

Лабораторная работа №2

Получение конструктивных постоянных двигателя

1 Методические рекомендации

До начала работы студент должен выполнить предыдущие работы этого цикла. Так же необходимо ознакомиться с представлением объектов управления в пространстве состояний. Необходимо знание формул перехода между моделями ВСВ и ВВ.

2 Теоретические сведения

В предыдущей лабораторной работе нами рассмотрена упрощенная модель двигателя NXT. Но для полной картины, необходимо получить зависимость угловой скорости двигателя от подаваемого напряжения. Для этого необходимо рассмотреть двигатель NXT с учетом электрических процессов. Соответственно появится еще одна динамика, связанная с индуктивностью обмотки двигателя.

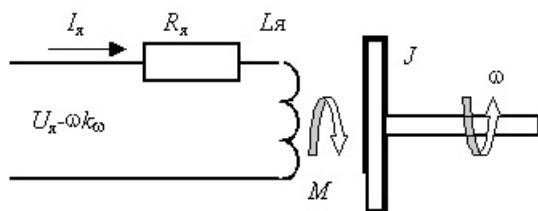


Рис. 1. Структурная схема двигателя.

Запишем уравнение для описания электрических процессов в цепи с учетом влияния противо-ЭДС, создаваемым вращением якоря, учитывая $E_{ЭДС} = \omega k_e$:

$$U_a - E_{ЭДС} = R_a I + L_a \frac{dI}{dt} \Rightarrow U_a - \omega k_e = R_a I + L_a \frac{dI}{dt} \quad (1)$$

Где k_e — конструктивная постоянная двигателя, связывающая угловую скорость и противо-ЭДС. Теперь наша отрицательная обратная связь попадает не в канал управления по моменту, а прибавляется к управляемому напряжению.

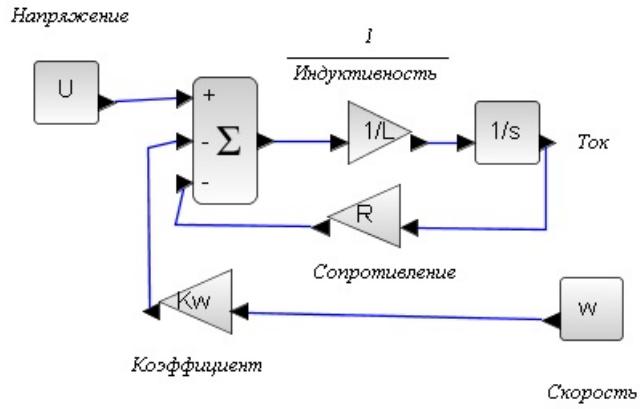


Рис. 2. Структурная схема электрической цепи двигателя.

Надо отметить, что момент и ток в цепи двигателя, так же имеют линейную зависимость $M = k_m I$, где k_m — конструктивная постоянная двигателя, связывающая ток и момент (подробнее об этом можно узнать в курсе «Электрические машины»). Теперь запишем систему дифференциальных уравнений с учетом формул, полученных в прошлой лабораторной работе:

$$\begin{cases} \dot{\omega} = \frac{k_m}{J} I, \\ \dot{I} = \frac{1}{L} U - \frac{k_e}{L} \omega - \frac{R_a}{L} I. \end{cases} \quad (2)$$

Записав эти уравнения, можно обозначить вектор состояния двигателя как $x = \begin{bmatrix} \omega \\ I \end{bmatrix}$, соответственно можно записать эту систему уравнений в матричном виде $\dot{x} = Ax + Bu$:

$$\begin{bmatrix} \dot{\omega} \\ \dot{I} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \frac{k_m}{J} \\ -\frac{k_e}{L} & -\frac{R_a}{L} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega \\ I \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{L} \end{bmatrix} U. \quad (3)$$

Обратите внимание, если выполнить все арифметические действия с матрицами, то мы получим исходную систему уравнений. Далее, из записанного вида, мы можем получить передаточную функцию. Для этого воспользуемся структурной схемой на рисунке 3.

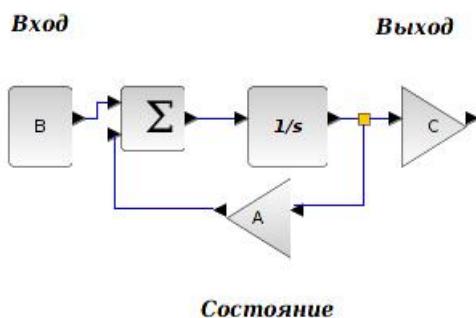


Рис. 3. Структурная схема электрической цепи двигателя.

Запишем передаточную функцию системы, выразив ее уравнениями:

$$\begin{cases} \dot{X} = BU + AX, \\ Y = C^T X. \end{cases} \quad (4)$$

Применим преобразование Лапласа:

$$\begin{cases} sX = BU(s) + AX \Rightarrow X = (sI - A)^{-1}BU(s), \\ Y(s) = C^T(sI - A)^{-1}BU(s) \Rightarrow W(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = C^T(sI - A)^{-1}B, \end{cases} \quad (5)$$

где I — это единичная матрица. В нашем случае матрица выхода равна $C^T = [1 \ 0]$, так как на выходе мы получаем угловую скорость.

Произведем соответствующие вычисления для нашего случая:

$$sI - A = \begin{bmatrix} s & -\frac{k_m}{J} \\ \frac{k_e}{L} & s + \frac{R_a}{L} \end{bmatrix}, \quad (sI - A)^{-1} = \frac{1}{s^2 + \frac{R_a}{L}s + \frac{k_m k_e}{LJ}} \begin{bmatrix} s + \frac{R_a}{L} & \frac{k_m}{J} \\ -\frac{k_e}{L} & s \end{bmatrix}, \quad (6)$$

$$W(s) = C(sI - A)^{-1}B = \frac{1}{s^2 + \frac{R_a}{L}s + \frac{k_m k_e}{LJ}} \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s + \frac{R_a}{L} & \frac{k_m}{J} \\ -\frac{k_e}{L} & s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}, \quad (7)$$

$$W(s) = \frac{\frac{k_m}{LJ}}{s^2 + \frac{R_a}{L}s + \frac{k_m k_e}{LJ}}, \quad (8)$$

$$W(s) = \frac{\frac{1/k_e}{L R_a J}}{\frac{R_a J}{R_a k_m k_e} s^2 + \frac{R_a J}{k_m k_e} s + 1}. \quad (9)$$

Где, $\frac{L}{R_a} = T_e$ — электромагнитная постоянная времени, $\frac{R_a J}{k_m k_e} = T_m$ — электромеханическая постоянная времени. Отметим, что $k_m = \frac{M_{nyc}}{I}$, $k_e = \frac{E_{ЭДС}}{\omega_0}$, подставим их в электромеханическую постоянную времени $T_m = \frac{R_a J}{\frac{M_{nyc}}{I} \frac{E_{ЭДС}}{\omega_0}} = \frac{J \omega_0}{M_{nyc}}$. То же, что мы получили в прошлой лабораторной работе, рассматривая упрощенную модель. В итоге получим:

$$W(s) = \frac{1/k_e}{T_e T_m s^2 + T_m s + 1}. \quad (10)$$

3 Цель работы

Определить конструктивные постоянные двигателя. Для этого нужно измерить сопротивление обмотки якоря R_a и момент инерции двигателя J . Снять показания тока и напряжения. Далее, используя значение T_m , полученное в первой лабораторной работе, рассчитать конструктивные постоянные двигателя. Значения угловой скорости ротора двигателя нужно брать в 48 раз больше, ввиду наличия редуктора.

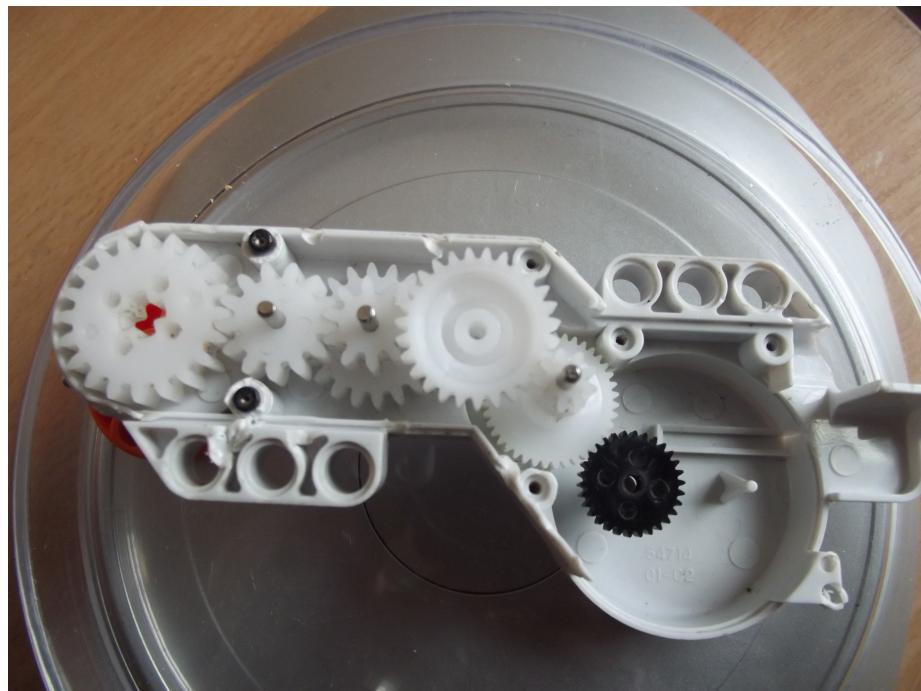


Рис. 4. Редуктор двигателя NXT.

4 Порядок выполнения работы

1 Снятие показаний с двигателя NXT.

- 1.1 Соберите конструкцию, такую же как и в первой работе.
- 1.2 Реализуйте программу в среде разработки, которая выполняет следующие действия: организует движения двигателя NXT; выводит на экран значение напряжения выдаваемого аккумулятором.
- 1.3 Скомпилируйте и загрузите программу в программируемый блок NXT.
- 1.4 Запустите программу.

2 Определение конструктивных постоянных двигателя NXT.

- 2.1 При помощи мультиметра зафиксируйте значения тока, сопротивления и напряжения в цепи двигателя (не забудьте, что напряжение измеряется на нагрузке, а ток в разрыве цепи). Пусковой ток необходимо измерять при застопоренном роторе, для этого зажмите выходной вал рукой.

2.2 Также необходимо рассчитать момент инерции ротора двигателя. Для этого измерьте значения массы и диаметра ротора. Используя формулу момента инерции для вращающегося цилиндра, получите численное значение.



Рис. 5. Ротор двигателя, вес 17 грамм.

2.3 Подставив полученные данные (измеренное среднее значение индуктивности 0,0047 Генри), рассчитайте конструктивные постоянные двигателя. Для этого воспользуйтесь значениями, полученными в первой работе.

2.4 Рассчитанные значения конструктивных постоянных описывают сам двигатель. Для получения характеристик на выходном вале редуктора, конструктивные постоянные нужно домножить на 48, так как момент будет в 48 раз больше, а скорость во столько же раз меньше.

3 Математическое моделирование двигателя.

3.1 Необходимо сравнить графики переходных процессов при подаче на двигатель ШИМ-сигнала и постоянного напряжения.

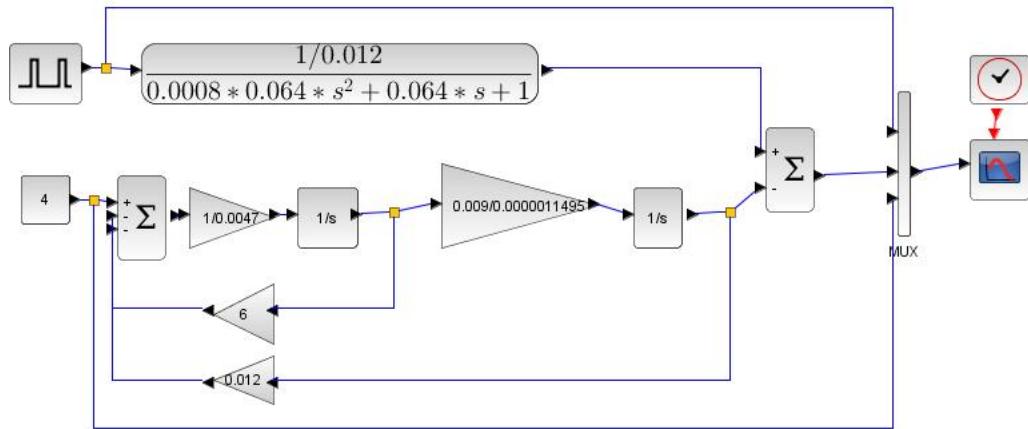


Рис. 6. Пример моделирования двигателя в системе Xcos.

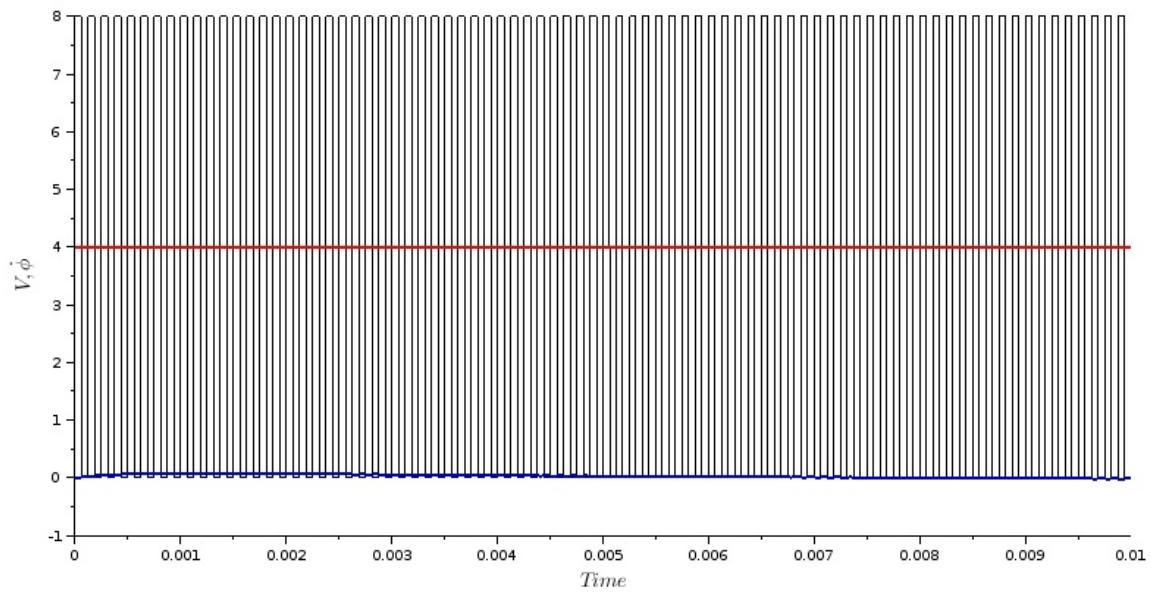


Рис. 7. Графики задающих воздействий и ошибки в системе Xcos.

5 Содержание отчета

- 1 Исходный код написанной программы.
- 2 Полученные данные параметров двигателя.
- 3 Расчеты конструктивных постоянных двигателя.
- 4 Схема и графики, полученные при математическом моделировании.
- 5 Выводы.