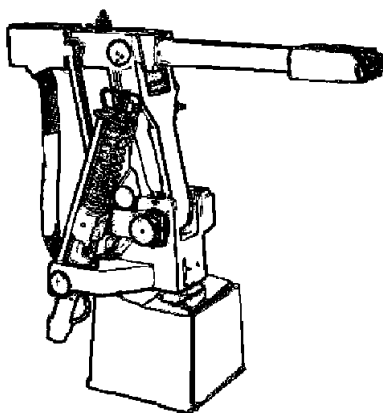


ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный
технический университет»

Кафедра робототехнических систем

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторных работ № 3-4
по дисциплине "Основы мехатроники и робототехники"
для студентов направления подготовки бакалавров
221000 «Мехатроника и робототехника»
(профиль «Промышленная и специальная робототехника»)
очной формы обучения



Воронеж 2013

Составитель канд. техн. наук В.А. Трубецкой

УДК 621.865.8

Методические указания к выполнению лабораторных работ № 3-4 по дисциплине «Основы мехатроники и робототехники» для студентов направления подготовки бакалавров 221000 «Мехатроника и робототехника» (профиль «Промышленная и специальная робототехника») очной формы обучения / ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет»; сост. В.А. Трубецкой. Воронеж, 2013. 12 с.

Методические указания содержат теоретические сведения о динамических моделях привода и манипуляционного устройства робота. Приводятся порядок исследований, предварительные и рабочие задания и требования к отчету.

Предназначены для студентов 1 курса обучения.

Методические указания подготовлены в электронном виде в текстовом редакторе MS WORD, содержатся в файле ORT_lab_3_4_bakalavr.doc.

Табл. 1. Ил. 2. Библиогр.: 3 назв.

Рецензент канд. техн. наук, доц. М.И. Герасимов

Ответственный за выпуск зав. кафедрой д-р техн. наук, проф. А.И. Шиянов

Издается по решению редакционно-издательского совета Воронежского государственного технического университета

© ФГБОУ ВПО Воронежский государственный
технический университет, 2013

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАНИПУЛЯТОРОВ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1.1. Получение навыков составления расчётных кинематических моделей и их использования для расчёта кинематических характеристик манипуляционных устройств.

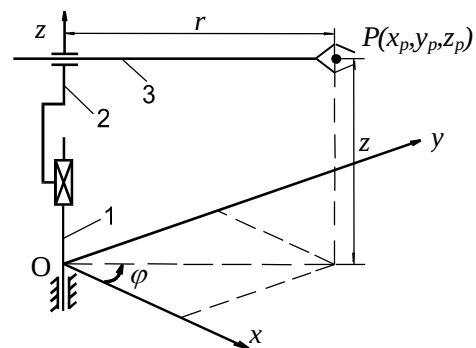
2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЯСНЕНИЯ

2.1. Исследование кинематики является важным этапом проектирования манипуляторов. На этом этапе производится стыковка геометрических характеристик проектируемых модулей степеней подвижности и манипулятора в целом с рабочим пространством и рабочей зоной робота; определяются возможности манипулятора с точки зрения кинематики при выполнении тех или иных технологических операций. Результаты таких исследований используются для корректировки конструкторских решений, принятых на предыдущих этапах проектирования.

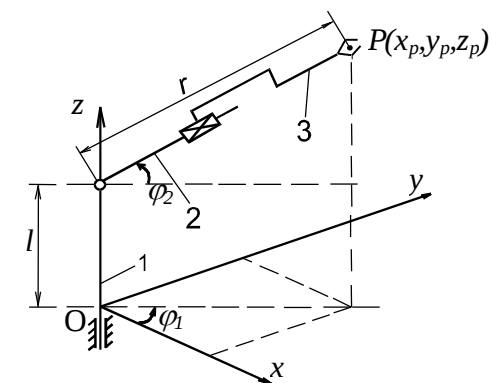
Для постановки и решения задач кинематики составляют расчётную кинематическую модель манипулятора, в основу которой положены предполагаемые или имеющиеся геометрические размеры звеньев, а также типы, количество и распределение кинематических пар.

В зависимости от поставленной задачи для одного и того же манипулятора можно составить несколько моделей. Рассмотрим вариант, когда учитываются лишь основные (переносные) степени подвижности.

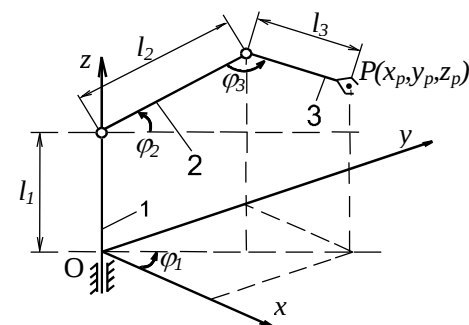
В качестве объекта моделирования рассмотрим типовые компоновки роботов, приведенные на рис. 1. Первая компоновка (рис.1, а) соответствует роботу, работающему в цилиндрической системе координат; вторая (рис.1, б) – роботу, работающему в сферической системе; третья (рис.1, в) – шарнирному роботу, у которого все степени подвижности вращательные.



а)



б)



в)

Рис. 1. Типовые компоновки манипуляторов

Первая компоновка учитывает три основных степени подвижности робота, работающего в цилиндрической системе координат. Три обобщенные координаты r, φ и z позволяют определить координаты x_p, y_p, z_p некоторой точки Р манипулятора (например, полюса схвата):

$$x_p = r \cdot \cos \varphi; \quad y_p = r \cdot \sin \varphi; \quad z_p = z \quad (1)$$

Для кинематической модели (рис.1, б) робота, работающего в сферической системе координат, вводятся три обобщенные координаты r, φ_1 и φ_2 . Тогда координаты точки Р манипулятора:

$$\begin{aligned} x_p &= r \cdot \cos \varphi_1 \cdot \cos \varphi_2; \\ y_p &= r \cdot \sin \varphi_1 \cdot \cos \varphi_2; \\ z_p &= l + r \cdot \sin \varphi_2. \end{aligned} \quad (2)$$

Третья компоновка (рис.1, в) характеризуется обобщенными координатами φ_1, φ_2 и φ_3 . Тогда координаты точки Р манипулятора:

$$\begin{aligned} x_p &= l_2 \cdot \cos \varphi_1 \cdot \cos \varphi_2 + l_3 \cdot \cos \varphi_1 \cdot \cos(\varphi_2 + \varphi_3); \\ y_p &= l_2 \cdot \sin \varphi_1 \cdot \cos \varphi_2 + l_3 \cdot \sin \varphi_1 \cdot \cos(\varphi_2 + \varphi_3); \\ z_p &= l_1 + l_2 \cdot \sin \varphi_2 + l_3 \cdot \sin(\varphi_2 + \varphi_3). \end{aligned} \quad (3)$$

На основе полученных соотношений решают прямую и обратную задачи кинематики. Прямая задача о положении манипуляторов заключается в том, что по заданным относительным перемещениям q_i в кинематических парах рассчитывают положение рабочего органа, а также звеньев манипулятора. С помощью обратной задачи о положении манипулятора определяют обобщенные координаты q_i манипулятора по заданному в опорной системе координат положению рабочего органа или некоторого звена манипулятора.

Для рассматриваемых компоновок обратную задачу можно решить аналитически. Для кинематической модели (рис.1, а):

$$r = \sqrt{x_p^2 + y_p^2}; \quad \varphi = \arctg \frac{y_p}{x_p}; \quad z = z_p \quad (4)$$

Для кинематической модели (рис.1, б):

$$\begin{aligned} r &= \sqrt{x_p^2 + y_p^2 + (z_p - l)^2}; \\ \varphi_1 &= \arctg \frac{y_p}{z_p}; \\ \varphi_2 &= \arctg \frac{z_p - l}{\sqrt{x_p^2 + y_p^2}}. \end{aligned} \quad (5)$$

Для кинематической модели (рис.1, в):

$$\begin{aligned} \varphi_1 &= \arctg \frac{y_p}{x_p}; \\ \varphi_2 &= \arctg \frac{z_p - l}{\sqrt{x_p^2 + y_p^2}} \pm \arccos \frac{l_2^2 - l_3^2 + x_p^2 + y_p^2 + (z_p - l_1)^2}{2 \cdot l_2 \cdot \sqrt{x_p^2 + y_p^2 + (z_p - l)^2}}; \\ \varphi_3 &= \pm \left[\pi - \arccos \frac{l_2^2 + l_3^2 - x_p^2 - y_p^2 - (z_p - l_1)^2}{2 \cdot l_2 \cdot l_3} \right]. \end{aligned} \quad (6)$$

3. ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ

3.1. Изучить теоретический материал по вопросу описания кинематики манипуляционных механизмов и расчету кинематических характеристик.

3.2. Получить варианты манипуляционных устройств для моделирования и исследования их кинематических моделей.

3.3. Составить в общем виде уравнения кинематики для заданных вариантов манипуляторов.

4. РАБОЧЕЕ ЗАДАНИЕ

4.1. С помощью измерительных инструментов определить параметры звеньев манипуляторов и диапазоны изменения координат.

4.2. Составить расчетные кинематические модели манипуляционных устройств.

4.3. Составить уравнения кинематики манипуляционных устройств.

4.4. С исследованием полученных моделей манипуляторов определить параметры зоны обслуживания, углы и коэффициенты сервиса, маневренность манипулятора.

4.5. Получить законы изменения обобщенных координат робота при заданном программой движением захватного устройства путем решения обратной задачи кинематики.

5. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

5.1. К п. 4.1. При определении параметров звеньев манипулятора учитывать только параметры конфигурации.

5.2. К п. 4.2. При изображении расчетной кинематической модели использовать

5.3. К п. 4.3. При составлении уравнений кинематики учитывать только переносные степени подвижности.

5.4. К п. 4.4. Необходимо определить по форме зоны обслуживания также тип системы координат робота.

5.5. К п. 4.5. При выполнении п. 4.5 необходимо по закону перемещения захватного устройства $S(t)$ определить функции изменения координат захватного устройства $x_s(t)$, $y_s(t)$ и $z_s(t)$.

6. ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ

Отчет по каждой лабораторной работе должен быть оформлен на отдельных листах формата А4, скрепленных между собой скрепками. Он должен содержать:

- титульный лист;
- цель работы;
- уравнения и расчёты, необходимые для решения задач кинематики;
- рисунки расчётных кинематических моделей;
- графики изменения обобщенных координат при реализации заданного программно движения захватного устройства.

7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

7.1. Что такое расчётная кинематическая модель манипулятора?

7.2. Дать определение кинематической пары. Как определить класс кинематической пары.

7.3. Что такое обобщённая координата манипулятора?

7.4. Что представляет собой прямая и обратная задача кинематики?

7.5. Дать определение манипулятора.

7.6. Что такое маневренность манипулятора?

7.7. Что характеризуют угол и коэффициент сервиса?

7.8. Назовите основные кинематические характеристики манипуляторов.

7.9. Что такое степень подвижности манипулятора? Сколько степеней подвижности имеют универсальные промышленные роботы?

7.10. Что такое переносные и ориентирующие степени подвижности робота?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕРВОПРИВОДА ПОСТОЯННОГО ТОКА

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью работы является моделирование типового привода робота и исследование с помощью полученной модели характеристик привода.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Приводы промышленных роботов предназначены для преобразования электрической энергии в механическую при заданных параметрах механического движения.

К электроприводам промышленных роботов предъявляются специфические требования, обусловленные с одной стороны, технологическим циклом их работы, с другой – особенностями их конструкции. Основным рабочим циклом механизма робота является позиционирование. Ускорение перемещения может достигать 30 м/мин, а точность позиционирования – 0,01 мм. Режим работы электроприводов – повторно кратковременный с частыми пусками и остановками. Электропривод должен иметь диапазон регулирования порядка 1000 и обладать большой перегрузочной способностью в пусковых режимах (иметь малые времена пусков и торможений на максимальную скорость).

Основными параметрами электропривода являются: номинальная механическая мощность на валу электродвигателя P_n ; номинальный вращательный момент на валу электродвигателя

$\dot{I}_i$; номинальная угловая скорость Ω_i ; диапазон регулирования – отношение максимальной скорости к минимальной $\dot{A} = \frac{\Omega_{max}}{\Omega_{min}}$, при котором сохраняются все параметры электропривода по стабильности при изменении нагрузки, напряжения сети, температуры окружающей среды и по неравномерности его вращения; перегрузочная способность в установившемся и переходном режимах $\frac{\dot{I}_{max}}{\dot{I}_i}$; динамические характеристики по управляющему воздействию – время пуска t_{ion} и торможения t_{off} .

Работа двигателя постоянного тока в статическом режиме (вращение с постоянной скоростью) может быть охарактеризовано системой уравнений, связывающих его основные параметры:

$$\begin{cases} \dot{D}_{i\dot{a}\dot{o}} = \dot{I} \Omega; \\ \dot{D}_{y\dot{e}} = U_{\dot{y}} I_{\dot{y}}; \\ \Omega = \frac{U - IR}{C_{\dot{a}} \Phi}; \\ \dot{I} = C_i \Phi I_{\dot{y}}, \end{cases} \quad (7)$$

где $\dot{D}_{i\dot{a}\dot{o}}$ – механическая мощность на валу электродвигателя; $\dot{D}_{y\dot{e}}$ – электрическая мощность двигателя; $\dot{I}$ – вращательный момент на валу двигателя; Ω – угловая скорость двигателя; U – напряжение двигателя; $I_{\dot{y}}$ – ток двигателя; Φ – магнитный поток возбуждения двигателя; $C_{\dot{a}} = C_i = C$ – конструктивная постоянная двигателя.

Динамические режимы удобнее всего анализировать с помощью математической модели, соответствующей уравнениям, характеризующим двигатель при различных внешних воздействиях.

Уравнения динамики выглядят следующим образом:

$$\begin{cases} U = E + i_{\dot{y}} R_{\dot{y}} + L_{\dot{y}} \frac{di_{\dot{y}}}{dt}; \\ \dot{A} = \tilde{N} \Phi \Omega; \\ \dot{I} = \tilde{N}_i \Phi I; \\ \dot{I} - \dot{I}_{\tilde{n}} = J \frac{d\Omega}{dt}. \end{cases} \quad (8)$$

Разгон двигателя происходит под действием динамического момента, преодолевающего инерционные массы нагрузки и двигателя с моментом инерции J . Он зависит от величины динамического момента и скорости его нарастания.

Время нарастания вращающего момента двигателя зависит от времени нарастания тока якоря $I_{\dot{y}}$, которое определяется электромагнитной постоянной времени:

$$\dot{\Omega}_y = \frac{L_{\dot{y}}}{R_{\dot{y}}}. \quad (9)$$

Электрохимическая постоянная времени $\dot{\Omega}_i$ характеризует зависимость времени разгона от момента инерции двигателя динамического момента двигателя:

$$\dot{\Omega}_i = \frac{IR}{C^2}. \quad (10)$$

Дифференциальное уравнение двигателя постоянного тока с постоянным возбуждением выглядит следующим образом:

$$\frac{U}{C} = \dot{\Omega}_i \dot{\Omega}_y \frac{d^2 \Omega}{dt^2} + T_i \frac{d\Omega}{dt} + \Omega \quad (11)$$

Структурная схема двигателя постоянного тока, соответствующая уравнениям (8) приведена на рис. 2.

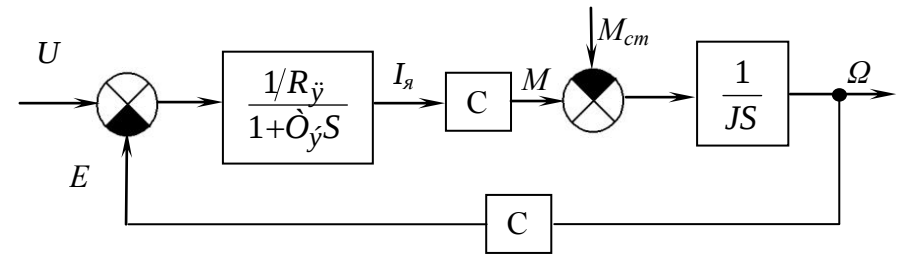


Рис. 2. Структурная схема двигателя постоянного тока

3. ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ

3.1. Изучить принцип действия двигателя постоянного тока.

3.2. Составить уравнения динамики и структурную схему двигателя постоянного тока.

3.3. Составить схемы для исследования статических и динамических режимов.

3.4. В соответствии с вариантом задания, приведенном в табл. 1, рассчитать параметры характеристик двигателя по уравнениям статики и динамики.

4. РАБОЧЕЕ ЗАДАНИЕ

4.1. Составить схему набора модели двигателя постоянного тока в среде MATLAB.

4.2. Получить графики изменения частоты вращения двигателя в зависимости от момента.

4.3. В соответствии с вариантом задания получить график торможения двигателя.

4.4. Получить графики переходных характеристик двигателя при пуске и сбросе-набросе нагрузки.

5. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

5.1. К п. 3.1. При изучении принципа работы двигателя постоянного тока вспомнить разделы физики по механике (второй закон Ньютона для вращательного движения) и по электродинамике, связанные с определением величины электромагнитного момента.

5.2. К п. 3.2. При составлении уравнений динамики следует обратить внимание на взаимосвязь двух контуров в двигателе: механического и электрического.

5.3. К п. 3.3. Для выполнения этого пункта задания необходимо получать требуемые характеристики из динамической модели.

5.4. К п. 4.1-4.3. При выполнении данных пунктов использовать табл.1.

Таблица 1
Параметры исполнительных двигателей и перечень исследуемых режимов его работы

№ варианта	Параметры двигателя				Режимы работы двигателя	
	момент инерции $J_{\ddot{a}}$, Н·м·с ²	электромагнитная постоянная времени $\dot{O}_{\ddot{y}}$, с	сопротивление якоря $R_{\ddot{y}}$, Ом	коэффициент противоэдс $\dot{C}$, В·с/рад	включения сброса (наброса) нагрузки	торможение
1.	$5 \cdot 10^{-5}$	0,02	0,05	0,2	пуск, сброс нагрузки	противовключение
2.	$4 \cdot 10^{-5}$	0,01	0,08	0,25	пуск, наброс нагрузки	динамическое
3.	$6 \cdot 10^{-5}$	0,015	0,1	0,2	пуск, сброс нагрузки	рекуперативное
4.	$4,8 \cdot 10^{-5}$	0,04	0,07	0,025	пуск, наброс нагрузки	свободный выбег
5.	$3,5 \cdot 10^{-5}$	0,03	0,04	0,03	пуск, сброс нагрузки	противовключение
6.	$8 \cdot 10^{-5}$	0,01	0,09	0,02	пуск, наброс нагрузки	динамическое
7.	$7 \cdot 10^{-5}$	0,02	0,1	0,02	пуск, сброс нагрузки	свободный выбег

Продолжение табл. 1

8.	$6,5 \cdot 10^{-5}$	0,03	0,04	0,03	пуск, наброс нагруз- ки	рекупе- ратив- ное
9.	$3,2 \cdot 10^{-5}$	0,04	0,08	0,02	пуск, сброс нагруз- ки	проти- вовк- люче- ние
10.	$4,7 \cdot 10^{-5}$	0,05	0,05	0,03	пуск, наброс нагруз- ки	дина- миче- ское

6. ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ

Отчет по каждой лабораторной работе должен быть оформлен на отдельных листах формата А4, скреплённых между собой скрепками. Он должен содержать:

- титульный лист;
- цель работы;
- уравнения и расчёты, необходимые для составления математической модели исследуемого объекта;
- структуру машинной модели исследуемого объекта;
- графики зависимостей, требуемые по заданию.

7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое механическая характеристика двигателя?
2. Что такое электромеханическая характеристика двигателя?
3. Какие способы регулирования скорости ДПТ вы знаете?
4. Назовите способы торможения двигателя постоянного тока.
5. Объясните принципы работы ДПТ.
6. Что такое жёсткость механической характеристики?
7. Как выглядят механические характеристики ДПТ при изменении напряжения якоря?
8. Как выглядит семейство механических характеристик двигателя при изменении сопротивления якоря?
9. Как выглядит семейство механических характеристик двигателя при изменении потока возбуждения?
10. Что такое скорость идеального холостого хода?
11. Как определить момент короткого замыкания двигателя?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Юревич Е.И. Основы робототехники / Е.И. Юревич. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 416 с.
2. Корендяев А.И., Саламандра Б. Л., Тывес Л. И. Теоретические основы робототехники : В 2 кн.: монография. Кн.1. - М.: Наука, 2006.
3. Корендяев А.И., Саламандра Б. Л., Тывес Л. И. Теоретические основы робототехники : В 2 кн.: монография. Кн.2. - М.: Наука, 2006.

СОДЕРЖАНИЕ

1.	Лабораторная работа № 3. Исследование кинематических характеристик манипуляторов	1
2.	Лабораторная работа № 4. Моделирование сервопривода постоянного тока	6
3.	Библиографический список	12

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторных работ № 3-4
по дисциплине "Основы мехатроники и робототехники"
для студентов направления подготовки бакалавров
221000 «Мехатроника и робототехника»
(профиль «Промышленная и специальная робототехника»)
очной формы обучения

Составитель
Трубецкой Виктор Александрович

В авторской редакции
Компьютерный набор В.А.Трубецкого

Подписано к изданию 25.04.2013.
Уч.-изд. л. 0,9. "С" .

ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический
университет»
394026 Воронеж, Московский просп., 14