



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»
(ФГБОУ ВО МГТУ «СТАНКИН»)

**Институт
автоматизации
и робототехники**

**Кафедра
робототехники и мехатроники**

Методические указания к лабораторной работе №1
«Решение задачи идентификации момента инерции привода»
Дисциплина: **«интеллектуальное и адаптивное управление мехатронными
системами»**

Р.В. Колесниченко, Ю.В. Илюхин

Москва 2017 г.

Цель: изучить предлагаемый метод решения задачи идентификации момента инерции объекта управления и реализовать этот метод в ПО *Matlab*.

Задачи: создать модель подсистемы, решающей задачу идентификации изменяющегося момента инерции привода.

Описание проблемы.

Одной из серьёзных проблем, связанных с управлением приводами промышленных роботов – манипуляторов, является изменяющийся момент инерции объекта управления. Так, в классической системе контуров подчинённого регулирования привода после настройки регуляторов контура скорости (при определённом моменте инерции объекта) уменьшение момента инерции приводит к возникновению в переходных процессах привода высокочастотных колебаний, а его увеличение – к возникновению низкочастотных слабозатухающих колебаний. В робототехнике диапазон изменения момента инерции привода достигает 1:10 [1]. Эта проблема особенно актуальна для приводов с малым передаточным числом редуктора или для безредукторных приводов. Таким образом, для повышения робастности системы управления и получения качественных переходных процессов необходимо реализовать адаптивную систему управления с автоматической перенастройкой регулятора скорости привода в процессе управления. Для перенастройки необходимо параллельно решать задачу идентификации момента инерции.

Описание метода решения задачи идентификации.

В лабораторной работе предлагается использование "активного" метода идентификации момента инерции привода. Основная идея заключается в создании небольших колебаний электромагнитного момента привода, которые приведут к контролируемым колебаниям скорости объекта. Под объектом в работе понимается привод, управляемый по скорости. Но в начале работы для создания и отладки системы идентификации момента инерции рассматривается упрощённая разомкнутая модель, выделенная красным прямоугольником на рисунке 1. Это объект, состоящий из интегратора в контуре скорости и блока, характеризующего момент инерции.

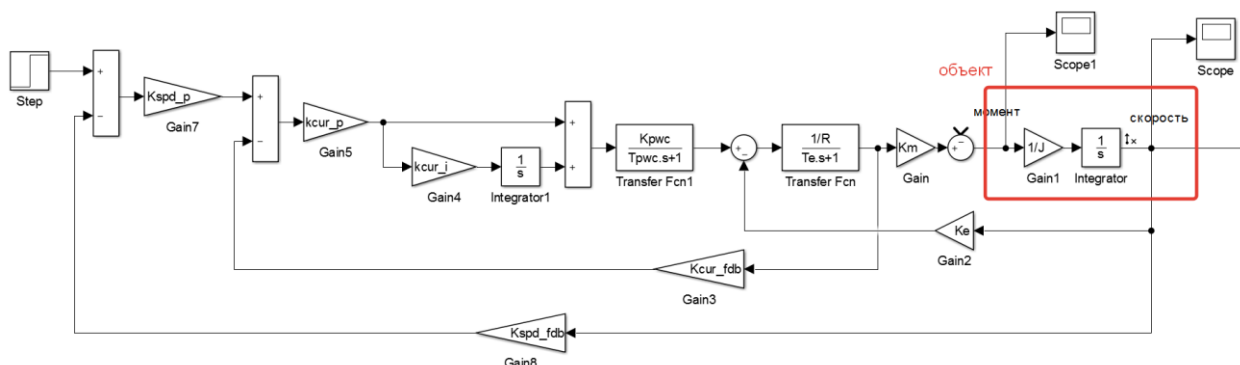


Рисунок 1. Структурная схема привода.

На основании вида амплитудно-частотной характеристики этого объекта, представленной на рисунке 2, мы считаем, что отношение амплитуды скорости A_ω к амплитуде момента A_0 обратно пропорционально произведению момента инерции J на круговую частоту изменения момента ω_0 . Из этого отношения можно найти момент инерции:

$$J = \frac{A_0}{\omega_0} * \frac{1}{A_\omega} \quad (1)$$

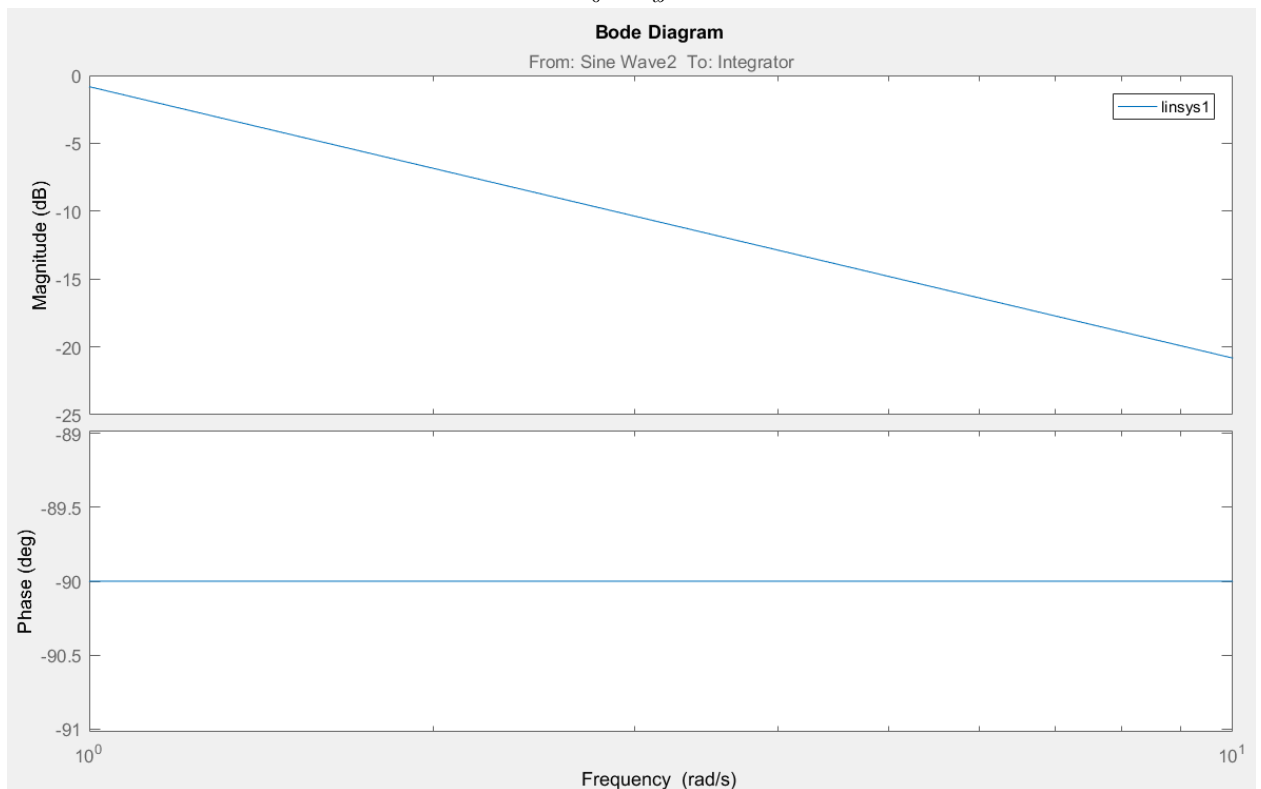


Рисунок 2. ЛАЧХ и ЛФЧХ упрощённой разомкнутой модели.

Для определения сигнала A_ω предлагается использовать последовательность устройств, необходимых для обработки сигнала скорости привода. Первое устройство необходимо для отсеечения помех и пропускания только колебаний с частотой изменения момента. Для этого используется избирательный (узкополосный) фильтр, который имеет ЛАЧХ, представленную на рисунке 3.

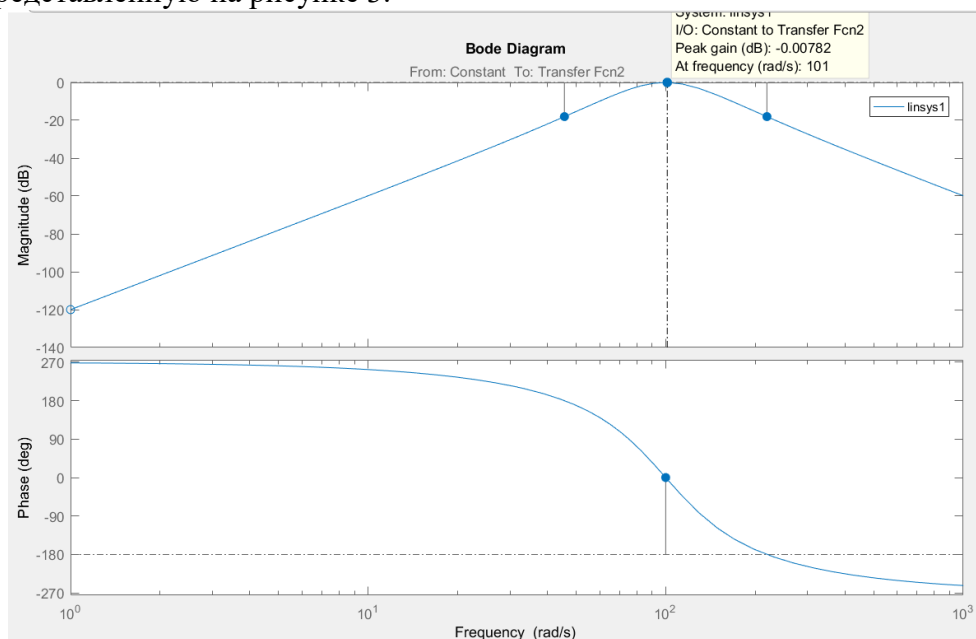


Рисунок 3. ЛАЧХ и ЛФЧХ избирательного фильтра.

Наклон асимптот ЛАЧХ избирательного фильтра +60 дБ/дек и -60 дБ/дек. Частота, при которой амплитуда выходного сигнала с фильтра практически равна амплитуде входного сигнала, равна круговой частоте изменения момента ω_0 . Удобно использовать звенья с передаточными функциями

$$W(s) = \frac{\tau s}{\tau^2 s^2 + 2\xi\tau s + 1}, \quad (2)$$

Второе устройство в последовательной цепи модели идентификации момента инерции привода – это детектор, вычисляющий амплитуду поступающего на него сигнала. В данном случае используется инвертор, к выходу которого присоединён фильтр нижних частот (ФНЧ), выполняющий задачу определения усреднённого значения амплитуды сигнала скорости привода. В качестве ФНЧ используется звено с передаточной функцией

$$W(s) = \frac{K_\phi}{(T_\phi s + 1)^2}. \quad (3)$$

Далее сигнал оцениваемого значения амплитуды скорости ограничивается в соответствии с максимально возможным диапазоном изменения момента инерции объекта управления, и реализуется уравнение (1).

Ход выполнения работы.

- 1) Запустите *Matlab* и *Simulink*. Создайте упрощённую разомкнутую модель объекта. Момент инерции объекта примите равным $5.1 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$. В лабораторной работе рассмотрим изменение момента инерции объекта в пределах от $1 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ до $10 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$.
- 2) С помощью генератора подайте на вход объекта синусоидальные колебания с частотой $\omega_0 = 100 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$ и амплитудой $A_0 = 2.5 \text{ Н}\cdot\text{м}$.
- 3) Создайте модель системы идентификации момента инерции объекта, состоящей из следующих устройств:
 - избирательный фильтр с передаточной функцией (2), где $\xi = 0.5$, $\tau = 1/\omega_0$. ЛАЧХ и ЛФЧХ фильтра представлены на рисунке 3;
 - детектор, который делает сигнал положительным;
 - фильтр нижних частот с передаточной функцией (3), где $T_\phi \approx 0.01$, а K_ϕ подбирается таким образом, чтобы определение амплитуды сигнала на выходе детектора было наиболее точным. Из-за того, что на выходе детектора сигнал не постоянный, а представляет из себя положительные полуволны, сигнал на выходе ФНЧ наиболее соответствует сигналу амплитуды этих полуволн при $K_\phi = 1.56$.
 - звеном с насыщением с границами 0.00025 и 0.025 для ограничения сигнала амплитуды в соответствии с диапазоном возможного изменения момента инерции (от 1 до $10 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$). На выходе системы идентификации момента инерции это не позволит сигналу выйти за пределы от 1 до $10 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$.
 - блок деления, реализующий уравнение (1).
- 4) Промоделируйте систему при моментах инерции $J_1 = 1.1 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, $J_2 = 5.1 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ и $J_3 = 10.1 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$. Оцените точность идентификации и заполните таблицу 1.

Таблица 1. Параметры переходных процессов модели идентификатора момента инерции.

Момент инерции, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$	Средняя погрешность идентифицированного момента инерции (в установившемся режиме идентификатора), $\text{кг}\cdot\text{м}^2$	Время установления сигнала системы идентификации, с
1.1		
5.1		
10.1		

- 5) Загрузите файл с моделью привода, управляемого по скорости, в соответствии с рисунком 1. Привод должен содержать контур регулирования тока, ПИ-регулятор тока, контур скорости и П-регулятор скорости. Параметры привода представлены в таблице 2.

Таблица 2. Параметры привода.

Параметр	Описание, ед. измерения	Значение
Jm	момент инерции двигателя, кг*м ²	0.1
Jco	момент инерции объекта управления, кг*м ²	1 – 10 (первоначально 1)
J	суммарный момент инерции, кг*м ²	Jco+Jm
Параметры силового преобразователя		
Trwc	период выходного напряжения, равен периоду широтно-импульсной модуляции в силовом преобразователе, с	0.002
Un	напряжение, питающее обмотки двигателя, В	25
Uc	максимальное напряжение управляющего сигнала, подаваемого на привод, В	10
Kpwc	коэффициент передачи (усиления) ШИП	Un/Uc
Параметры двигателя		
R	сопротивление обмотки возбуждения, Ом	5
Km	коэффициент момента двигателя, Нм/А	5
Ke	коэффициент ЭДС двигателя (постоянная времени нарастания противоЭДС), Вс/рад	Km
Te	электромагнитная постоянная времени двигателя, с	0.0005
Imax	максимальный ток, А	22
Настройка контура регулирования тока		
Kcur_fdb	коэффициент отрицательной обратной связи по току	6
Wc	частота среза разомкнутой подсистемы регулирования тока, с ⁻¹	250
Настройка контура регулирования скорости		
Ws	частота среза разомкнутой подсистемы регулирования скорости, с ⁻¹	50
Kspd_fdb	коэффициент отрицательной обратной связи по скорости	6.4

- 6) Настройте коэффициенты ПИ-регулятора контура тока и П-регулятора контура скорости на технический оптимум при моменте инерции $J_1 = 1.1 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$. Частоты среза контура тока и контура скорости должны быть Wc и Ws соответственно.
- 7) Сравните параметры переходных процессов в контуре скорости привода при отработке единичного ступенчатого воздействия при моментах инерции $J_1 = 1.1 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$, $J_2 = 5.1 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ и $J_3 = 10.1 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$. Заполните таблицу 3.

Таблица 3. Параметры переходных процессов привода.

Момент инерции, кг*м ²	Время установления, с	Максимальное перерегулирование, рад/с	Установившееся значение, рад/с
1.1			
5.1			
10.1			

Сделайте вывод о влиянии изменения момента инерции привода на параметры переходных процессов.

- 8) Перед контуром тока (параллельно с П-регулятором скорости) включите генератор, параметры которого приведены в пункте 2. Настройте амплитуду генератора так, чтобы амплитуда колебаний момента была равна 2.5 Н*м.
- 9) Вставьте модель идентификации и промоделируйте систему при моментах инерции $J_1 = 1.1 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$, $J_2 = 5.1 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ и $J_3 = 10.1 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$. Оцените точность идентификации и заполните таблицу 4. При этом обратите внимание на динамику идентификатора момента инерции во время переходного процесса при отработке приводом ступенчатого воздействия по скорости. Для этого задавайте на привод ступенчатое воздействие после того, как в модели идентификатора наступит установившийся режим.

Таблица 4. Параметры переходных процессов модели идентификатора момента инерции.

Момент инерции, кг*м ²	Средняя погрешность идентифицированного момента инерции (в установившемся режиме идентификатора), кг*м ²	Время установления сигнала системы идентификации, с	Максимальная погрешность идентификации момента инерции при отработке приводом ступенчатого воздействия, кг*м ²
1.1			
5.1			
10.1			

- 10) Сделайте вывод о точности идентификации момента инерции и объясните, почему возникает погрешность, и как её можно устранить.
- 11) Попробуйте внести изменения в модель так, чтобы постоянная составляющая ошибки идентификации была равна 0.

Контрольные вопросы.

- 1) В каких случаях возникает необходимость решения задачи идентификации момента инерции объекта управления?
- 2) Как решается задача идентификации момента инерции в данной работе? (на каком принципе?)
- 3) Какие ещё способы решения задачи идентификации момента инерции существуют?
- 4) Для чего в работе используется избирательный фильтр?
- 5) Для чего в работе используется фильтр нижних частот?
- 6) Как можно устранить или хотя бы уменьшить высокочастотные колебания сигнала идентифицированного момента инерции.

Список литературы:

1. Andreescu G. D. Torque-speed adaptive observer and inertia identification without current transducers for control of electric drives / Andreescu G. D., Rabinovici R. // International conference on electrical machines, Espoo, FINLANDE (28/08/2000). 2000. – pp. 1428-1432.