

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
“БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ”**

КАФЕДРА АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к лабораторным работам по дисциплине
«Промышленная робототехника»
для студентов специальности 1-53 01 01
«Автоматизация технологических процессов и производств»

Брест 2023

УДК 681.5

В методических указаниях содержится описание четырех лабораторных работ по промышленной робототехнике. Приведены краткие теоретические сведения по исследуемым приводам манипуляционных роботов и системам управления приводами, порядок выполнения работ, требования к оформлению отчета и контрольные вопросы. Содержание изложенного материала соответствует действующим образовательным программам и предназначено для использования студентами специальности «Автоматизация технологических процессов и производств» при подготовке к лабораторным работам и их выполнении.

Составители: О. Н. Прокопеня, доцент, к. т. н.
А. С. Лапука, ассистент

Рецензент – главный инженер ОАО "Автометрия" А. В. Шацкий

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
Лабораторная работа № 1. Анализ привода робота с широтно-импульсным регулированием	4
Лабораторная работа № 2. Анализ привода робота с токовым управлением двигателем.....	7
Лабораторная работа № 3. Настройка привода звена робота с компенсацией гравитационной нагрузки.....	11
Лабораторная работа № 4. Анализ взаимного влияния приводов манипуляционного робота	15
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	19

ПРЕДИСЛОВИЕ

Данный курс включает в себя выполнение четырех лабораторных работ, на каждую из которых отводится четыре академических часа. Лабораторные работы выполняются на компьютере с использованием среды программирования MATLAB. Лабораторные работы посвящены анализу приводов и систем управления манипуляционных роботов методами математического моделирования с учетом особенностей работы данного оборудования и предъявляемых к нему требований.

Методические указания к каждой работе содержат общие сведения об исследуемом объекте, порядок выполнения работы, требования к отчету. Общие сведения могут включать в себя теоретические зависимости, описывающие поведение объекта, специфические требования к системе управления и способы их обеспечения, что должно учитываться при разработке математического описания. Приведенные в общем виде математические модели, построенные в приложении Simulink, позволяют сэкономить время на их разработку и сосредоточиться главным образом на процессе моделирования и анализе результатов. Студенту лишь необходимо адаптировать модель с учетом исходных данных своего варианта, выполнив соответствующие расчеты.

Вопросы к зачету, которые приводятся в конце каждой работы, дают возможность проконтролировать качество усвоения материала.

Отчет по лабораторной работе должен содержать общий вид математической модели, расчет численных значений параметров модели по своему варианту, результаты моделирования в графическом виде. Каждая работа обязательно должна содержать выводы, отражающие полученные результаты. В них необходимо отразить, насколько исследуемая система соответствует предъявляемым требованиям.

Лабораторная работа № 1

АНАЛИЗ РАБОТЫ ПРИВОДА С ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ

Цель работы: изучить влияние параметров широтно-импульсного регулятора (ШИР) на динамические характеристики привода робота.

Общие сведения

В составе промышленных роботов широко используются приводы позиционирования звеньев на основе двигателей постоянного тока. К данным приводам предъявляются довольно жесткие требования по качеству переходных процессов, в частности отсутствие перерегулирования. Это можно обеспечить при синтезе системы управления методом размещения полюсов. В этом случае привод представляет собой трехконтурную систему с обратными связями по перемещению, скорости и току двигателя. Данный метод рассматривался в курсе теории автоматического управления. Математическая модель привода, синтезированная методом размещения полюсов, построенная в приложении Simulink программного пакета MATLAB представлена на рисунке 1.1.

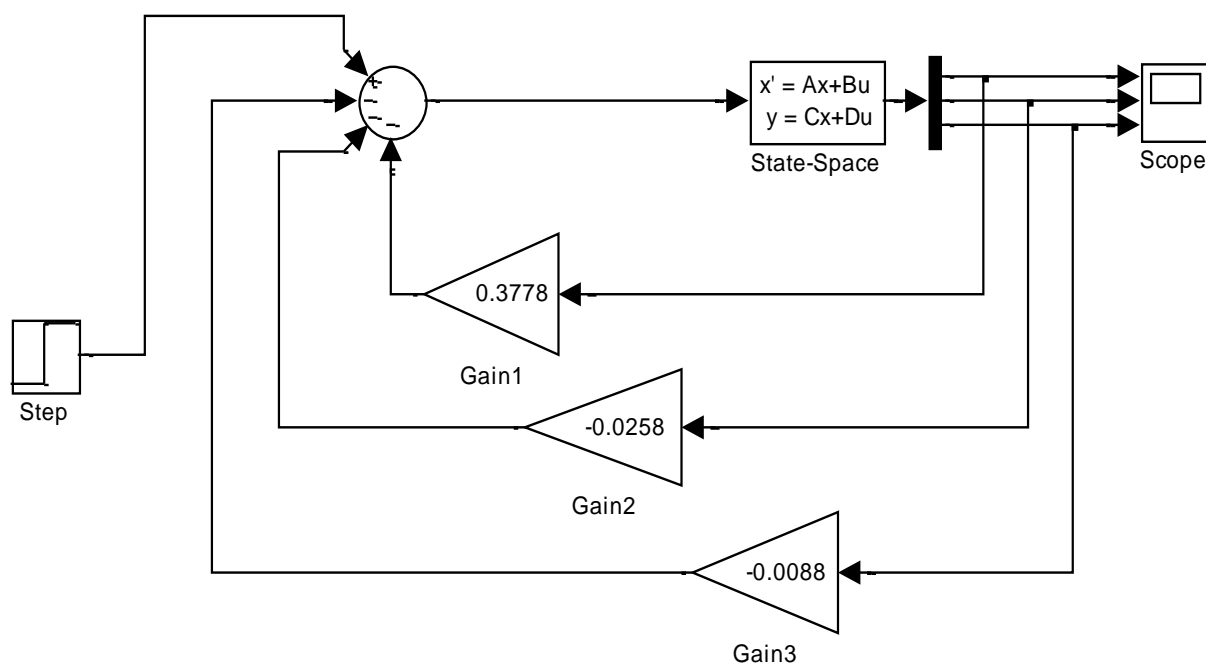


Рисунок 1.1 – Математическая модель привода в приложении Simulink

В качестве силового преобразователя для управления двигателем постоянного тока в таких приводах, как правило, используется широтно-импульсный регулятор (ШИР). Из курса электропривода известно, что питание двигателя импульсным напряжением отражается на его механических характеристиках. В частности, снижается жесткость характеристик и появляется зона прерывистых токов при близких к нулю моментах нагрузки, в пределах которой жесткость характеристик еще ниже, чем на основной части. Это может оказывать влияние на работу двигателя и переходные характеристики привода, которые определяют качество регулирования. Оценить это влияние можно методами математического моделирования.

На рисунке 1.2 показана математическая модель привода с ШИР, построенная в приложении Simulink. Данная модель позволяет исследовать влияние таких параметров ШИР, как частота модуляции и амплитуда выходных импульсов.

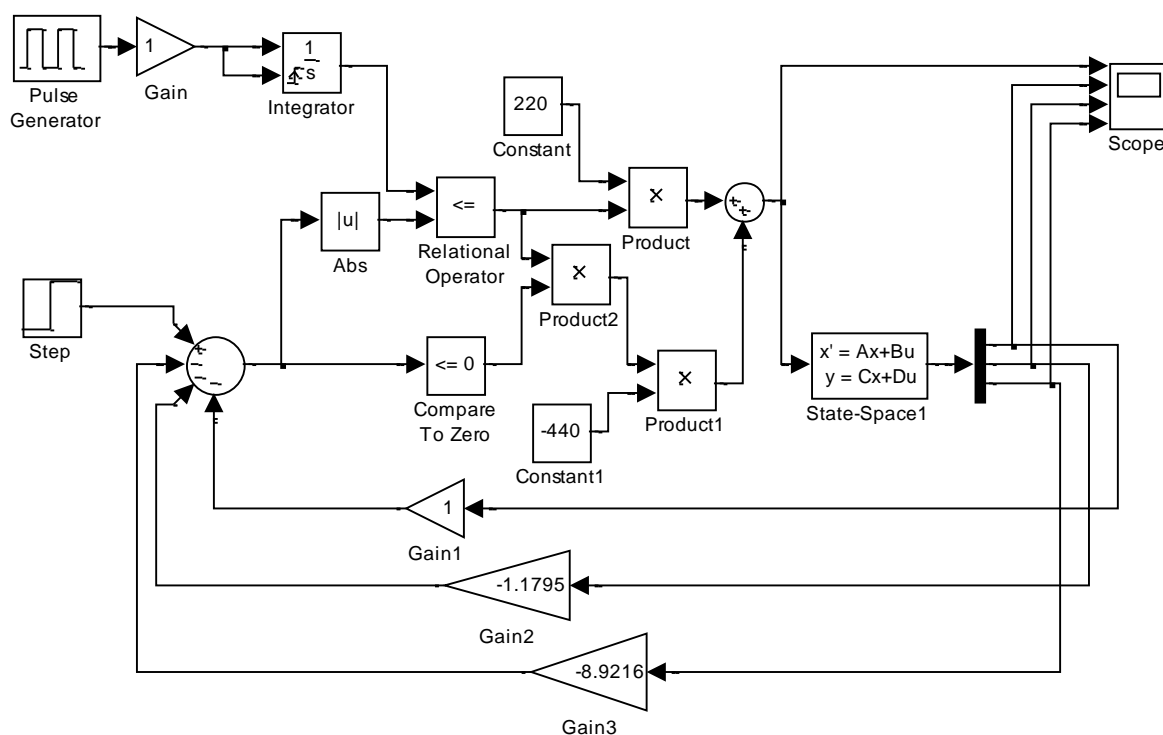


Рисунок 1.2 – Математическая модель привода с ШИР в приложении Simulink

Порядок выполнения работы

1. Для заданного варианта электродвигателя получить математическую модель в переменных состояния (рассчитать матрицы A, B, C, D). Значения матриц задаются в блоке State Space математической модели привода (рисунок 1.1).

2. Выполнить синтез системы методом размещения полюсов (рассчитать коэффициенты обратных связей K_1 , K_2 , K_3 по переменным состояния). При этом желаемые значения полюсов системы рассчитать, исходя из заданных значений перерегулирования σ и времени регулирования t_p . Найденные значения коэффициентов задать в блоках Gain1, Gain2, Gain3 модели.

3. Построить переходную характеристику привода (осциллограмму с помощью блока Scope) и определить показатели качества.

3. Установить соответствующие значения матриц A, B, C, D в блоке State Space 1 и коэффициентов K_1 , K_2 , K_3 в блоках Gain1, Gain2, Gain3 соответственно, модели привода с ШИР (рисунок 1.2).

4. Исследовать влияние частоты модуляции на показатели качества переходного процесса. Выявить минимальное значение частоты модуляции, при котором ШИР не оказывает существенного влияния на работу привода (переходные характеристики по двум моделям практически одинаковы).

Частота модуляции задается посредством обратной величины (периода следования импульсов) в блоке Pulse Generator. Амплитуду импульсов следует задавать как обрат-

ную величину от периода следования (чем короче импульс, тем больше его амплитуда), так чтобы пилообразное напряжение на выходе блока Integrator не изменялось по уровню.

Содержание отчета

1. Наименование и цель работы.
2. Расчет матриц A , B , C , D и коэффициентов K_1 , K_2 , K_3 для заданного двигателя с обоснованием выбора желаемых полюсов системы.
3. Графическое изображение математических моделей в приложении Simulink с найденными значениями коэффициентов.
4. Переходная характеристика синтезированной системы с расчетом численных значений показателей качества.
5. Переходная характеристика привода с ШИР при найденном минимальном значении частоты модуляции.
6. Выводы о влиянии частоты модуляции на качество переходного процесса. Необходимо указать, какие показатели качества зависят от частоты модуляции в большей или меньшей степени.

Все пункты отчета должны сопровождаться краткими пояснениями.

Контрольные вопросы

1. Как выглядят механические характеристики двигателя постоянного тока при питании импульсным напряжением?
2. В чем заключается влияние импульсного напряжения на характеристики?
2. Что такое зона прерывистых токов и чем обусловлено ее наличие?
3. В чем заключается принцип широтно-импульсной модуляции?
4. Чем определяется среднее значение напряжения на выходе ШИР?
5. Чем ограничиваются нижнее и верхнее значения частоты модуляции?
6. Какие электронные приборы используются в качестве ключевых элементов в составе ШИР?
7. От чего зависят потери в ключевых элементах ШИР?
8. Какими преимуществами обладают импульсные источники напряжения?
9. Исходя из каких требований осуществляется выбор желаемых значений полюсов при синтезе системы методом размещения полюсов?
10. По каким переменным осуществляется обратная связь в рассматриваемом приводе?
11. Какие типы датчиков могут использоваться для измерения переменных состояния в рассматриваемом приводе?
12. Какие показатели качества изменяются с изменением частоты модуляции?

Лабораторная работа № 2

АНАЛИЗ ПРИВОДА РОБОТА С ТОКОВЫМ УПРАВЛЕНИЕМ ДВИГАТЕЛЕМ

Цель работы: ознакомиться с принципом токового управления двигателем постоянного тока, способами его реализации, а также методами расчета привода с токовым управлением с использованием математического моделирования.

Общие сведения

Работа привода на основе двигателя постоянного тока с учетом редуктора описывается уравнениями

$$\dot{\alpha} = k_P \omega; \quad (2.1)$$

$$J_P \cdot \dot{\omega} = c_M \cdot I_{Я}; \quad (2.2)$$

$$L_{Я} \cdot \dot{I}_{Я} + (R_{Я} + R_{ДП}) \cdot I_{Я} + c_e \cdot \omega = U_{Я}; \quad (2.3)$$

где α – угол поворота выходного звена;

ω – угловая скорость вала двигателя;

$I_{Я}$ – ток обмотки якоря двигателя;

J_P – момент инерции ротора;

$L_{Я}$ – индуктивность обмотки якоря;

$R_{Я}$ и $R_{ДП}$ – сопротивление обмотки якоря и обмотки дополнительных полюсов;

k_P – коэффициент передачи редуктора;

c_e и c_M – постоянные двигателя.

Уравнение (2.3) описывает взаимосвязь между током в якорной обмотке и приложенным к нему напряжением. На изменение тока оказывает влияние индуктивность обмотки и наводимая в ней при вращении в магнитном поле противо-ЭДС. Если управление обмоткой осуществлять от источника тока, который способен обеспечивать заданный ток вне зависимости от действия указанных факторов, то работа двигателя описывается первыми двумя уравнениями, из которых можно получить передаточные функции

$$W_1(s) = \frac{\omega(s)}{I_{Я}(s)} = \frac{c_M}{J_P s}; \quad (2.4)$$

$$W_2(s) = \frac{\alpha(s)}{\omega(s)} = \frac{k_P}{s}. \quad (2.5)$$

Таким образом, двигатель может быть представлен двумя интегрирующими звеньями с соответствующими коэффициентами. При замыкании такого объекта цепью обратной связи получаем неустойчивую систему. Решить данную проблему можно использованием пропорционально-дифференциального регулятора (ПД-регулятора) с передаточной функцией

$$W_P(s) = k_D s + k_{II}, \quad (2.6)$$

где k_D и k_{II} – коэффициенты передачи по дифференциальной и пропорциональной составляющим.

Соответствующая математическая модель привода с токовым управлением двигателем при использовании ПД-регулятора, построенная в приложении Simulink, приведена на рисунке 2.1. Коэффициенты k_D и k_{II} регулятора заданы в блоках Gain 3 и Gain 2, а передаточные функции (2.4), (2.5) в блоках Transfer Fcn 3, Transfer Fcn 1.

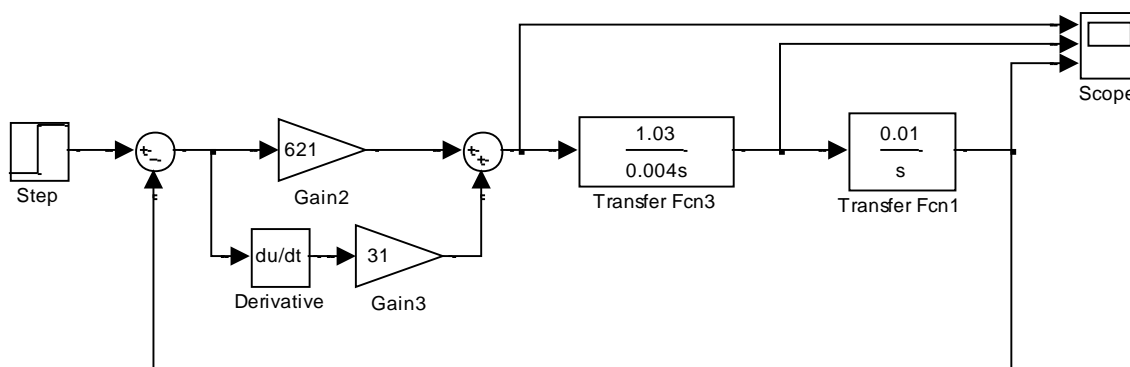


Рисунок 2.1 – Математическая модель привода с ПД-регулятором в приложении Simulink

Полученная замкнутая система имеет передаточную функцию второго порядка

$$\Phi(s) = \frac{c_M k_P (k_D s + k_{II})}{J_P s^2 + c_M k_P k_D s + c_M k_P k_{II}}. \quad (2.7)$$

Отсюда характеристическое уравнение

$$T^2 s^2 + 2\xi T s + 1 = 0, \quad (2.8)$$

где $T = \sqrt{\frac{J_P}{c_M k_P k_{II}}}$ – постоянная времени колебательного звена;

$\xi = \frac{k_D}{2} \sqrt{\frac{c_M k_P}{J_P k_{II}}}$ – коэффициент демпфирования.

Для системы второго порядка при критическом демпфировании $\xi = 1$ и допустимом отклонении регулируемой переменной от заданного значения 2 % время регулирования $t_P = 6T$. Следовательно, заданное значение t_P можно обеспечить выбором соответствующего значения k_{II} .

В свою очередь, $\xi = 1$ обеспечивает отсутствие перерегулирования. Этого можно достичь подбором k_D .

Таким образом, за счет настройки ПД-регулятора (выбора коэффициентов k_D и k_{II}) можно обеспечить требуемое быстродействие привода при отсутствии перерегулирования.

Реализовать токовое управление двигателем на практике можно, построив источник с обратной связью по току, обладающий высоким быстродействием. Можно также компенсировать влияние индуктивности включением в прямую цепь дифференцирующего звена с передаточной функцией

$$W(s) = L_{\text{Я}}s + (R_{\text{Я}} + R_{\text{ДП}}), \quad (2.9)$$

а также компенсировать влияние противо-ЭДС за счет положительной обратной связи по скорости через коэффициент c_e . Математическая модель с соответствующими цепями коррекции приведена на рисунке 2.2.

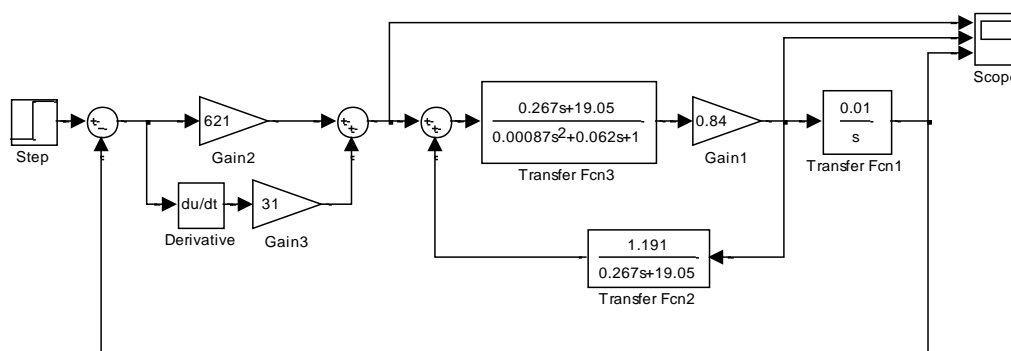


Рисунок 2.2 – Математическая модель привода при практической реализации токового управления в приложении Simulink

В данной модели передаточная функция дифференцирующего звена (2.9) включена во внутренний контур и объединена в блоке Transfer Fcn 3 с передаточной функцией двигателя

$$W_{\text{Д}}(s) = \frac{1}{\frac{J_{\text{P}}L_{\text{Я}}}{c_e c_{\text{M}}} s^2 + \frac{J_{\text{P}}(R_{\text{Я}} + R_{\text{ДП}})}{c_e c_{\text{M}}} s + 1}, \quad (2.10)$$

а коэффициент $k_e = 1/c_e$ вынесен в блок Gain 1.

Для того чтобы исключить влияние дифференцирующего звена на сигнал обратной связи, его передаточная функция включена в знаменатель передаточной функции цепи обратной связи (заданной в блоке Transfer Fcn 2)

$$H(s) = \frac{c_e}{L_{\text{Я}}s + (R_{\text{Я}} + R_{\text{ДП}})}. \quad (2.11)$$

Можно показать, что передаточные функции систем, представленных на рисунках 2.1, 2.2, одинаковы. Это значит, что в системе, представленной на рисунке 2.2, также осуществляется токовое управление двигателем.

Порядок выполнения работы

1. Для заданного двигателя рассчитать постоянные c_e , c_{M} и коэффициенты передаточной функции.

2. Рассчитать коэффициенты ПД-регулятора из условия обеспечения заданного времени регулирования и критического демпфирования $\xi = 1$.

3. В приложении Simulink построить математические модели привода в соответствии с рисунками 2.1, 2.2 и ввести численные значения параметров, найденные для заданного двигателя.

4. С помощью полученных моделей построить переходные характеристики привода, определить показатели качества и сравнить с заданными.

5. Сделать вывод о возможности обеспечения заданных требований по качеству регулирования с использованием токового управления двигателем.

Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Расчет передаточной функции двигателя.
3. Расчет параметров ПД-регулятора.
4. Математические модели привода с токовым управлением, построенные в приложении Simulink.
5. Переходные характеристики привода с расчетом показателей качества.
6. Выводы.

Контрольные вопросы

1. В чем заключается токовое управление двигателем?
2. Какими способами можно реализовать токовое управление двигателем?
3. Какой вид имеет передаточная функция двигателя при токовом управлении?
4. Какие задачи решаются за счет использования ПД-регулятора в приводе с токовым управлением?
5. Из каких условий рассчитываются коэффициенты ПД-регулятора?
6. Выбором какого коэффициента регулятора обеспечивается требуемое быстродействие привода?
7. За счет чего обеспечивается отсутствие перерегулирования в приводе?

Лабораторная работа № 3

НАСТРОЙКА ПРИВОДА ЗВЕНА РОБОТА С КОМПЕНСАЦИЕЙ ГРАВИТАЦИОННОЙ НАГРУЗКИ

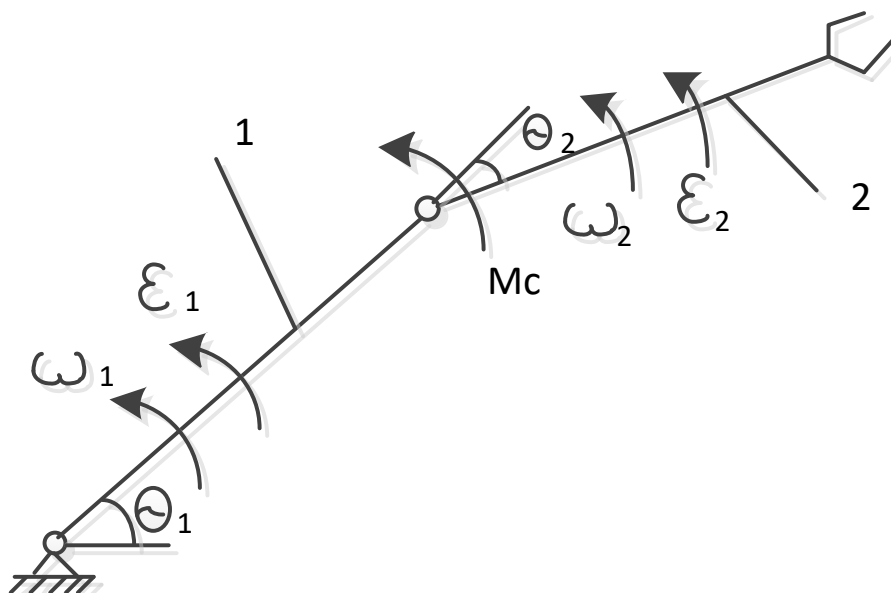
Цель работы: изучить влияние гравитационной нагрузки звена на характер движения и показатели точности работы привода, а также способы компенсации гравитационной нагрузки схемы их реализации.

Общие сведения

Силы тяжести звеньев и объектов, с которыми работает робот, а также создаваемые ими моменты оказывают дополнительное воздействие на приводы, что может рассматриваться как действие возмущений. Для звеньев с поступательным перемещением это воздействие не зависит от положения звена. Для звеньев с поворотным движением оно является гармонической функцией угла поворота, что делает систему управления нелинейной. Это нежелательно как с точки зрения работы системы, так и с точки зрения ее проектирования.

Если момент, создаваемый гравитационными силами, измерять либо вычислять в процессе движения, то на его основе можно сформировать компенсирующий сигнал и подавать его на вход системы совместно с управляющим сигналом. При этом получаем систему с компенсацией возмущения. В приводе с токовым управлением можно добиться полной компенсации гравитационного момента. В обычном приводе (когда двигатель управляется напряжением на обмотке якоря) полной компенсации можно добиться только в статике, исключив установившуюся ошибку от действия возмущения.

Для робота с шарнирно-сочлененной рукой (рисунок 3.1) компенсирующий момент можно сформировать на основе измерения угла поворота звена.



1 и 2 – звенья манипулятора; ω_1 и ω_2 – угловые скорости звеньев в относительном движении;
 ϵ_1 и ϵ_2 – угловые ускорения; θ_1 и θ_2 – углы поворота звеньев;
 M_c – момент в сочленении, создаваемый приводом второго звена

Рисунок 3.1 – Схема шарнирно-сочлененной руки робота

Величина компенсирующего момента для поворотного звена, равного моменту от гравитационной нагрузки, в общем случае

$$M_{ГР} = mgl_C \cos \theta , \quad (3.1)$$

где m – масса звена;

l_C – расстояние от оси вращения до центра тяжести;

θ – угол поворота звена относительно горизонтального положения.

Для привода звена 2

$$M_{ГР} = m_2gl_{2C} \cos(\theta_1 + \theta_2) \quad (3.2)$$

Для привода звена 1

$$M_{ГР} = m_1gl_{1C} \cos \theta_1 + m_2g(l_1 \cos \theta_1 + l_{2C} \cos(\theta_1 + \theta_2)) \quad (3.3)$$

Уравнение движения ротора с учетом гравитационного момента

$$J_P \cdot \dot{\omega} = c_M \cdot I_{Я} - M_{ГР} \quad (3.4)$$

Отсюда

$$\omega(s) = \frac{c_M}{J_{PP}} \cdot I_{Я}(s) - \frac{1}{J_{PP}} M_{ГР}(s) \quad (3.5)$$

На рисунке 3.2 приведена разработанная в приложении Simulink математическая модель привода поворотного звена робота с ПД-регулятором и компенсацией гравитационного момента. Гравитационный момент вычисляется согласно (3.1) с помощью блоков Trigonometric Function и Gain 3. С помощью блока Transfer Fcn из него формируется компенсирующий сигнал, поступающий на входной сумматор. Подбором коэффициента передачи в данном блоке можно добиться наилучшей компенсации гравитационного момента.

Порядок выполнения работы

1. Построить математическую модель системы в приложении Simulink в соответствии с рисунком 3.2.

2. Задать параметры звеньев и коэффициенты ПД-регулятора, полученные при выполнении лабораторной работы № 2.

3. Получить переходную характеристику системы при отключенной цепи компенсации, определить показатели качества и установившуюся ошибку системы.

4. Подобрать коэффициент передачи цепи компенсации (блок Transfer Fcn), при котором обеспечивается близкая к нулю установившаяся ошибка, построить переходную характеристику, определить показатели качества.

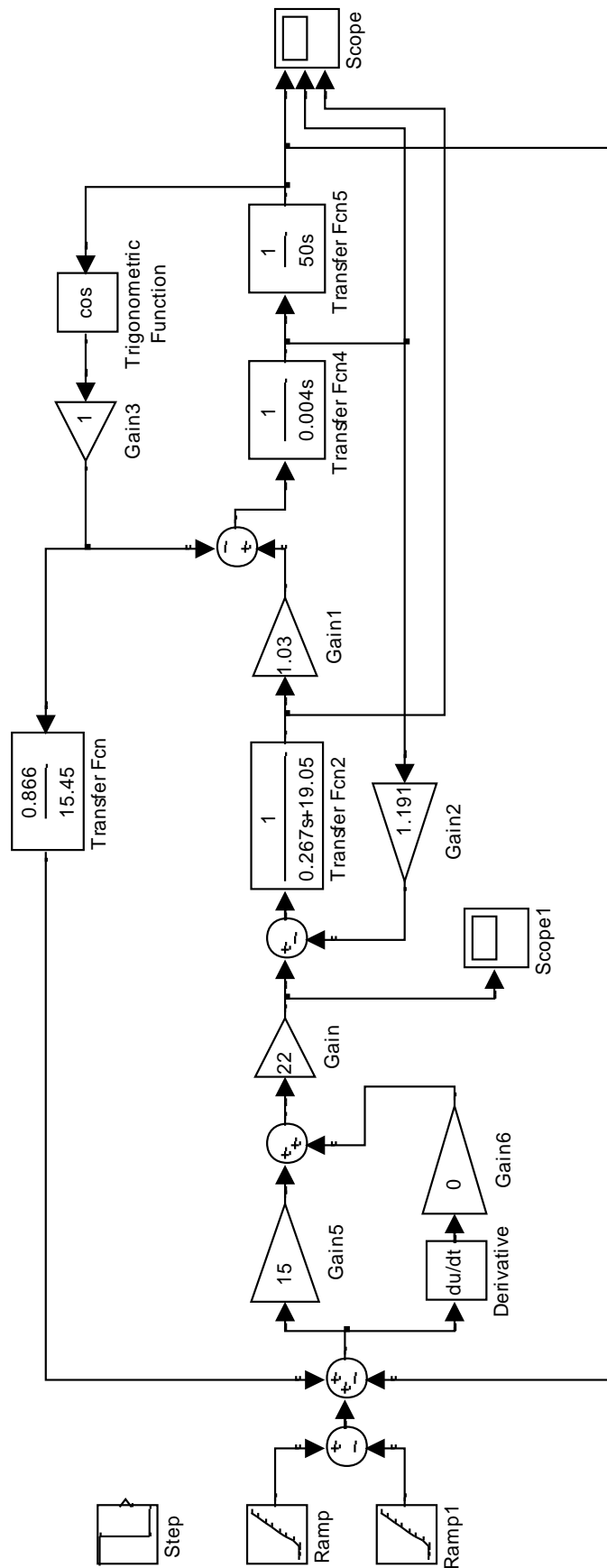


Рисунок 3.2 – Математическая модель привода звена робота с компенсацией гравитационной нагрузки в приложении Simulink

5. Скорректировать математическую модель, так, чтобы обеспечивалось токовое управление двигателем (см. лабораторную работу № 2), уточнить при необходимости коэффициент передачи цепи компенсации, построить переходную характеристику, определить показатели качества.

6. Сделать выводы о достигнутой степени компенсации влияния гравитационного момента на работу привода в статике и в динамике (по значениям показателей качества переходного процесса).

Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Определение функции изменения момента гравитационных сил в соответствии с заданием.
3. Математические модели исследованных вариантов привода в приложении Simulink.
4. Переходные характеристики исследованных вариантов привода с расчетом показателей качества и установившейся ошибки.
5. Выводы.

Контрольные вопросы

1. По какому закону изменяется момент сил гравитации для звена с поворотным движением?
2. Как действие момента сил гравитации влияет на установившуюся ошибку системы?
3. Как выглядит уравнение движения ротора двигателя с учетом действия момента сил гравитации?
4. Почему в приводах с горизонтальным перемещением выходного звена влияние сил гравитации меньше чем в приводах с вертикальным перемещением?
5. Каковы отрицательные последствия превращения системы в нелинейную?
6. Почему в приводах с токовым управлением можно обеспечить полную компенсацию действия гравитационного момента?
7. Почему в приводе с компенсацией гравитационного момента после завершения переходного процесса ток двигателя не равен нулю?
8. Как влияет компенсация гравитационного момента на показатели качества переходного процесса?

Лабораторная работа № 4

АНАЛИЗ ВЗАИМНОГО ВЛИЯНИЯ ПРИВODOB МАНИПУЛЯЦИОННОГО РОБОТА

Цель работы: изучить характер движения звеньев робота с учетом взаимного влияния приводов при различных режимах управления приводами и способах подачи управляющих сигналов.

Краткие теоретические сведения

В работе рассматривается робот с шарнирно-сочлененной рукой (см. рисунок 3.1). Привод каждого звена представляет собой трехконтурную систему с обратными связями по перемещению, скорости и току двигателя. Синтез каждого привода осуществляется методом размещения полюсов.

Взаимодействие приводов происходит через момент в сочленении между звеньями M_c , который создается приводом второго, но действует на оба звена в противоположных направлениях. Данный момент возникает и в том случае, когда команда на перемещение поступает только на один из приводов.

При отработке перемещения приводом первого звена второе звено поворачивается относительно первого вследствие инерции, что фиксируется датчиком угла поворота, и за счет действия обратной связи ток двигателя возрастает, чтобы создать удерживающий момент и вернуть звено в исходное положение (в идеале рука робота должна при этом двигаться как одно целое). Важно, чтобы данное движение происходило без колебаний.

При отработке перемещения вторым звеном момент передается на первое звено как реактивный, поскольку привод второго звена фактически установлен на первом звене.

Движение первого звена описывается уравнениями

$$\dot{\theta}_1 = k_{P1} \omega_1; \quad (4.1)$$

$$\dot{\omega}_1 = \frac{c_{M1}}{J_{ПР1}} \cdot I_{Я1} - \frac{c_{M2}}{J_{ПР1}} \frac{k_{P1}}{k_{P2}} \cdot I_{Я2}; \quad (4.2)$$

$$I_{Я1}^\square = -\frac{c_{e1}}{L_{Я1}} \cdot \omega_1 - \frac{(R_{Я1} + R_{ДП1})}{L_{Я1}} \cdot I_{Я1} + \frac{1}{L_{Я1}} U_{Я1}; \quad (4.3)$$

где θ – угол поворота звена робота (здесь и далее переменные с индексом 1 относятся к первому звену, переменные с индексом 2 – ко второму);

$J_{ПР}$ – приведенный к валу двигателя момент инерции всех подвижных частей привода, включая только первое звено.

Обозначения остальных переменных приведены в формулах (2.1)...(2.3).

В уравнении (4.2) ток двигателя привода второго звена $I_{Я2} = M_c k_{P2} / c_{M2}$ рассматривается как входная переменная для привода первого звена. При этом матрица входа в уравнениях состояния имеет вид

$$B = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ -\frac{c_{M2}}{J_{ПП1}} \frac{k_{P1}}{k_{P2}} \\ \frac{1}{L_{Я1}} & 0 \end{bmatrix} \quad (4.4)$$

Движение второго звена описывается уравнениями

$$\dot{\theta}_2 = k_{P2} \omega_2; \quad (4.5)$$

$$\dot{\omega}_2 = \frac{c_{M2}}{J_{ПП2}} \cdot I_{Я2} - \varepsilon_1; \quad (4.6)$$

$$I_{Я2}^{\square} = -\frac{c_{e2}}{L_{Я2}} \cdot \omega_2 - \frac{(R_{Я2} + R_{ДП2})}{L_{Я2}} \cdot I_{Я2} + \frac{1}{L_{Я2}} U_{Я2}; \quad (4.7)$$

где ε_1 – угловое ускорение ротора двигателя первого звена.

При этом матрица входа

$$B = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ -1 \\ \frac{1}{L_{Я2}} & 0 \end{bmatrix} \quad (4.8)$$

На рисунке 4.1 приведена математическая модель взаимосвязанных приводов робота в приложении Simulink. В блоке State Space задаются матрицы A, B, C, D привода первого звена, в блоке State Space 1 – аналогичные матрицы привода второго звена. Коэффициенты k_1 , k_2 , k_3 для привода первого звена задаются в блоках Gain, Gain 1, Gain 2, для привода второго звена – в блоках Gain 3, Gain 4, Gain 5 соответственно.

Сигнал углового ускорения ротора двигателя первого звена ε_1 формируется из сигнала угловой скорости ω_1 путем дифференцирования с помощью блока Derivative. С помощью блоков Step, Step 1 задаются требуемые угловые перемещения звеньев 1, 2. При этом перемещение звена 2 производится относительно звена 1. На осциллографе (блок Scope) отображаются кривые изменения углов поворота звеньев.

Предварительно производится процедура синтеза приводов методом размещения полюсов (находятся значения коэффициентов k_1 , k_2 , k_3). Для получения монотонного переходного процесса в каждом приводе следует задавать значения полюсов в виде действительных чисел.

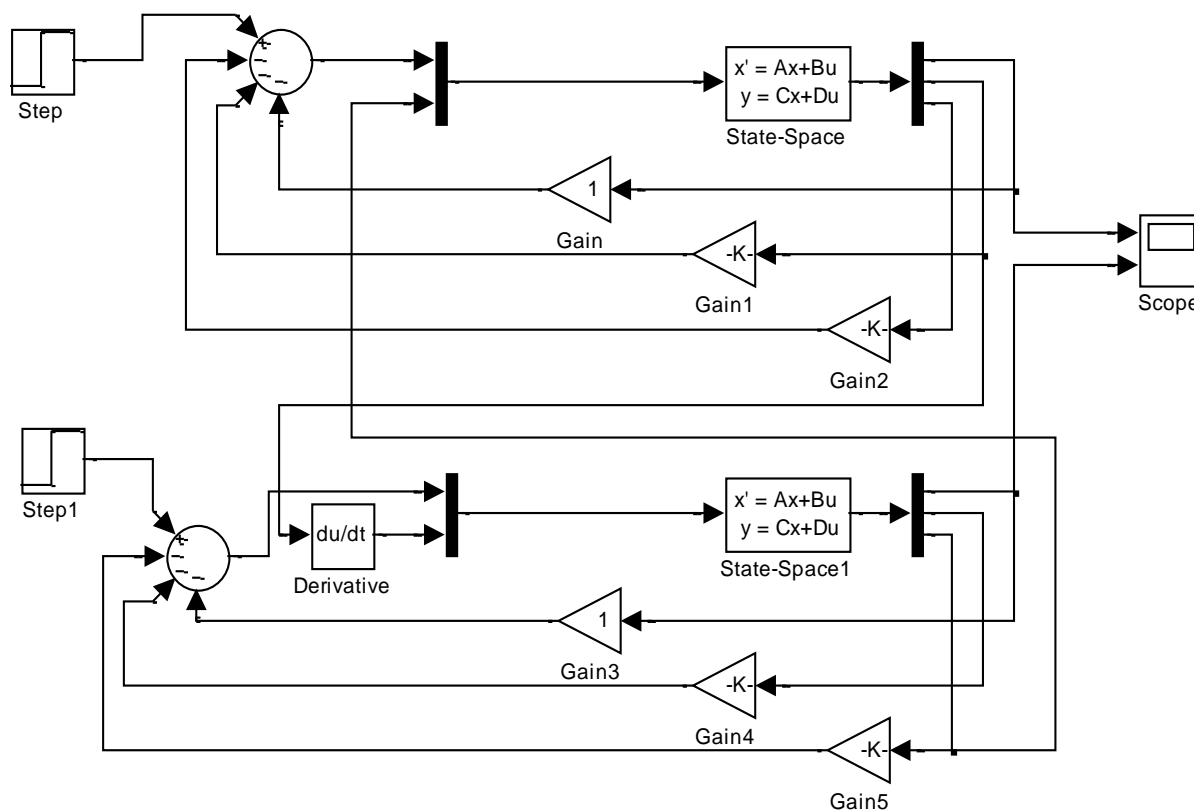


Рисунок 4.1 – Математическая модель взаимосвязанных приводов робота в приложении Simulink

Данная математическая модель позволяет исследовать взаимное влияние приводов при различных режимах управления, смещая по времени подачу управляющего сигнала для каждого звена желаемым образом.

Порядок выполнения работы

1. В приложении Simulink построить математическую модель в соответствии с рисунком 4.1.

2. Для заданных двигателей рассчитать параметры приводов и выполнить синтез системы методом размещения полюсов (найти коэффициенты k_1 , k_2 , k_3 для обоих приводов).

3. Задать в блоках математической модели найденные численные значения параметров.

4. Исследовать работу приводов (изменение углов поворота звеньев) при подаче задающего воздействия на вход привода первого звена. Моделирование провести для нескольких значений входного сигнала и выявить влияние величины задающего сигнала на отклонение второго звена в процессе движения.

5. Исследовать работу приводов (изменение углов поворота звеньев) при подаче задающего воздействия на вход привода второго звена. Моделирование провести для нескольких значений входного сигнала и выявить влияние величины задающего сигнала на отклонение первого звена в процессе движения.

6. Исследовать работу приводов (изменение углов поворота звеньев) при подаче задающего воздействия на вход обоих приводов в случае одновременной

подачи задающих сигналов, а также со смещением по времени. Выявить, как влияет указанное смещение на характер движения звеньев.

7. Оценить влияние на переходные процессы массы манипулируемого груза, увеличив $J_{ПР2}$ в два раза по отношению к начальному значению.

Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Расчет параметров приводов.
3. Синтез системы управления методом размещения полюсов.
4. Математическая модель взаимосвязанных приводов робота в приложении Simulink с найденными значениями коэффициентов.
5. Результаты моделирования по пунктам 4–6 (кривые переходных процессов с указанием отклонений звеньев в процессе движения).
6. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Основные требования, предъявляемые к приводам промышленных роботов.
2. Назначение желаемых значений полюсов при синтезе системы для обеспечения предъявляемых требований.
3. Что является причиной воздействия одного звена на другое в процессе движения?
4. Как влияет на переходный процесс смещение по времени задающих сигналов приводов друг относительно друга?
5. Как влияет на переходный процесс увеличение массы манипулируемых грузов?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Солодовников, В. В. Основы теории и элементы систем автоматического регулирования / В. В. Солодовников, В. Н. Плотников, А. В. Яковлев. – М. : Машиностроение, 1986.
- 2 Филлипс, Ч. Системы управления с обратной связью / Ч. Филлипс, Р. Харбор. – М. : Лаборатория базовых знаний, 2001.
- 3 Шахинпур, М. Курс робототехники: учебник для вузов / М. Шахинпур; под ред. С. Л. Зенкевича. — М. : Мир, 1990. — 527 с.
- 4 Накано, Э. Введение в робототехнику: пер. с японск / Э. Накано. – М. : Мир, 1988. – 334 с.

Учебное издание

Составители:

Прокопеня Олег Николаевич

Лапука Антон Сергеевич

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к лабораторным работам по дисциплине
«Промышленная робототехника»
для студентов специальности 1-53 01 01
«Автоматизация технологических процессов и производств»

Ответственный за выпуск: Прокопеня О. Н.

Редактор: Митлошук М. А.

Компьютерная вёрстка: Вашкевич Ю. А.

Корректор: Дударук С. А.

Подписано в печать 24.05.2023 г. Формат 60x84 ¹/₁₆. Бумага «Performer».
Гарнитура «Arial Narrow». Усл. печ. л. 1,16. Уч. изд. л. 1,25. Заказ № 548. Тираж 19 экз.
Отпечатано на ризографе учреждения образования «Брестский государственный
технический университет». 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/235 от 24.03.2014 г.