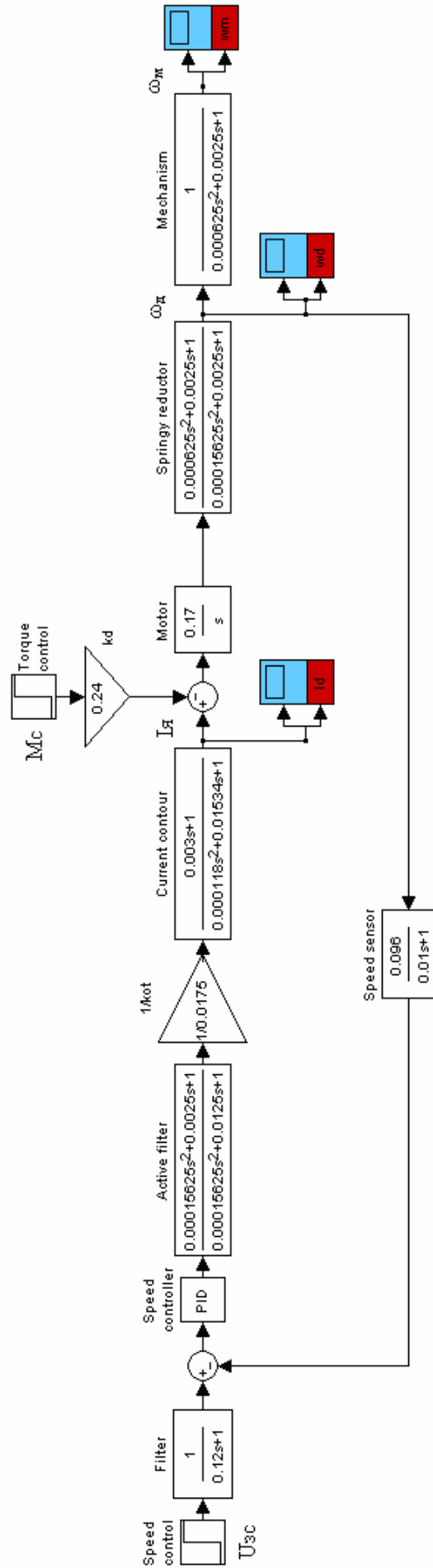


Рис. 1.9. Динамическая структурная схема СЭП при оптимизированных контурах MatLab

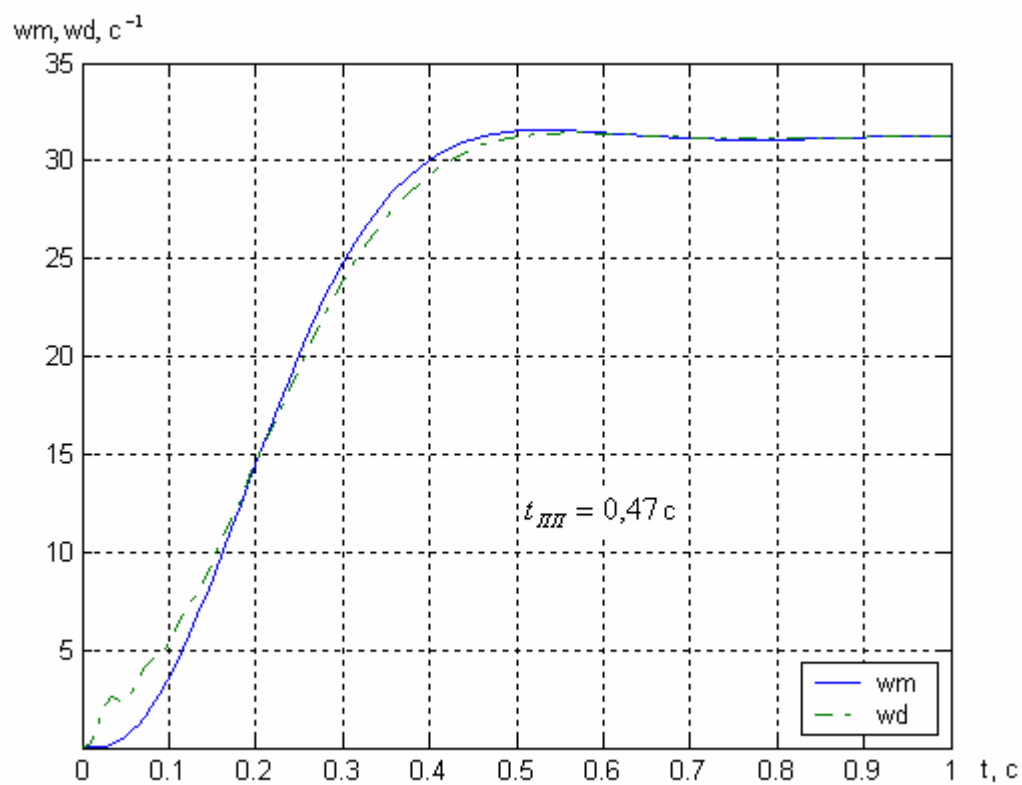


Рис.1.10. Переходный процесс скорости двигателя и механизма по управлению

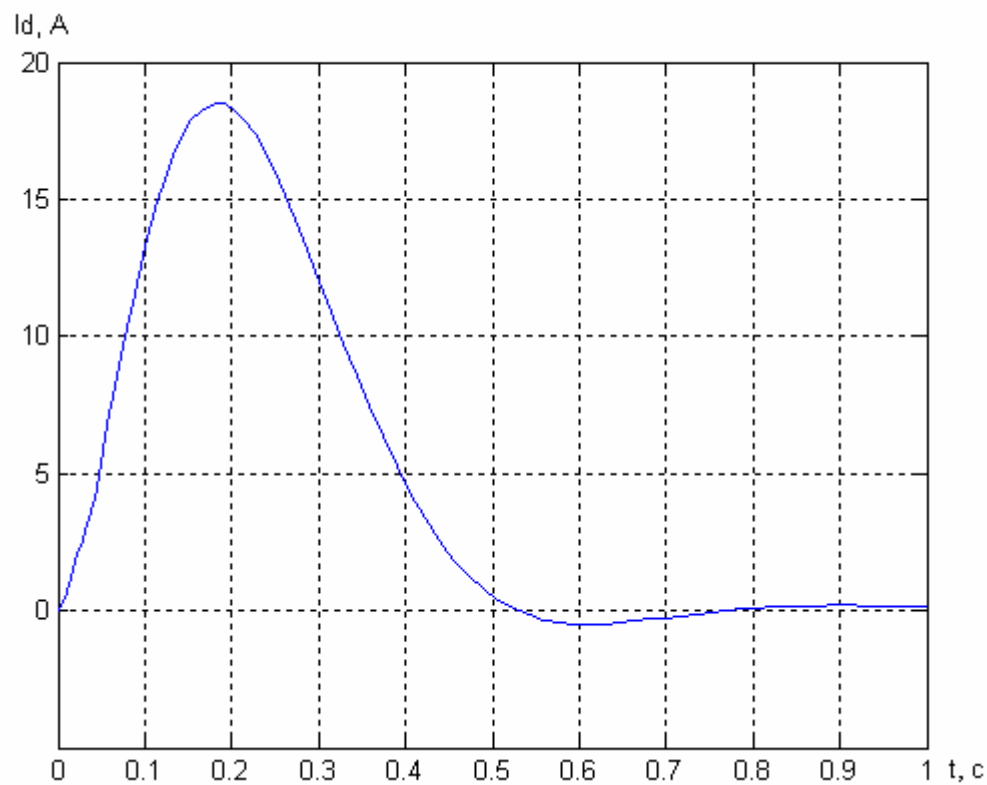


Рис. 1.11. Переходный процесс тока якоря по управлению

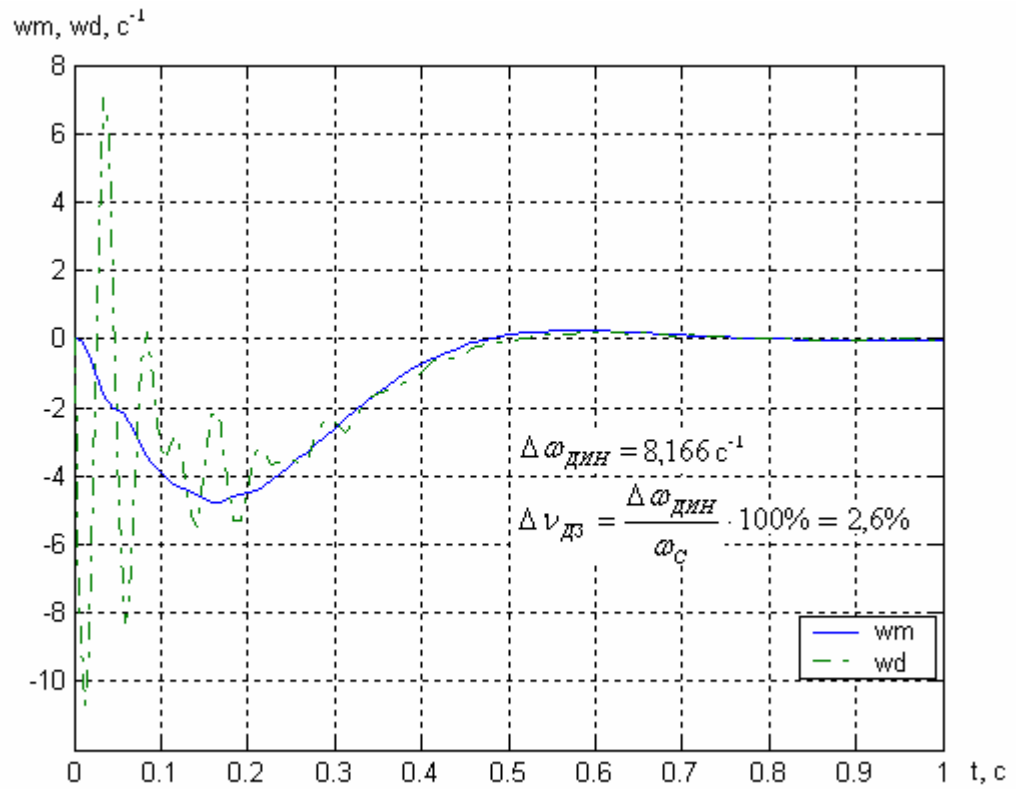


Рис. 1.12. Переходный процесс скорости двигателя и механизма по возмущению

Расчет основных показателей переходного процесса:

При управляющем воздействии ($U_{зс} = 1, M_c = 0$) через входной фильтр

$$\text{Перерегулирование: } s = \frac{y_{\max} - y^{\bullet}}{y^{\bullet}} \cdot 100\% = \frac{31,4 - 31,4}{31,4} \cdot 100\% = 0\%$$

Время переходного процесса: $t_{III} = 0,47 \text{ с}$

На рис. 2.1. показано:

ДН, ДТ – датчики напряжения, тока соответственно;

ДГ – двигатель главного движения;

ДП – двигатель подачи;

БП – блок перемножения;

САРС – система автоматического регулирования скорости (РС и РТЯ);

РМ – регулятор мощности;

ДМ – датчик мощности;

ТрП – транзисторный преобразователь;

ТП – тиристорный преобразователь;

Из – изделие;

Ин – инструмент;

ХВ – ходовой винт;

P_1 - электрическая мощность двигателя, потребляемая от ТП;

P_c - мощность на валу двигателя;

P_z - мощность резания;

$w_{дг}$ - угловая скорость двигателя главного движения;

$w_{дп}$ - угловая скорость привода подачи;

$V_{дп}$ - скорости подачи;

$h_{ст}$ КПД станка;

$U_{зм}$ - напряжение задания мощности резания;

Схема работает следующим образом: при превышении номинальной мощности резания сигнал на выходе датчика мощности будет превышать 10В, но так как сигнал задания мощности 10В, то разность этих сигналов, идущих с сумматора будет отрицательной, она идет на вход регулятора мощности. Далее сигнал складывается с напряжением задания угловой скорости подачи, в итоге сигнал на входе регулятора скорости будет меньше 10В. Регулятор скорости

понижит угловую скорость привода подачи. Пониженная скорость подачи через компенсирующий момент стабилизирует мощность привода главного движения станка.

2.2. Структурная динамическая модель взаимосвязанной СЭП и оптимизация контура мощности резания

Разработанная структурная схема в Simulink приведена на рис 2.2. Стабилизация мощности осуществляется двумя СЭП, взаимосвязанными процессом резания. В модели процесс резания представлен блоком Model rezania в виде апериодического звена и блоком деления ВД. Датчик мощности ДМ измеряет активную мощность привода главного движения и формирует сигнал пропорциональный мощности резания. Это косвенный метод измерения мощности электропривод главного движения, т.к. $P_z = P_1 - \Delta P_d - \Delta P_m$, Потери ΔP_d и ΔP_m можно учитывать разными способами, в том числе по эмпирическим формулам с учетом значений тока и частоты вращения электродвигателя. Их доля существенна, когда металлообработка происходит при малых усилиях резания. Но в этом случае нет появления чрезмерных значений P_z нарушающих нормальный ход процесса резания. При больших значениях усилий резания можно пренебречь потерями и считать, что $P_z = P_1$. Учитывая выше сказанное, оценку мощности резания можно осуществить по формуле:

$$P_z = P_1 = P_c = M_d \cdot \omega_d,$$

что и видно из схемы.

Датчик мощности ДМ может быть представлен апериодическим звеном с передаточной функцией:

$$W_{DM}(p) = \frac{K_{DM}}{T_{DM} \cdot p + 1} = \frac{0,0001}{0,01 \cdot p + 1},$$

где K_{DM} - коэффициент передачи датчика мощности

$$K_{DM} = \frac{U_{OM}}{P_C} = \frac{10}{100000} = 0,0001 \frac{B}{Вт}$$

U_{OM} - напряжение обратной связи по мощности $U_{OM} = 10$ В (УБСР-АИ)

P_C - мощность главного привода в статике

$T_{DM} = 0,01$ с – постоянная времени датчика.

Процесс резания характеризуется следующей передаточной функцией [4]:

$$W_{PEZ}(p) = \frac{K_{PEZ}}{T_{PEZ} \cdot p + 1} = \frac{0,32}{0,06 \cdot p + 1},$$

$K_{PEZ} = 0,32 \frac{H \cdot M}{с^{-1}}$ - коэффициент резания

T_{PEZ} - постоянная резания

$$T_{PEZ} = \frac{2 \cdot p}{w_{ДГ}} = \frac{6,28}{104,7} \approx 0,06 \text{ с}$$

Регулятор мощности в первом приближении пропорциональный, настраиваемый на оптимум по модулю:

$$W_{PM}(p) = K_0 = \frac{T_{PEZ} \cdot K_{ДС}}{2 \cdot K_{ДЕЛ} \cdot K_{PEZ} \cdot K_{DM} \cdot T_{\Sigma 0}} = \frac{0,06 \cdot 0,032}{2 \cdot 312 \cdot 0,32 \cdot 0,0001 \cdot 0,1} \approx 1$$

где $K_{ДС}$ - коэффициент передачи датчика скорости привода подачи

$K_{ДЕЛ} = 312$ - коэффициент передачи блока деления ВД

$T_{\Sigma 0} = 2 \cdot T_{\Sigma \varepsilon} + T_{DM}$ - суммарная малая постоянная времени

$$T_{\Sigma 0} = 2 \cdot T_{\Sigma \varepsilon} + T_{DM} = 2 \cdot 0,045 + 0,01 = 0,1 \text{ с}$$

$$T_{\Sigma \varepsilon} = \frac{1}{\sqrt{q \cdot w_y}} = \frac{1}{\sqrt{0,0488 \cdot 100}} = 0,045 \text{ с}$$

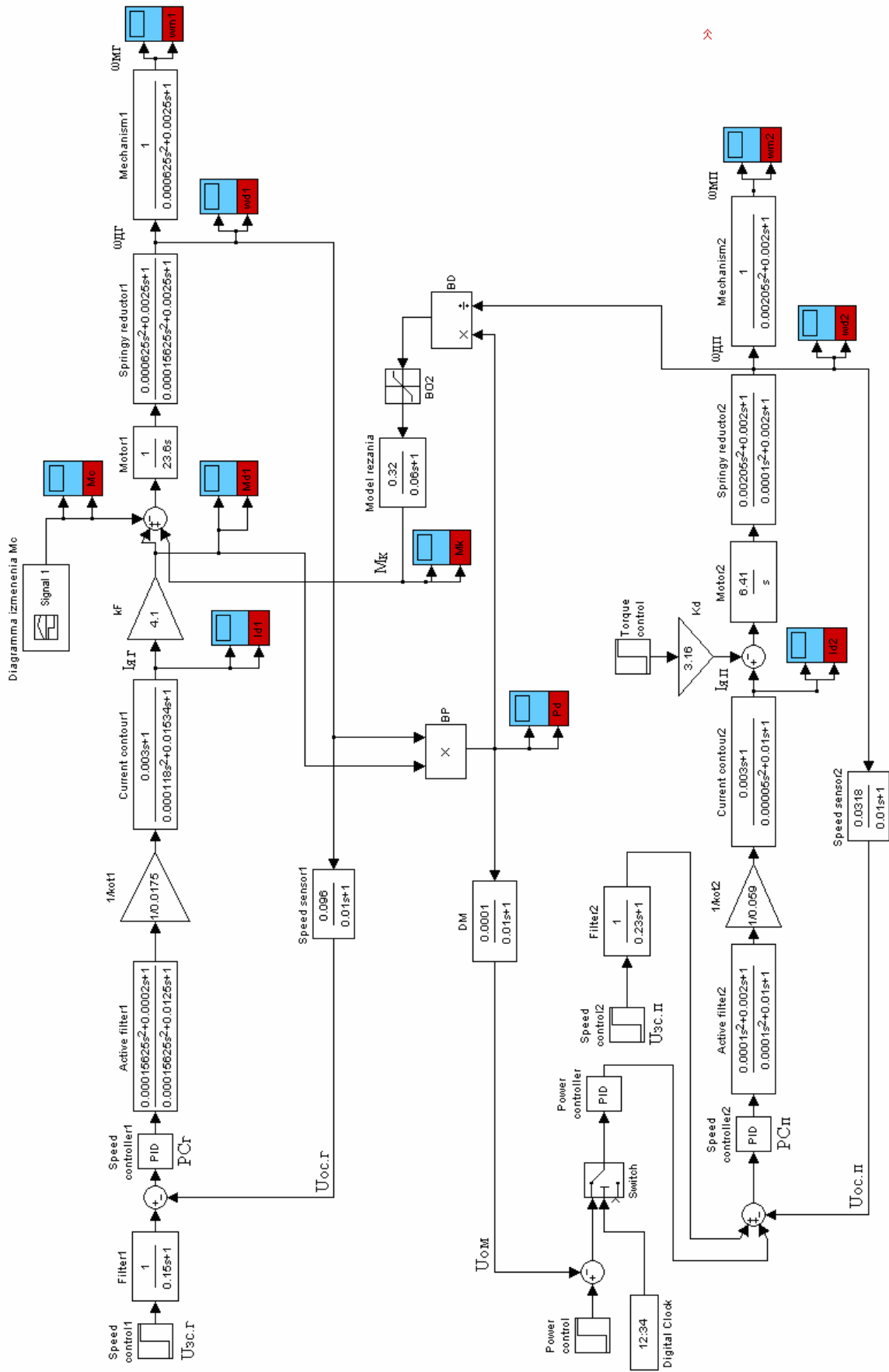


Рис. 2.2. Структурная схема системы стабилизации мощности резания

2.3. Исследование динамики СЭП при вариации момента сопротивления главного привода

Проведем исследование данной модели с пропорционально-интегральным (ПИ) регулятором мощности: пусть задание момента сопротивления на валу главного двигателя будет в виде диаграммы, представленной на рис. 2.3. В модели диаграмма представлена блоком “Diagramma izmenenia M_c ”.

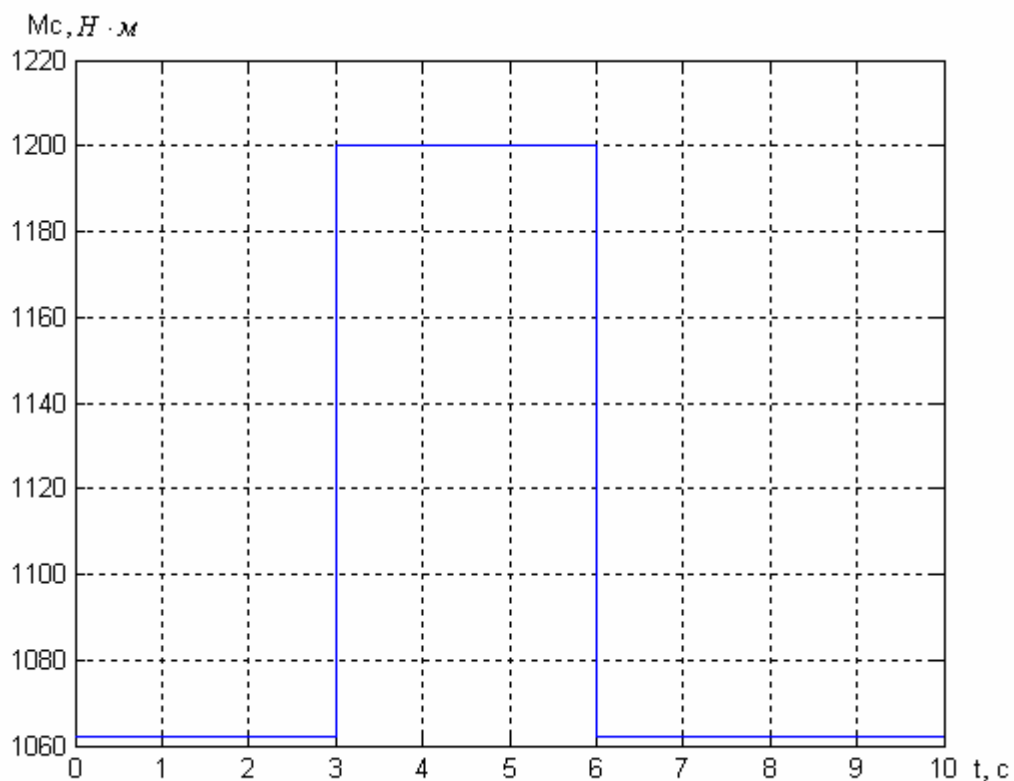


Рис. 2.3. Диаграмма изменения момента сопротивления на валу главного двигателя станка

Переходный процесс мощности резания, скорости подачи, скорости главного привода при использовании при ПИ – регуляторе на рис. 2.4, 2.5, 2.6.

Из графика переходного процесса скорости привода подачи (рис. 2.4) видно, что при набросе нагрузки регулятор скорости понизит угловую

скорость привода подачи. ССМР работает со статической ошибкой, следовательно, компенсирующий момент полностью не компенсирует изменение момента сопротивления на валу главного двигателя. При этом САРС главного привода поддерживает угловую скорость на заданном уровне.

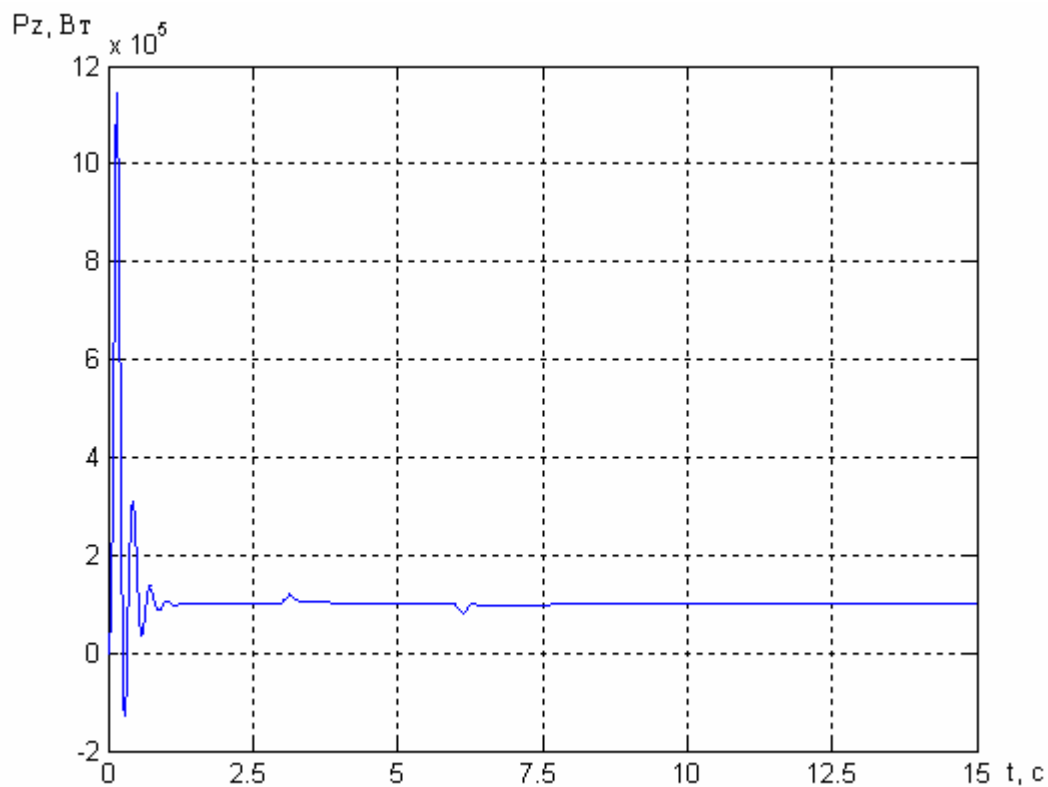


Рис. 2.4. Переходный процесс мощности резания

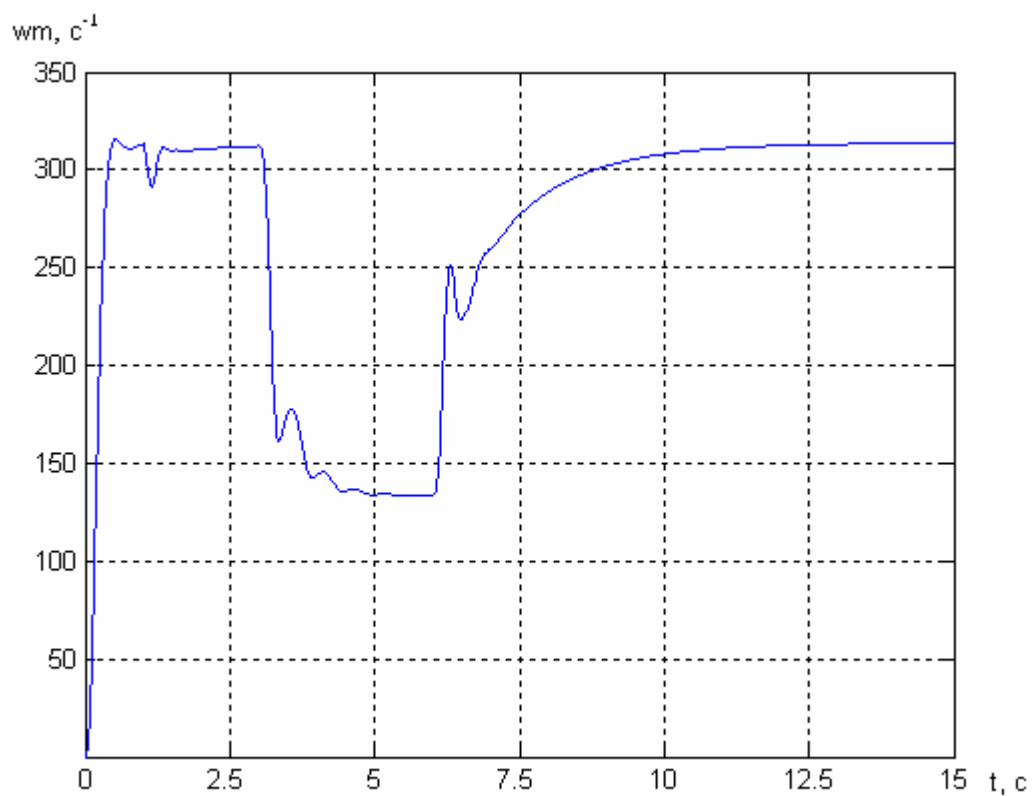


Рис. 2.5. Переходный процесс скорости подачи

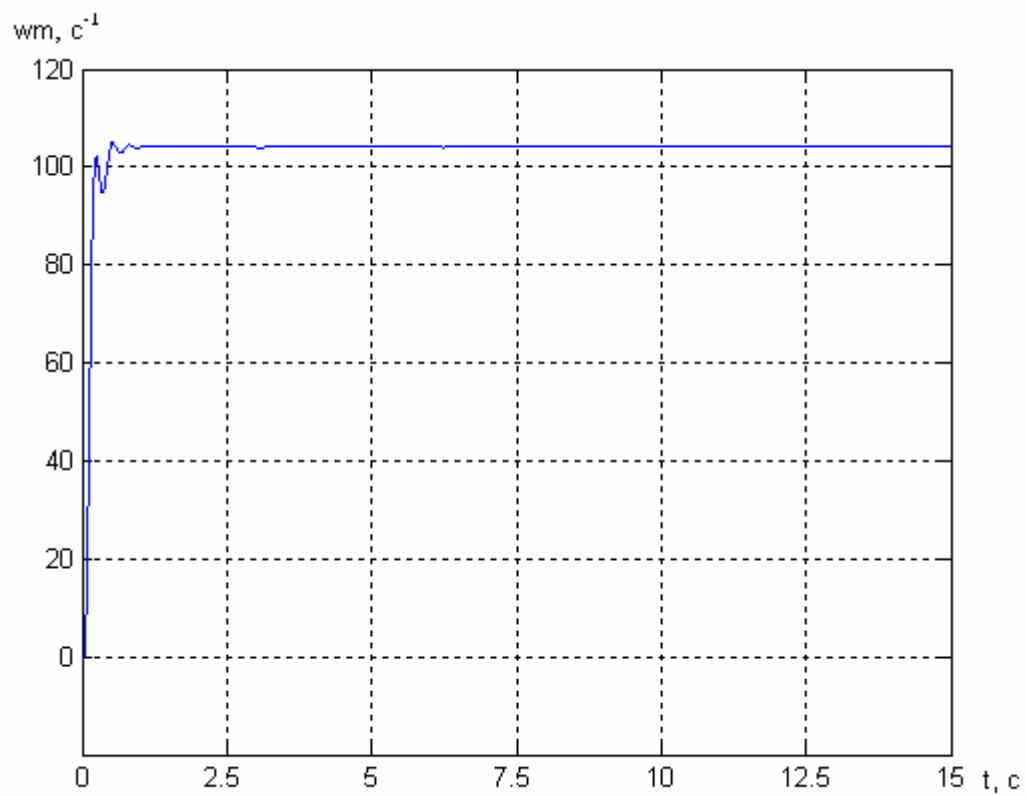


Рис. 2.6. Переходный процесс скорости главного привода

Расчет основных показателей переходного процесса:

1. Расчет перерегулирования мощности резания при $t=3c$.

$$s = \frac{y_{\max} - y^*}{y^*} \cdot 100\% = \frac{1,169 \cdot 10^5 - 1,254 \cdot 10^5}{1,169 \cdot 10^5} \cdot 100\% = 8,5\%$$

где: y_{\max} - максимальное значение выходной переменной

y^* - установившейся значение выходной переменной

2 Расчет времени переходного процесса мощности резания.

границы установившегося процесса:

$$y_B = 1,05 \cdot y^* = 1,05 \cdot 1,169 \cdot 10^5 = 1,227 \cdot 10^5$$

$$y_H = 0,95 \cdot y^* = 0,95 \cdot 1,169 \cdot 10^5 = 1,11 \cdot 10^5$$

По графику находим время переходного процесса из условий y_B и y_H :

$$t_{III} = 0,4 \text{ с}$$

3. Расчет статической ошибки:

Статическая ошибка определяется по графику переходного процесса мощности.

$$\Delta P_Z = P_{Z,3} - P^*$$

$$\Delta P_Z = \frac{1,043 \cdot 10^5 - 1,168 \cdot 10^5}{1,043 \cdot 10^5} \cdot 100\% \approx 10\%$$

4. Расчет перерегулирования скорости привода подачи при $t=3c$.

$$s = \frac{y_{\max} - y^*}{y^*} \cdot 100\% = \frac{245,747 - 261,435}{261,435} \cdot 100\% = 6\%$$

5. Расчет времени переходного процесса скорости привода подачи.

границы установившегося процесса:

$$y_B = 1,05 \cdot y^* = 1,05 \cdot 261,435 = 275,5$$

$$y_H = 0,95 \cdot y^* = 0,95 \cdot 261,435 = 248,36$$

По графику нахожу время п.п из условий y_B и y_H :

$$t_{III} = 0,8 \text{ с}$$

6. Расчет времени переходного процесса скорости главного привода.

границы установившегося процесса:

$$y_B = 1,05 \cdot y^* = 1,05 \cdot 104,17 = 109,4$$

$$y_H = 0,95 \cdot y^* = 0,95 \cdot 104,17 = 98,96$$

По графику нахожу время п.п из условий y_B и y_H :

$$t_{пп} = 0,45 \text{ с}$$

Заключение

Рассматриваемая система стабилизации мощности является актуальной, поскольку повышение производительности и качества продукции связано с поддержанием технологических режимов и оптимальных условий резания металлов.

В процессе расчетов были разработаны СЭП главного движения и движения подачи карусельного станка с учетом упругости механической части станка, как локальные системы. Расчеты локальных систем выполнены в первой и второй главах.

В системе используются двигатели постоянного тока, регулируемые только напряжением (1 зона) – привод подачи, и потоком возбуждения (2 зона) – привод главного движения, для двигателей построены статические характеристики. Карусельные станки работают на пониженных скоростях при черновой обработке и на высоких скоростях при чистовой. ДПТ позволяют обеспечить плавное регулирование скорости, это объясняет их применение.

В первой главе выполнены задачи синтеза и расчета динамики СЭП данных по условию готовых локальных приводов главного движения и подачи.

На основании построенной функциональной схемы, разработаны динамические структурные схемы СЭП и синтезированы регуляторы. В локальных системах применена структура подчиненного регулирования, которая в настоящее время находит наибольшее распространение в современных СЭП. Подчиненное регулирование имеет ряд преимуществ, такие как простая структура, стандартные настройки регуляторов, а значит стандартные переходные процессы регулирования. Произведена оптимизация динамики систем с учетом упругости механических передач. Качество переходных процессов в локальных системах удовлетворяют техническому заданию.

Вторая глава посвящена разработке функциональной, структурной динамической схемы взаимосвязанной системы и исследованию ее динамики.

Выполнена оптимизация контура мощности, исследование произведено при вариации момента сопротивления главного привода. Полученные результаты исследования удовлетворительны, подтверждающие требуемое функционирование взаимосвязанной СЭП станка.

Модернизация системы.

В качестве регуляторов могут быть применены ПИ – регуляторы, выполненные на микропроцессорах. При сохранении в локальных СЭП структуры подчиненного регулирования ПИ - РТ для сохранения более высокого быстродействия необходимо применить регулятор в аналоговом исполнении.

Преимущества микропроцессорных СЭП:

- высокая точность, (отсутствует дрейф);
- возможность перенастройки за счет перепрограммирования микропроцессорной системы (изменение алгоритма работы системы без замены элементов системы), из-за чего уменьшается возможность морального износа СЭП;
- системы на базе микропроцессоров имеют более высокую надежность;
- с экономической точки зрения, комплектующие микропроцессорного комплекта имеют приемлемую стоимость.

Как недостаток микропроцессорных регуляторов, стоит отметить их отрицательное влияние на устойчивость системы. Любые цифровые устройства имеют сигнал дискретный по времени. Дискретность микропроцессора T_0 считается приемлемой, если при настройке системы на симметричный оптимум (СО), она удовлетворяет условию $\frac{T_0}{T_\Sigma} \leq 0.5$, а при настройке на оптимум по модулю (ОМ) $\frac{T_0}{T_\Sigma} \leq 1$.

Эта проблема решается при использовании совершенных процессоров, имеющих более высокую тактовую частоту $f_0 \geq 1$ ГГц.

Тенденции развития автоматизированного электропривода

В настоящее время существуют устойчивые тенденции развития электропривода, которые отражают как общие направления развития электротехники и электроники, так и особенности развития станкостроения. Можно отследить наиболее характерные тенденции развития автоматизированного электропривода.

1) Приближение источника движения к исполнительному органу. Например, привод без коробки передач, привод с одноступенчатым редуктором, прямое соединение двигателя с ходовым винтом, линейный электрический двигатель.

Эта тенденция и в приводе подачи станка и в приводе главного движения приводит к упрощению конструкции механической части привода, увеличению ее жесткости, улучшению динамических качеств и повышению кинематической точности промежуточных передач.

В приводе подачи механические передачи сведены к минимуму и часто вал двигателя непосредственно может быть соединен с ходовым винтом, который является единственным механическим устройством преобразования вращательного движения в поступательное. Применение линейных двигателей позволяет устранить и этот элемент и приложить электромеханические усилия к поступательно движущемуся узлу станка. Аналогичные тенденции наблюдаются и в приводе главного движения. Однако полное исключение механических передач ограничивается малым диапазоном регулирования электропривода с постоянной мощностью. Исключение механических передач (коробок скоростей и коробок передач станков) возможно только при широком диапазоне регулирования скорости двигателей. Как положительный момент, следует отметить, что механические передачи задерживают и существенно сглаживают низкие частоты,

возникающие в приводе, поэтому редуктор с небольшим передаточным отношением по этой причине может быть полезным.

Важное значение имеет разработка электромагнитных механизмов для вспомогательных движений в станках. Функциональные, фиксирующие и другие движения могут быть осуществлены путем использования прямоходовых или поворотных электромагнитов с соответствующей системой управления.

2) Использование специальных более совершенных исполнительных двигателей.

Для станков необходимы двигатели, способные обеспечить необходимые статические и динамические характеристики на всем диапазоне регулирования скорости, который достигает десятков тысяч. Двигатели для станков не должны быть энергонасыщены во избежание передачи на станок тепловых и механических возмущений.

Важным условием является оснащение двигателей вспомогательными информационными и управляющими устройствами, такими, как тахогенератор, датчик угла (резольвер), тормоз и тепловая защита.

3) Совершенствование полупроводниковой элементной базы.

Совершенствование электропривода тесно связано с развитием полупроводниковой техники, являющейся базой для создания силовых преобразователей и схем управления. Происходит непрерывное улучшение технических характеристик тиристоров, которые являются основным силовым элементом электропривода, но обладают ограниченным управлением. Создаются более перспективные, полностью управляемые транзисторные преобразователи. Непрерывное повышение степени интеграции полупроводниковых устройств выражается в создании силовых полупроводниковых модулей, что позволяет повысить надежность преобразователя, уменьшить его размеры и упростить монтаж. Важным

направлением развития элементной базы является создание специализированных интегральных схем для системы управления приводом. Такие схемы включают в себя устройства управления силовыми тиристорами, регуляторы привода, блоки токоограничения и др.

4) Расширение функциональных свойств электропривода. Функции, которые выполняет электропривод, непрерывно расширяются. Если раньше электропривод считался источником равномерного движения, а все сложные взаимосвязанные перемещения формообразования выполнялись механизмом станка, то в настоящее время положение резко изменилось.

Электропривод все в большей степени контролирует и ограничивает нагрузки в элементах конструкции станка, что позволяет предотвратить его аварию, контролировать поломку инструмента, уровень силового воздействия в зажимных устройствах и др.

Повышение быстродействия и точности электропривода приводит к тому, что все большее число сложных взаимосвязанных движений деталей и инструмента осуществляется только с помощью электропривода. Наиболее распространенной является функциональная связь нескольких приводов подачи. Такие связи следящих приводов широко используют в станках с ЧПУ.

5) Увеличение объема информации, поступающей в систему электропривода. Совершенствование систем автоматизированного электропривода связано с непрерывным увеличением объема перерабатываемой информации. Информационные устройства (датчики) в системе электропривода можно разбить на несколько групп. Наибольшее значение имеют датчики параметров движения: скорости и перемещений или угла поворота вала. В системах адаптивного управления необходимо обрабатывать информацию о скорости резания, подаче, перемещениях и деформациях элементов станка, силах резания. Используется также

информация, характеризующая режим работы системы электропривода: напряжение сети, ток двигателя и нагрев обмоток.

Таким образом, дальнейшее совершенствование электропривода тесно связано с проблемой создания датчиков обратной связи, имеющих одинаковые метрологические характеристики на всем диапазоне регулирования скорости.

б) Развитие систем цифрового и микропроцессорного управления электроприводом Развитие систем ЧПУ, проникновение микропроцессорной техники в область управления станками оказывает большое влияние на структуру и технические средства электропривода.

Электропривод с микропроцессорным управлением характеризуется повышенной точностью, отсутствием дрейфа нуля усилителей, гибкостью системы управления, универсальностью и простотой сопряжения с управляющей ЭВМ, высокой надежностью и возможностью диагностики.

Огромные возможности открываются перед микропроцессорами при создании самонастраивающихся и оптимальных систем управления станочным электрооборудованием, в электроприводе с моделью, электроприводе с переменной структурой и в современных системах управления.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ковчин С.А., Сабинин Ю.А. Теория электропривода: Учебник для вузов. – СПб.: Энергоатомиздат. 2000. – 496 с.: ил.
2. Белов М.П., Новиков В. А., Рассудов Л.Н., Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов: Учебник для вузов. – М: Издательский центр “Академия”, 2004. – 576 с.
3. Автоматизированный электропривод. Методические указания по выполнению курсового проектирования; д.т.н., проф. В. М. Шестаков, к.т.н. А. Е. Епишкин., ПИМаш, 2004.
4. Черпаков Б.И., Альперович Т.А., Металлорежущие станки: Учебник для. – М: Издательский центр “Академия”, 2003. – 368 с.
5. Под ред. Новикова В.А. Инжиниринг электроприводов и систем автоматизации. – М.: Академия, 2006.
6. Дьяконов В.А. Simulink 4. Специальный справочник. – СПб.: Питер, 2002.