

*АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ МОДЕРНИЗАЦИИ ТЕХНИЧЕСКИХ
ПОКАЗАТЕЛЕЙ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ ПОСРЕДСТВОМ
МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ*

И.В. ЗЕМЛЯНОЙ, М.В. ШИШКИН, Д.В. ДМИТРЕНКО

*Кубанский государственный технологический университет,
350072, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Московская, 2;
электронная почта: lordikpro@mail.ru*

Модернизация станков способствует более эффективному использованию оборудования, находящегося в эксплуатации продолжительное время. Появляется необходимость приближать технические показатели к уровню новых разработок путём модернизации. В данной работе объектом исследования является привод планшайбы многооперационного токарно-карусельного обрабатывающего центра. Цель исследования - провести моделирование и анализ показателей точности позиционирования привода планшайбы токарно-карусельного обрабатывающего центра. В результате исследования разработана трехконтурная система подчиненного управления с тиристорным регулятором напряжения. Основные конструктивные и технико-экономические показатели: высокая точность обработки детали при высокой скорости резания.

Ключевые слова: планшайба, привод, рассогласование, переходный процесс, ПИ-регулятор, S-модель.

Современный технологический уклад предъявляет новые требования к процессам механообработки крупногабаритных деталей на многооперационных обрабатывающих центрах. Наиболее актуальными становятся вопросы повышения комплексности металлообработки деталей, сокращение стоимости владения технологией, повышения уровня безопасности эксплуатации, применение инноваций в механизмах, материалах и организационных процессах.

В настоящей работе проведено исследование двигателя постоянного тока с независимым возбуждением (ДПТ НВ) как объекта управления, который питается тиристорным регулятором напряжения (ТРН). К валу двигателя подсоединена часть привода.

Примем все сигналы информационной части, изменяющиеся от -1 до +1 [1].

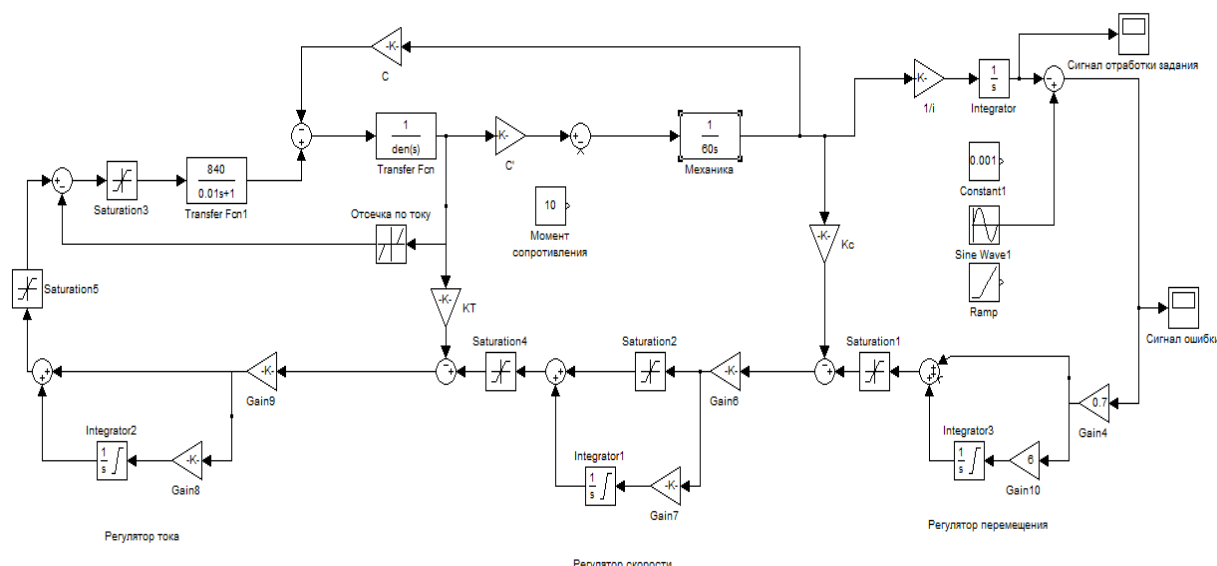


Рисунок 1 - S модель исследуемой системы в программе Simulink

Из ТРН сигнал, а точнее $U_{я}$, поступает на вход сумматора с положительным знаком. Результат суммирования поступает на обмотки двигателя, а на схеме – на вход передаточной функции «TransferFcn», она равна:

$$W_{л\phi} = \frac{1}{L_{я}S + R_{я}}, \quad (1)$$

где $L_{я}$ и $R_{я}$ – индуктивность якоря и индуктивное сопротивление соответственно – это каталожные величины. $L_{я} = 0.0015$ Гн, $R_{я} = 0.127$ Ом.

После усилителя с коэффициентом усиления, равным коэффициенту момента, сигнал поступает на сумматор с положительным знаком. К этому сумматору с отрицательным знаком подходит сигнал момента. Этот момент действует против момента двигателя, например, это может быть момент силы резания. Но нужно учитывать, что момент силы резания должен быть приведен к валу двигателя. Далее из сумматора сигнал поступает в передаточную функцию «Механика».

При моделировании регулятора перемещения результат суммирования поступает в регулятор перемещения. Регулятором перемещения является ПИ регулятор. Который будем настраивать инженерным способом, пока не

получим желаемый результат. Сигнал, который выходит из регулятора перемещения поступает на вход сумматора с положительным знаком. К этому сумматору с отрицательным знаком подходит сигнал, который выходит из усилителя «КС». Далее сигнал поступает на регулятор скорости, потом на регулятор тока и затем на ТРН [2].

Синтез контура скорости и контура тока будем производить по методике Михайлова О.П. Методика Михайлова основана на том, что обратной связью по противоЭДС можно пренебречь если выполняется условие:

$$T_m + \frac{T_\alpha}{5} \geq 5 \cdot \tau, \quad (2)$$

где T_m – электромеханическая постоянная времени;

T_α – электромагнитная постоянная времени;

$\tau = 0.01$.

$$T_m = \frac{J \cdot R_\alpha}{c^2} \quad (3)$$

Примем $J = 20$, т.к. это наиболее меньшее значение для приведённого момента инерции.

$$T_m = \frac{20.065 \cdot 0.127}{1.22^2} = 1.71 \text{ с.}$$

$$T_\alpha = \frac{L_\alpha}{R_\alpha};$$

$$T_\alpha = \frac{0.0015}{0.127} = 0.0118$$

Так как $1.71 + \frac{0.0118}{5} \geq 0.05$ – условие выполняется, но в Simulink проверим, как лучше работает система с обратной связью или без неё.

В качестве регулятора скорости будем использовать ПИ регулятор. По методике Михайлова коэффициенты ПИ регулятора равны:

$$T_{pc} = 8 \cdot \tau;$$

$$T_{pc} = 8 \cdot 0.01 = 0.08$$

$$K_{pc} = \frac{c \cdot K_m \cdot T_m}{4 \cdot \tau \cdot K_c \cdot R_x},$$

где $T_m = \frac{J \cdot R_x}{c^2}$;

J – примем среднее значение приведённого момента инерции. $J = 60 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$

$$T_m = \frac{60 \cdot 0,127}{1,220689^2} = 5,1138 \text{ с.}$$

$$K_{pc} = \frac{1,220689 \cdot 0,0034482 \cdot 5,1138}{4 \cdot 0,01 \cdot 0,00161 \cdot 0,127} = 2631$$

В качестве регулятора тока используется ПИ регулятор. По методике Михайлова коэффициенты этого регулятора равны:

$$T_{pm} = T_x;$$

$$T_{pm} = 0,0118 \text{ с.}$$

$$K_{pm} = \frac{T_x \cdot R_x}{2 \cdot \tau \cdot K_n \cdot K_m}$$

$$K_{pm} = \frac{0,0118 \cdot 0,127}{2 \cdot 0,01 \cdot 840 \cdot 0,00344827} = 0,02587$$

После окончания настройки системы, необходимо определить какие сигналы будут использованы, как задающие. Задающим сигналом является угол поворота планшайбы [1]. Следовательно, необходимо использовать три вида сигналов:

1. Constant – задание постоянного по уровню сигнала.
2. SineWave – формирование синусоидального сигнала с заданной частотой, амплитудой, фазой и смещением.
3. Ramp – возрастающий с постоянной скоростью сигнал.

Система тестировалась на трёх задающих сигналах и для каждого сигнала заданы два значения момента инерции (когда планшайба пустая $J = 20 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ и когда на планшайбе находится максимальная заготовка $J = 100 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$).

Система должна удовлетворять заранее поставленному условию: ошибка рассогласования задающего сигнала и отработанного не должна превышать 20 мкм. Следовательно, после того, как закончился переходной процесс и система установилась, сигнал рассогласования не должен превышать значения в $2 \cdot 10^{-5}$.

Тестирование системы:

Первый случай (рисунок 2):

- момент инерции: $J = 20 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$;
- источник сигнала: Constant;
- инженерным способом настроили при этом регулятор перемещения;
- $K_p = 0.2$.

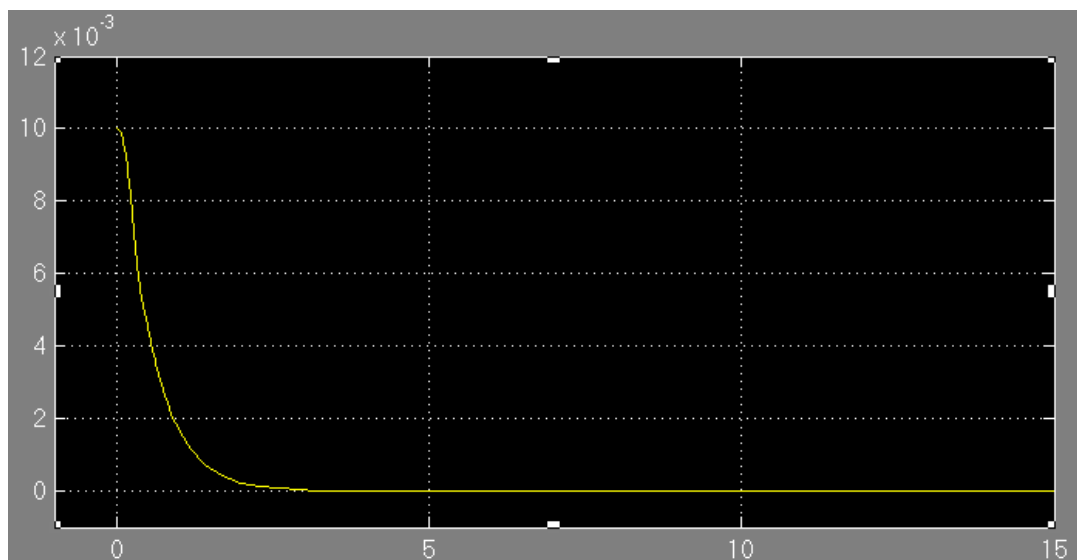


Рисунок 2 - Сигнал рассогласования при моменте инерции: $J = 20 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ и источник сигнала: Constant.

Система обладает хорошим быстродействием $t_p = 4 \text{ с}$ и установившееся значение ошибки $\epsilon_{\text{уст}} = 0 \text{ рад}$.

В данном случае система работает удовлетворительно.

Второй случай (рисунок 3):

- момент инерции: $J=20 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$;
- источник сигнала: SineWave.

При задании сигнала с помощью SineWave система не обладает нужной точностью, абсолютная максимальная ошибка равна $\varepsilon=0.0084$ рад при максимальной $\varepsilon=0.00002$ рад.

Отсюда можно сделать вывод, что П регулятор в качестве регулятора перемещения работает неудовлетворительно.

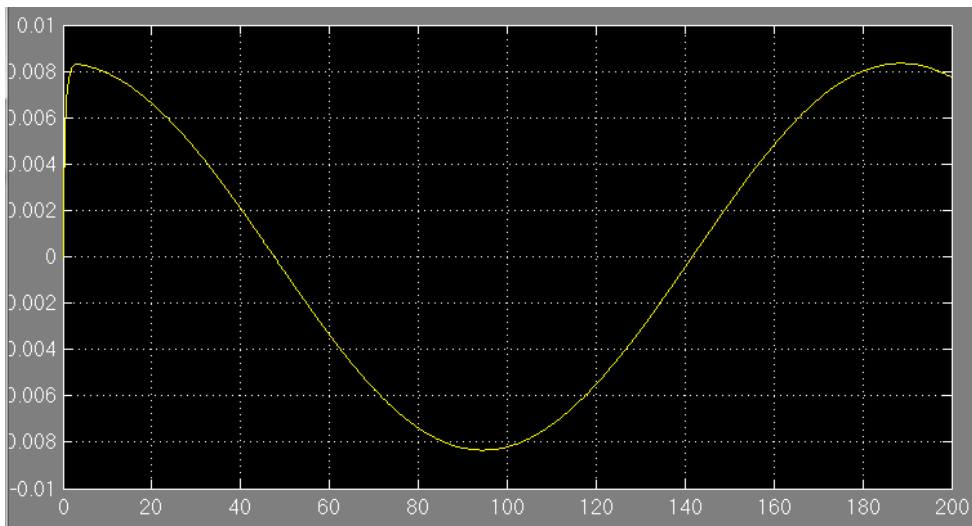


Рисунок 3 - Сигнал рассогласования при моменте инерции: $J = 20 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ и источник сигнала: SineWave.

Третий случай (рисунок 4):

- момент инерции: $J=20 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$;
- источник сигнала: Ramp.

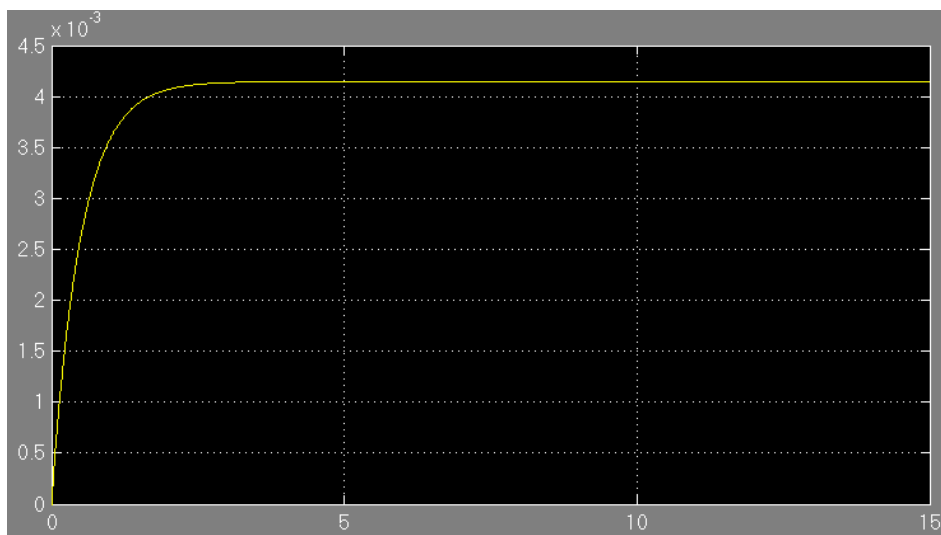


Рисунок 4 – Сигнал рассогласования при моменте инерции: $J = 20 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ и источник сигнала: Ramp.

В данном случае П регулятор не подходит. Ошибка равна $\varepsilon = 0.0042 \text{ рад}$, при максимальной $\varepsilon = 0.00002 \text{ рад}$.

Заменяем регулятор перемещения на ПИ регулятор. Также необходимо проверить все 6 случаев и если какой-нибудь из них не подойдёт, то систему необходимо будет ещё дополнять [2].

Первый случай (рисунок 5,6):

- момент инерции: $J=20 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$;
- источник сигнала: Constant;
- ПИ регулятор настраиваем инженерным способом;
- $K_p = 0.7, T_d = 6$.

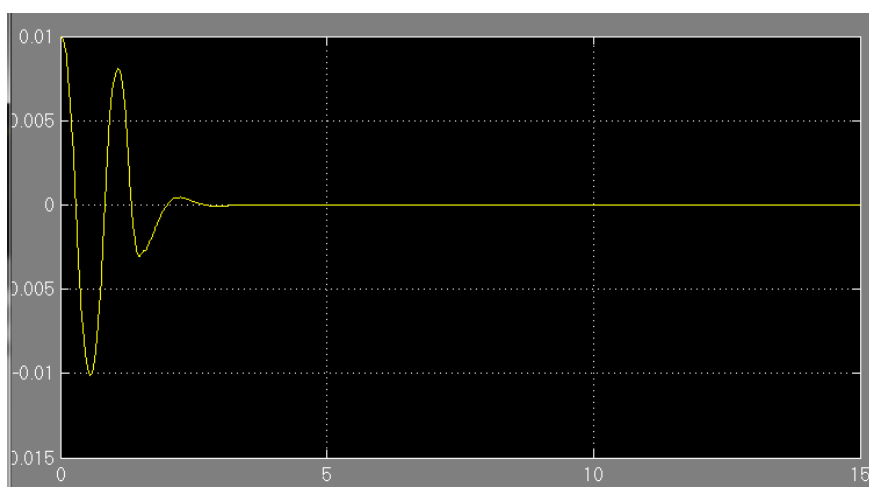


Рисунок 5 - Сигнал рассогласования при моменте инерции: $J = 20 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ и источник сигнала: Constant.

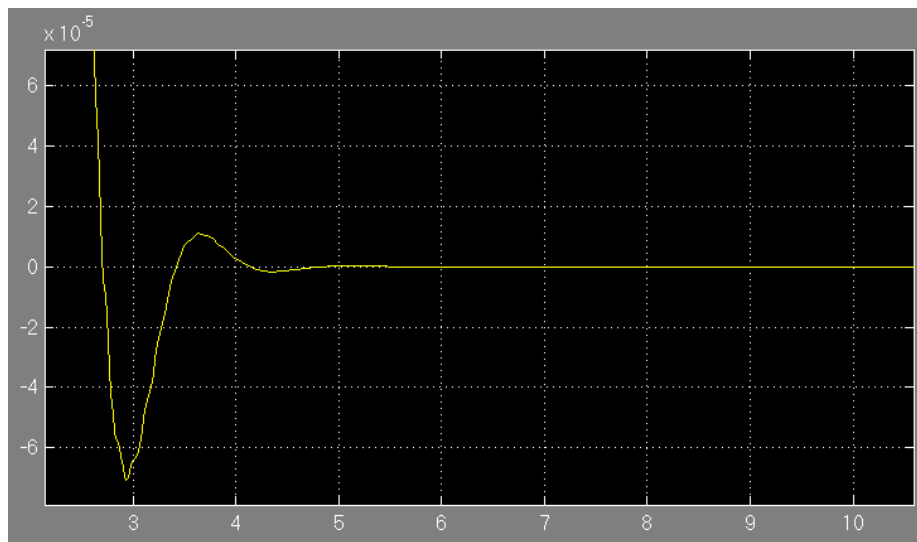


Рисунок 6 - Конец переходного процесса при моменте инерции: $J = 20 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ и источник сигнала: Constant.

Из графика видно, что $t_p = 3.3 \text{ с}$ и установившееся значение ошибки $\epsilon_{уст} = 0 \text{ рад}$.

С таким источником сигнала система работает неудовлетворительно.

Второй случай (рисунок 7,8):

- момент инерции: $J = 20 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$;
- источник сигнала: SineWave.

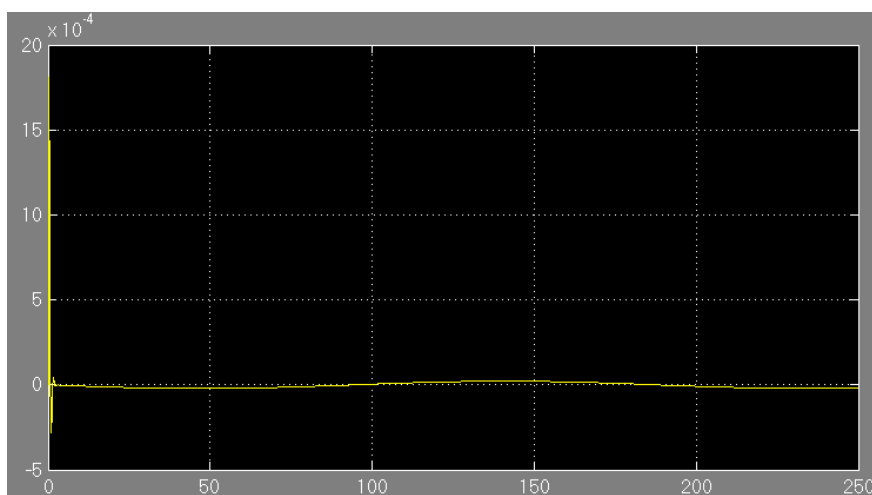


Рисунок 7 - Сигнал рассогласования при моменте инерции: $J = 20 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ и источник сигнала: SineWave.

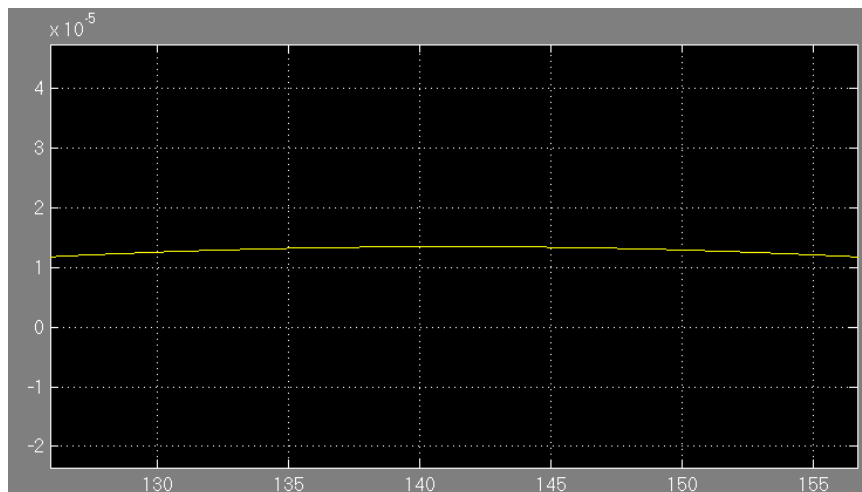


Рисунок 8 - Увеличенная часть сигнала рассогласования с наибольшим отклонением при моменте инерции: $J = 20 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ и источник сигнала: SineWave.

При задании сигнала с помощью SineWave система не обладает нужной точностью, абсолютная максимальная ошибка равна $\varepsilon=0.000014$ рад при максимальной $\varepsilon=0.00002$ рад.

Отсюда можно сделать вывод, что ПИ регулятор в качестве регулятора перемещения подходит.

Третий случай (рисунок 9):

- момент инерции: $J=20 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$;
- источник сигнала: Ramp.

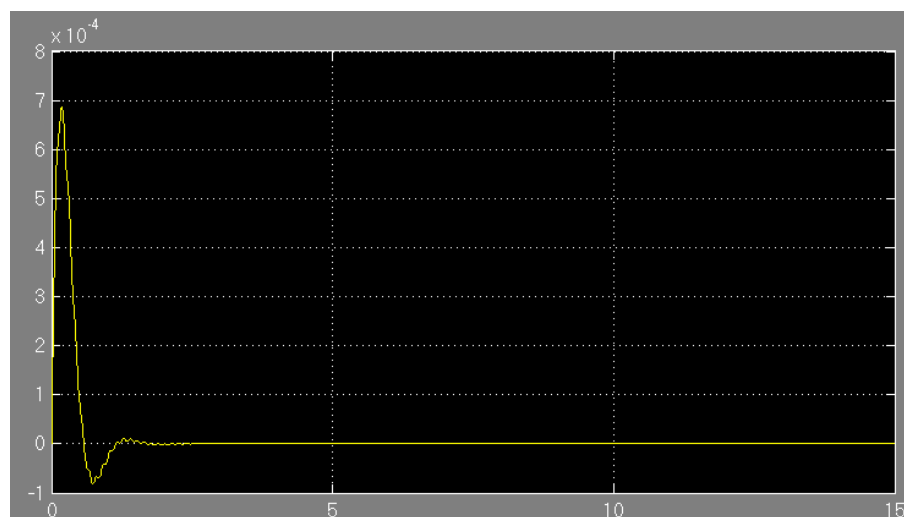


Рисунок 9 - Сигнал рассогласования при моменте инерции: $J = 20 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ и источник сигнала: Ramp

Из графика видно, что $t_p = 1$ с и установившееся значение ошибки $\varepsilon_{уст} = 0$ рад.

При случае, когда планшайба без заготовки ПИ регулятор полностью удовлетворяет условиям функционирования системы.

В данной статье смоделирован привод планшайбы многооперационного токарно-карусельного обрабатывающего центра VMG40, обеспечивающий высокую скорость перемещения планшайбы и высокую точность позиционирования. Так же была смоделирована система управления для двух двигателей привода планшайбы. Данная система отвечает всем требованиям к точности и скорости позиционирования. Были произведены расчеты параметров автоматических регуляторов системы управления двигателями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Насибов З.Г., Кичкарь Ю.Е., Корниенко В.Г. Моделирование систем управления. Ч 1: Учеб. Пособие/Кубан. гос. технол. ун-т. – Краснодар: Изд. КубГТУ, 2003. 180 с.
2. Насибов З.Г., Кичкарь Ю.Е., Корниенко В.Г. Моделирование систем управления. Ч 2: Учеб. Пособие/Кубан. гос. технол. ун-т. – Краснодар: Изд. КубГТУ, 2003. – 117 с.

REFERENCES

1. Nasibov Z.G., Kichkar Yu.E., Kornienko V.G. Modelirovanie sistem upravlenii. Ch 1: Ucheb. Posobie/Kuban. gos. tekhnol. un-t. – Krasnodar: Izd. KubGTU, 2003. 180 s.
2. Nasibov Z.G., Kichkar Yu.E., Kornienko V.G. Modelirovanie sistem upravlenii. Ch 2: Ucheb. Posobie/Kuban. gos. tekhnol. un-t. – Krasnodar: Izd. KubGTU, 2003. – 117 s.

*ANALYSIS OF THE POSSIBILITY OF MODERNIZATION OF TECHNICAL
PARAMETERS MACHINE TOOL BY MATHEMATICAL MODELING*

I.V. ZEMLYANOV, M.V. SHISHKIN, D.V. DMITRENKO

*Kuban State Technological University,
2, Moskovskaya st., Krasnodar, Russian Federation, 350072;
e-mail: lordikpro@mail.ru*

Lathe modernization contributes to more efficient use of equipment in service for a long time. There is a necessity to approach Technical indicators to the level of new developments by upgrading. In this paper, the object of this study is to drive faceplate multioperational turning-rotary machining cent. The purpose of research - to conduct simulation and analysis of the accuracy of the positioning drive faceplate turning and boring machining cent. The study is designed three-loop control system is subordinate to the thyristor voltage regulator. The main design and technical and economic indicators: high precision parts machining at high cutting speeds.

Key words: faceplate, drive, mismatch, transition process, PID controller, S-model.