

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

Кафедра механики и науки о робототехнике



УТВЕРЖДАЮ

профессор по учебной работе

О.Г. Локтионова

08 2016 г.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ВИБРАЦИОННОГО ИНСТРУМЕНТА БЕЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ В СРЕДЕ MATLAB/SIMULINK

Методические указания к выполнению практических и
самостоятельных работ по дисциплине «Проектирование
мехатронных систем» для студентов направления 15.03.06

Курск 2016

УДК 621.864

Составители: С.Ф. Яцун, Л.Ю. Волкова

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент *Б.В. Лушников*

Моделирование движения вибрационного инструмента без технологической нагрузки в среде Matlab/Simulink: методические указания по выполнению практической и индивидуальной работ по дисциплине «Проектирование мехатронных систем» / Юго-Зап. гос. ун-т; сост. С.Ф. Яцун, Л.Ю. Волкова. Курск, 2016. 21 с.

Методические указания содержат сведения по разработке математической модели вибрационного инструмента, использования метода блочного моделирования в среде Matlab/Simulink для получения основных зависимостей, иллюстрирующих работу мехатронной системы. Приведены варианты моделируемого вибрационного инструмента.

Методические указания соответствуют требованиям программы, утверждённой учебно-методическим объединением (УМО).

Предназначены для студентов специальности 15.03.06 - Мехатроника и робототехника.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать . Формат 60x84 1/16.

Усл.печ.л. . Уч.-изд.л. . Тираж 20 экз. Заказ. Бесплатно.

Юго-Западный государственный университет.

305040 Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

Содержание

Введение	4
Задание	4
1. Описание мехатронной системы	7
2. Моделирование в среде Matlab	8
3. Результаты моделирования	20

Введение

Одним из наиболее важных этапов в проектировании мехатронной системы является разработка ее математической модели и реализация численного моделирования, позволяющего исследовать основные характеристики устройства и особенности его движения.

В настоящем методическом указании рассмотрена разработка математической модели мехатронной системы вибрационного инструмента без учета воздействия на него обрабатываемой среды, описано применение метода блочного моделирования для получения временных зависимостей основных характеристик объекта в среде Matlab/Simulink и исследование влияния на динамику устройства режимов пуска двигателя.

Задание

1 В программном пакете Simulink/MATLAB методом блочного моделирования собрать схемы для исследования динамики вибросистемы при мгновенном и программно-управляемом пуске двигателя в среде MathCAD.

2 Построить временные зависимости $i(t)$, $\ddot{\varphi}(t)$, $\dot{\varphi}(t)$, $\varphi(t)$, $\ddot{x}(t)$, $\dot{x}(t)$, $x(t)$, $U(t)$ при двух видах пуска двигателя.

3 Сделать выводы о влиянии пускового режима двигателя на переходный и установившийся режимы работы системы.

Численные данные, используемые при моделировании, указаны в табл. 1. Характеристики двигателей приведены в табл. 2.

$$\begin{aligned} m_1 &= 0.02 \text{ кг;} \\ c_1 &= 250 \text{ Н/м;} \\ \mu_1 &= 2.5 \text{ Н}\cdot\text{с/м;} \\ r &= 0.01 \text{ м;} \\ g &= 10 \text{ м/с}^2. \end{aligned}$$

Табл. 1 - Численные данные вибрационной системы

№	m2/ m1	Двигатель
1	1	RE-16 3.2 ВТ
2	5	RE-13 3 ВТ
3	1	RE-13 2.5 ВТ
4	5	RE-25 20 ВТ
5	1	RE-30 60 ВТ
6	5	RE-40 150 ВТ
7	1	RE-75 250 ВТ
8	5	RE-16 4.5 ВТ
9	1	RE-16(2) 3.2 ВТ
10	3	RE-30 60 ВТ
11	5	RE-16 3.2 ВТ
12	1	RE-13 3 ВТ
13	5	RE-13 2.5 ВТ
14	1	RE-25 20 ВТ
15	5	RE-30 60 ВТ
16	1	RE-40 150 ВТ
17	5	RE-75 250 ВТ
18	1	RE-16 4.5 ВТ
19	5	RE-16(2) 3.2 ВТ
20	3	RE-40 150 ВТ

Табл. 2 – Характеристики двигателей

Параметры	RE-16	RE-13	RE-13	RE-25	RE-30	RE-40	RE-75	RE-16	RE-16
	3.2 Вт	3 Вт	2.5 Вт	20 Вт	60 Вт	150 Вт	250 Вт	4.5 Вт	3.2 Вт
Ном. напряжение, В	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0
Скорость холостого хода, об/мин	7130	13100	11000	9770	8170	6920	1820	13900	5990
Ток холостого хода, мА	6.05	44.4	11.0	165	300	241	568	46.0	4.63
Ном. скорость, об/мин	5020	10200	7370	8630	7630	6370	1540	11900	3830
Ном. момент, мНм	5.47	2.45	2.89	23.5	51.7	94.9	551	3.95	5.37
Ном. ток, А	0.347	0.331	0.291	2.25	4.00	6.00	10.0	0.531	0.286
Пусковой момент, мНм	18.6	11.1	8.79	261	844	1680	5960	28.8	14.9
Пусковой ток, А	1.16	1.32	0.856	23.2	60.5	102	103	3.55	0.784
Сопротивление цепи ротора, Ом	10.3	9.07	14.0	0.517	0.198	0.117	0.117	3.38	15.3
Индуктивность цепи ротора, мГн	0.452	0.316	0.485	0.0573	0.0345	0.0245	0.0402	0.113	0.639
Моментная постоянная, мНм/А	16.0	8.42	10.3	11.2	13.9	16.4	58.1	8.11	19.0
Скоростная постоянная, (об/мин)/В	597	1130	930	850	685	581	164	1180	502
Механическая постоянная времени, мс	5.24	6.92	7.15	5.89	3.42	6.03	4.95	6.84	5.26
Момент инерции ротора, гсм ²	1.29	0.541	0.537	14.4	33.5	139	1430	1.33	1.24

1. Описание мехатронной системы

Рассмотрим мехатронную систему, представляющую собой вибрационный инструмент, используемый при операциях обработки различных технологических сред, расчетная схема которой изображена на рис. 1. Инструмент состоит из несущего корпуса 1, упруго-вязким образом связанного с неподвижным основанием 2. В полости корпуса расположен дебалансный вибровозбудитель 3 с приводом от электродвигателя ограниченной мощности. Направление движения инструмента и обработки обеспечивается идеальными направляющими 4. Корпус жестко соединен с рабочим органом.

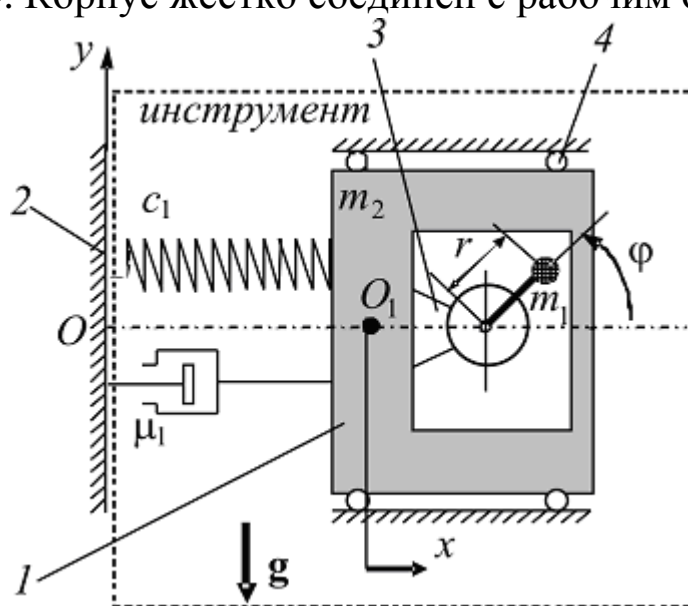


Рис. 1 Схема мехатронной системы

Технологическая ось инструмента совпадает с горизонтальной осью Ox , перпендикулярной направлению действия силы тяжести g . Вращение дебаланса вибровозбудителя происходит относительно горизонтальной оси, перпендикулярной плоскости yOx .

Корпус и рабочий орган инструмента моделируются единым абсолютно твердым телом массой m_2 , поступательное движение которого описывается координатой x центра масс корпуса (точка O_1), отсчитываемой от недеформированного состояния системы в направлении горизонтальной оси Ox .

Масса m_1 дебаланса центробежного вибровозбудителя сконцентрирована в точке, отстоящей от оси электродвигателя на расстоянии r . Положение дебаланса относительно корпуса будем

определять углом φ , отсчитываемым от положительного направления оси Ox против хода часовой стрелки.

Крепление корпуса к основанию описывается реологической моделью тела Кельвина–Фойгта с коэффициентом жесткости c_1 и коэффициентом демпфирования μ_1 .

Полное движение электромеханической системы вибрационного инструмента описывается системой нелинейных дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} m \frac{d^2 x}{dt^2} + \mu_1 \frac{dx}{dt} + c_1 x = m_1 r \left[\frac{d^2 \varphi}{dt^2} \sin \varphi + \left(\frac{d\varphi}{dt} \right)^2 \cos \varphi \right]; \\ J \frac{d^2 \varphi}{dt^2} - m_1 r \left(\frac{d^2 x}{dt^2} \sin \varphi - g \cos \varphi \right) = M(i); \\ L \frac{di}{dt} + Ri + C_w \frac{d\varphi}{dt} = U(t), \end{cases} \quad (1)$$

где $J = J_D + m_1 r^2$ - приведенный к оси вращения момент инерции двигателя и дебаланса (J_D – момент инерции двигателя);

i – ток в цепи электродвигателя;

L, R – индуктивность и сопротивление обмотки электродвигателя;

C_w – электрическая константа угловой скорости;

$U(t)$ – напряжение.

Первое уравнение системы (1) определяет поступательное движение всей модели, второе – вращательное движение ротора двигателя и дебаланса, а третье – закон Кирхгофа в цепи электродвигателя.

2. Моделирование в среде Matlab

Для моделирования динамики вибрационного инструмента в среде Matlab воспользуемся методом блочного моделирования.

Входное напряжение формируется при помощи блока Step (Simulink/Sources/Step). В параметрах блока в Final value задается значение U_0 .



Block Parameters: Step

Step
Output a step.

Parameters

Step time:
0

Initial value:
0

Final value:
12

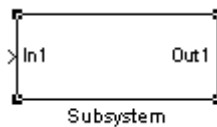
Sample time:
0

Interpret vector parameters as 1-D

Enable zero crossing detection

OK Cancel Help Apply

Каждое уравнение системы (21) будем собирать как отдельную подсистему с использованием блока Subsystem (Simulink/Ports&Subsystems/Subsystem).



Количество входов подсистемы (In1) равно числу неизвестных характеристик, входящих в уравнение. Количество выходов (Out1) – числу характеристик виброинструмента, получаемых из данного уравнения. Порядок нахождения характеристик определяется работой системы, как было указано выше.

В первой подсистеме по уравнению

$$\left(\frac{di}{dt}\right) = \frac{U}{L} - \frac{R}{L}i - \frac{C_w}{L}\left(\frac{d\varphi}{dt}\right)$$

входными параметрами являются напряжение U и угловая скорость $\frac{d\varphi}{dt}$, которая формируется во второй подсистеме. Выходным параметром выступает ток i .

Во второй подсистеме, формирующей угловые характеристики виброинструмента в соответствии с уравнением

$$\left(\frac{d^2\varphi}{dt^2}\right) = \frac{C_E}{J}i + \frac{m_1 r}{J}\left(\frac{d^2x}{dt^2}\right) \sin\varphi - \frac{m_1 r}{J}g \cos\varphi,$$

входные величины – это ток i , полученный в первой подсистеме, и линейное ускорение $\left(\frac{d^2x}{dt^2}\right)$, которое будет определено на выходе третьей подсистемы. Выходные данные – угловые характеристики $\frac{d^2\varphi}{dt^2}$, $\frac{d\varphi}{dt}$, φ .

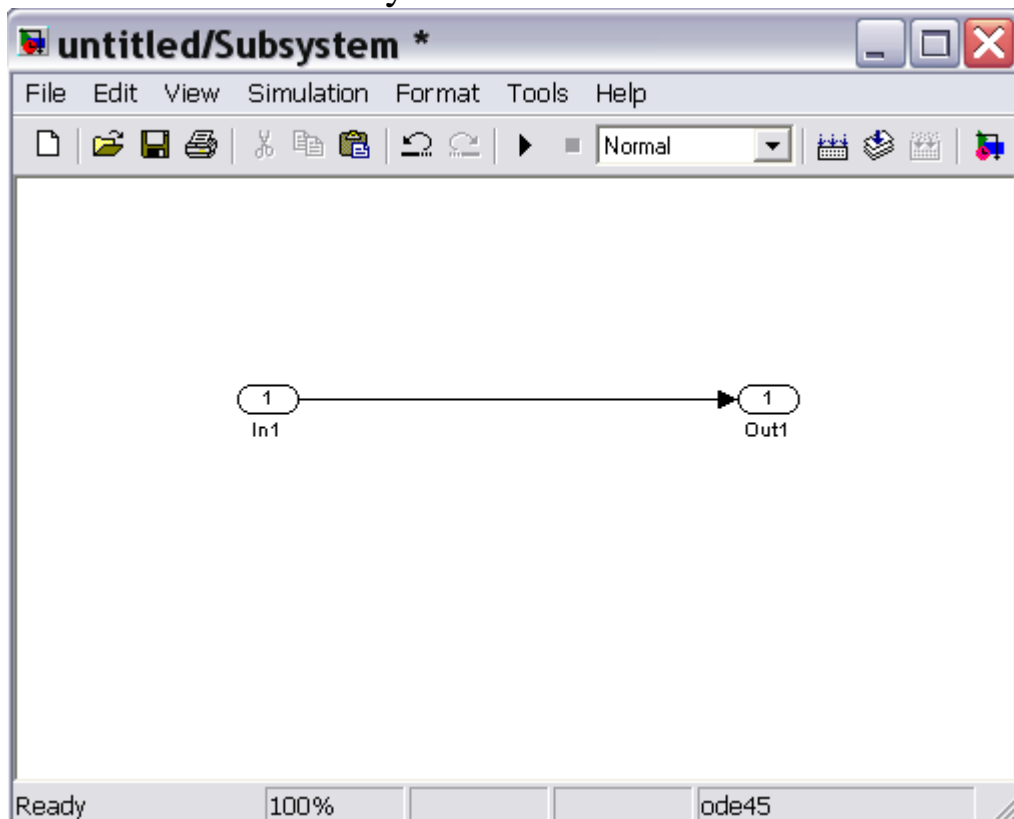
На вход третьей подсистемы, моделирующей уравнение

$$\left(\frac{d^2x}{dt^2}\right) = \frac{m_1 r}{m}\left(\frac{d^2\varphi}{dt^2}\right) \sin\varphi + \frac{m_1 r}{m}\left(\frac{d\varphi}{dt}\right)^2 \cos\varphi - \frac{\mu_1}{m}\left(\frac{dx}{dt}\right) - \frac{c_1}{m}x,$$

поступают угловое ускорение $\frac{d^2\varphi}{dt^2}$, скорость $\frac{d\varphi}{dt}$ и угол поворота φ ,

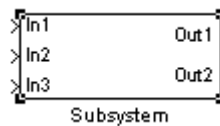
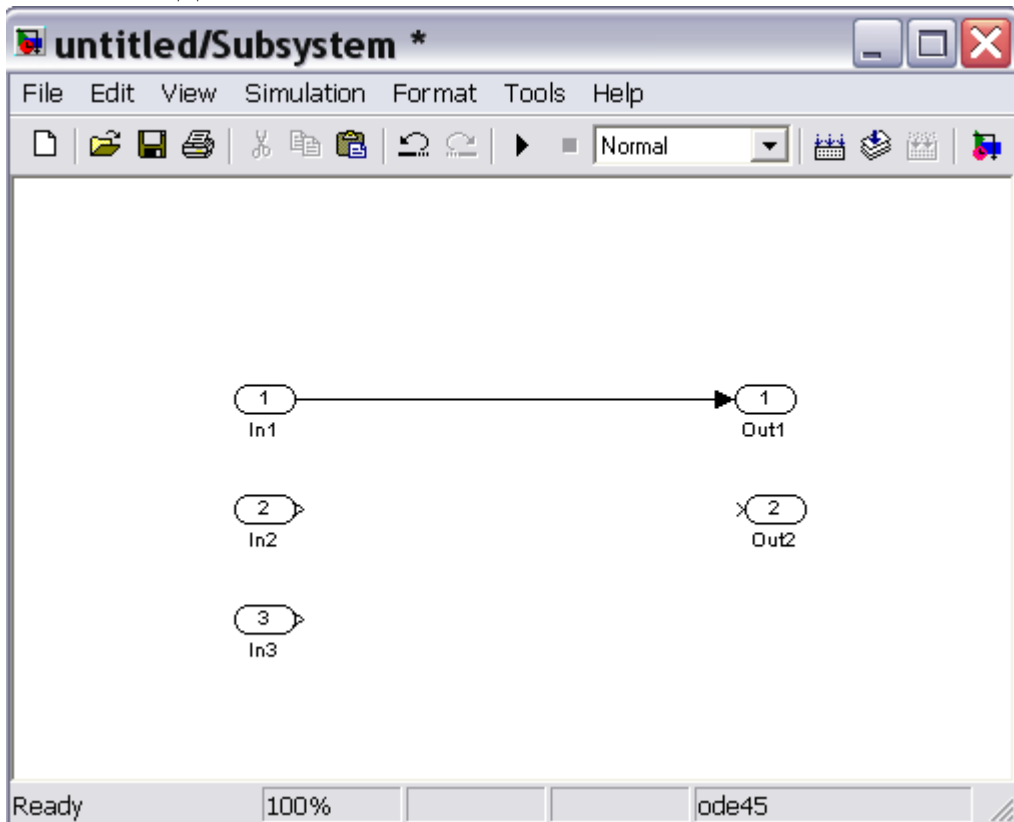
а на выходе получаются линейные характеристики $\frac{d^2x}{dt^2}$, $\frac{dx}{dt}$, x .

Для входа в подсистему осуществляется двойной щелчок левой клавишей мыши на блоке Subsystem.

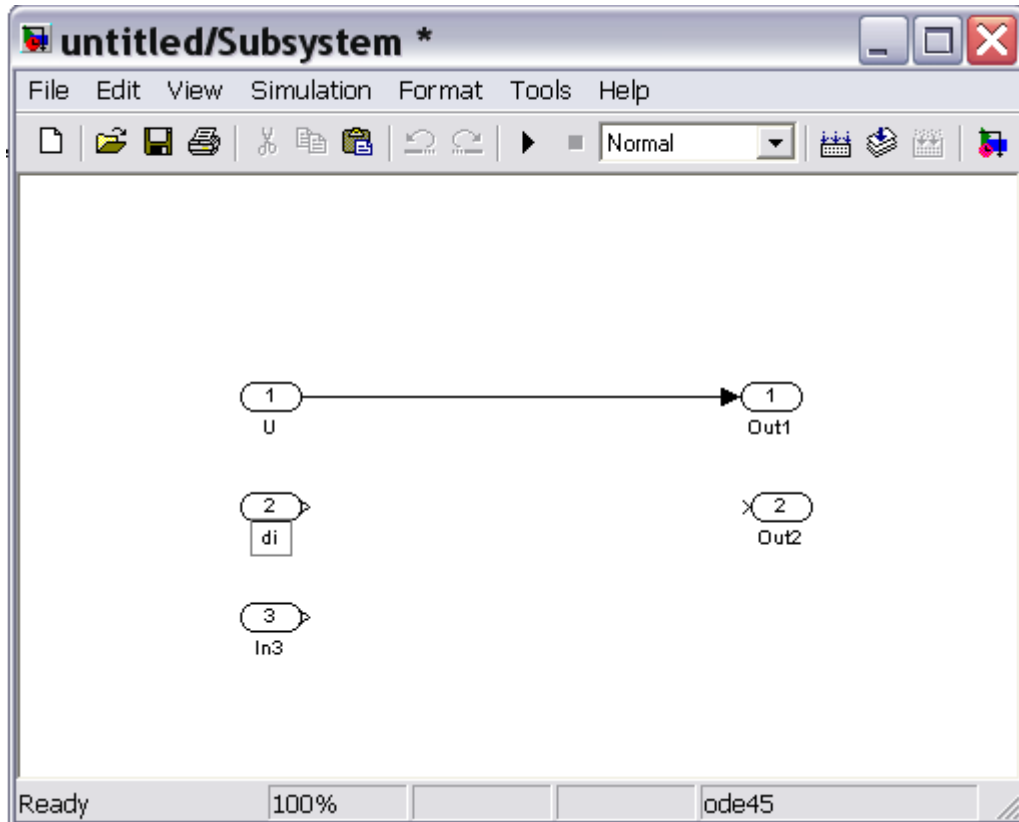


Сохраняем подсистему.

Для формирования нескольких входов и выходов в подсистеме нужно скопировать вход In1 и выход Out1 и вставить их требуемое число раз в окне подсистемы.



Для удобства работы с подсистемами рекомендуется переименовать их входы и выходы в соответствии с названиями величин, которые они подают в подсистему или формируют в ней.




Графики временных зависимостей характеристик подсистемы будем получать в блоке  Score (Simulink/Sinks/Scope).

Схема моделирования работы виброинструмента приведена на рис. 2.

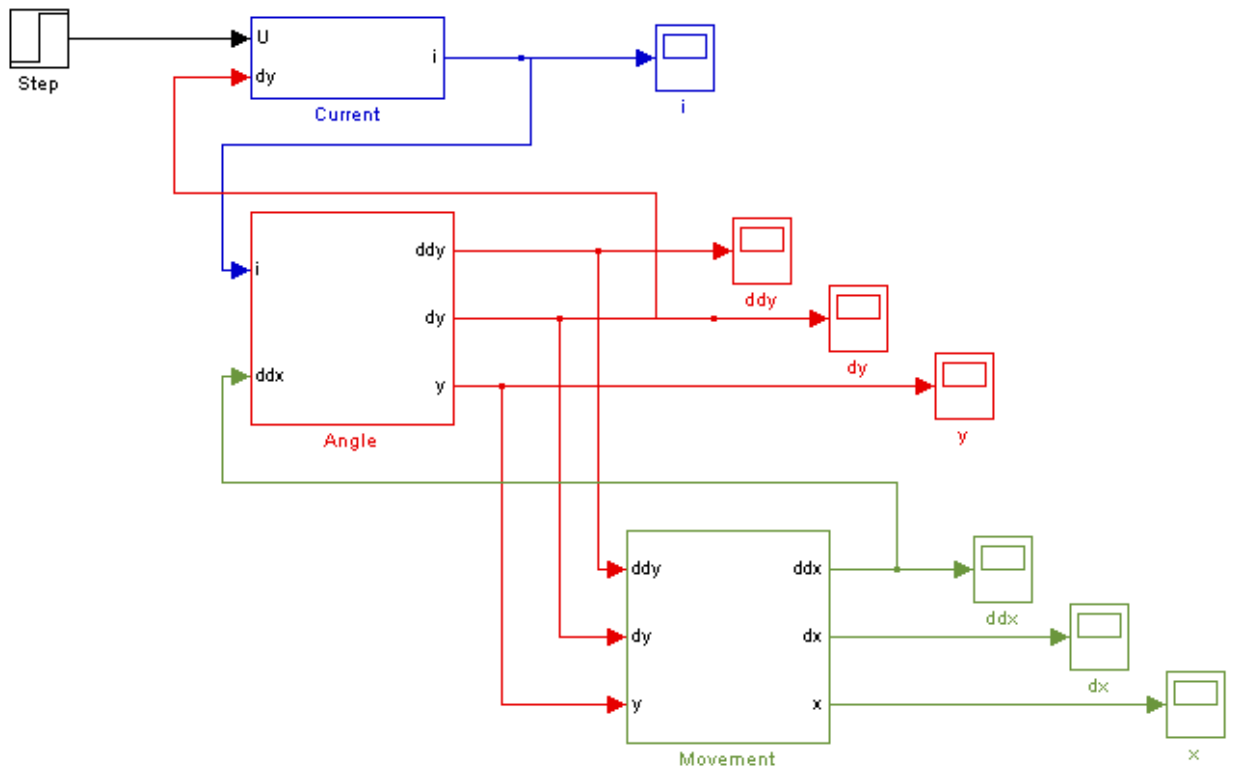


Рис. 2 Схема моделирования работы виброинструмента

Рассмотрим работу подсистем.


Константы в подсистемах задаются при помощи блоков Constant

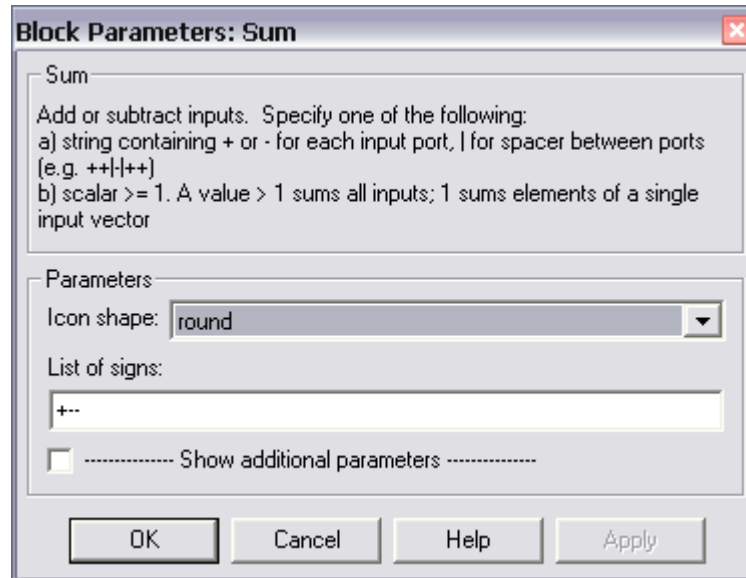
1

(Simulink/Sources/Constant). Константы удобнее переобозначать

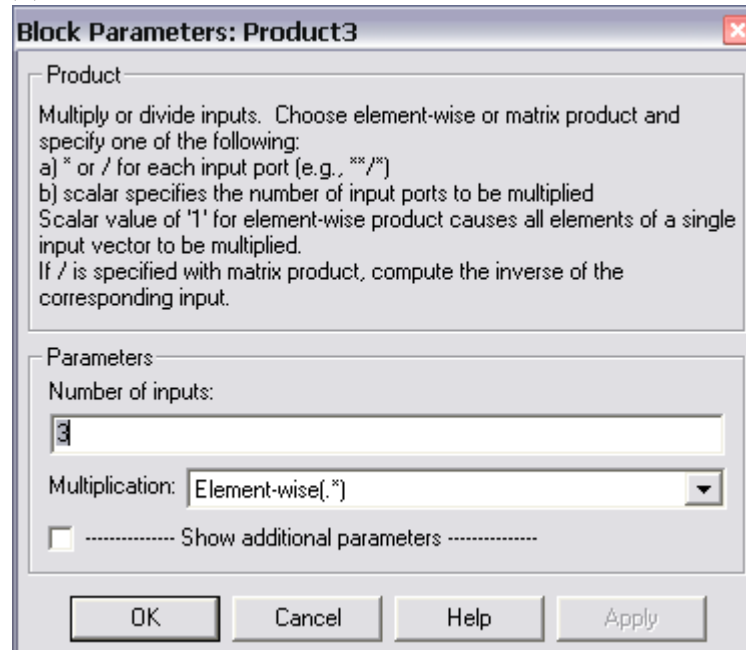
2.18

по имени параметра R.

Для сложения и вычитания величин используется блок Sum  (Simulink/Math Operations/Sum). Знаки сложения/вычитания и их количество, определяющее число входов блока, задаются в его свойствах.



Умножение величин осуществляется в блоке Product (Simulink/ Math Operations/Product). Число входов (перемножаемых параметров) определяется в свойствах элемента.



Ток i , угловые и линейные скорости $\frac{d\varphi}{dt}$ и $\frac{dx}{dt}$ и перемещения φ и x определяются как интегралы от соответствующих производных при помощи блока Integrator $\frac{1}{s}$ (Simulink/Continuous/Integrator).

$$i = \int \frac{di}{dt} dt$$

$$\frac{d\varphi}{dt} = \int \frac{d^2\varphi}{dt^2} dt$$

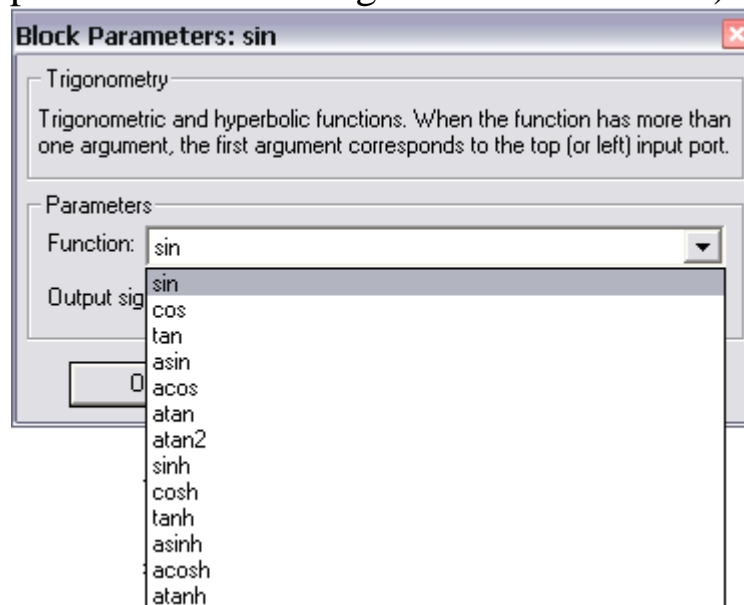
$$\frac{dx}{dt} = \int \frac{d^2x}{dt^2} dt$$

$$\varphi = \int \frac{d\varphi}{dt} dt$$

$$x = \int \frac{dx}{dt} dt$$

Тригонометрические функции (sin, cos) выбираются из раскрывающегося списка блока Trigonometric Function (Simulink/Math Operations/ блоке Trigonometric Function).

sin



Подсистемы моделирования трех уравнений работы вибрационной системы приведены на рис. 3-5.

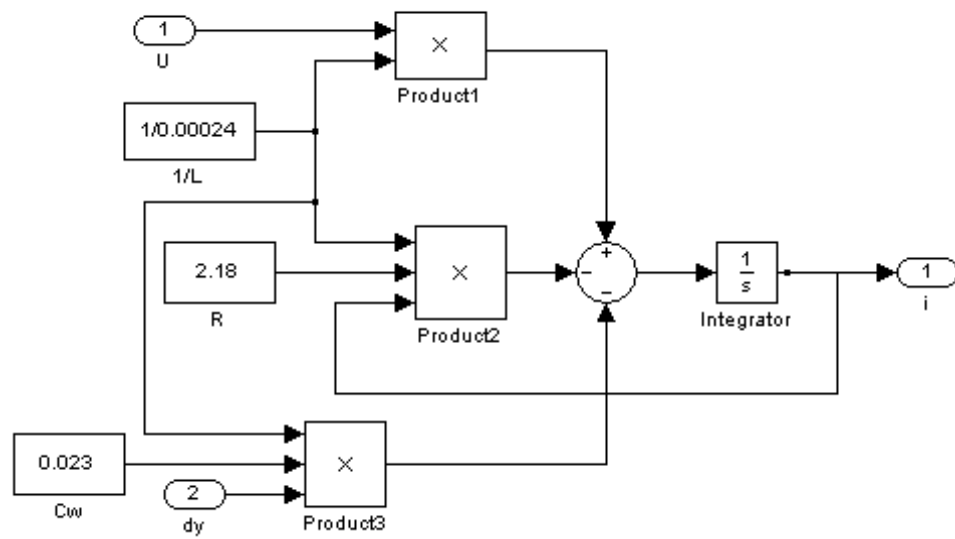


Рис. 3 Подсистема моделирования электрических характеристик

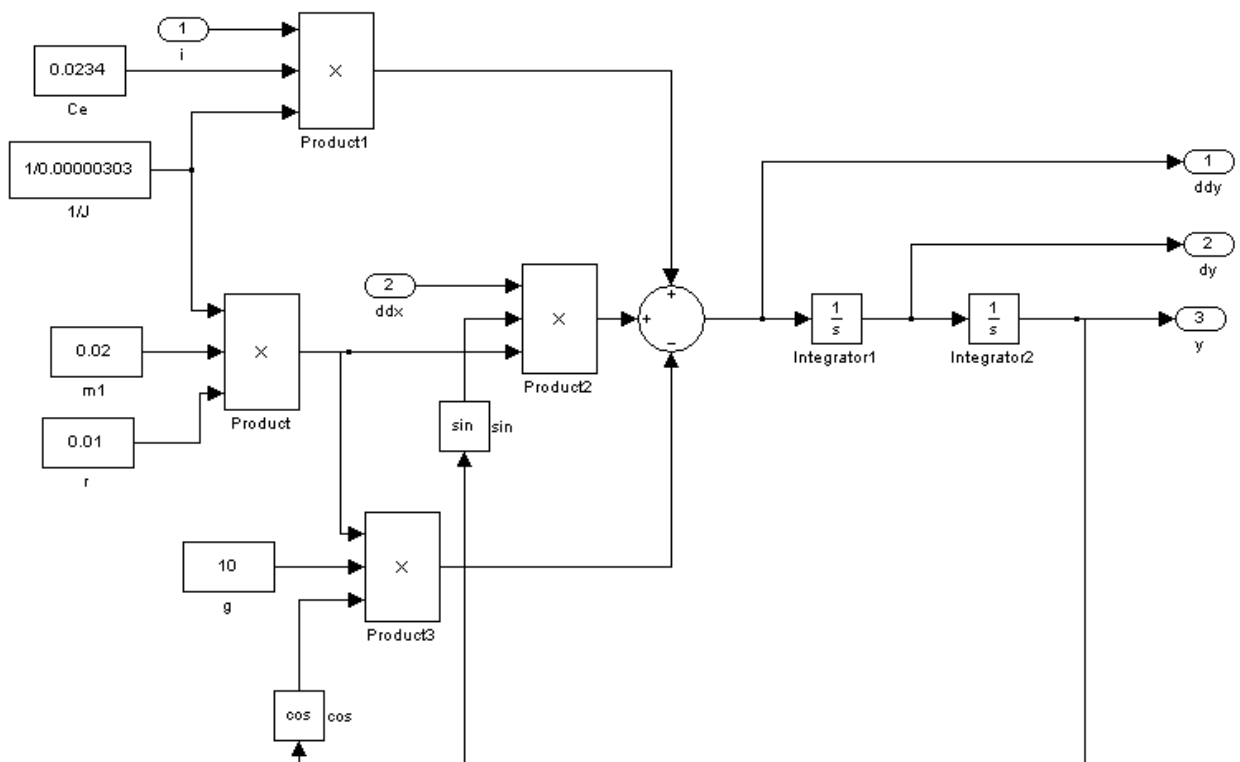


Рис. 4 Подсистема моделирования угловых характеристик

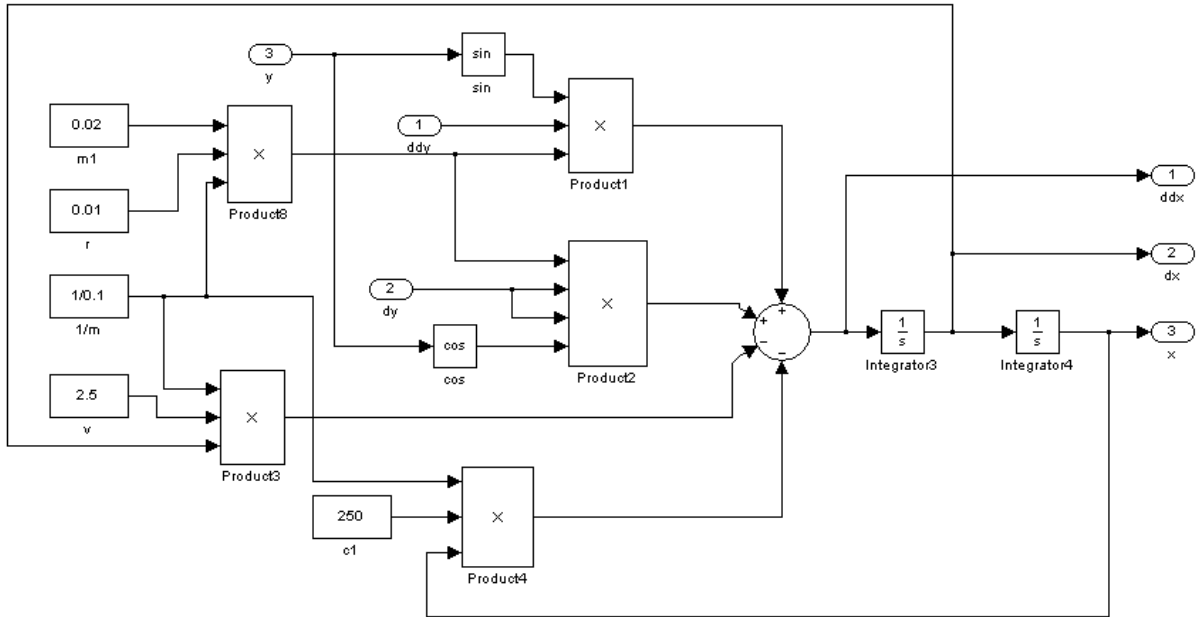

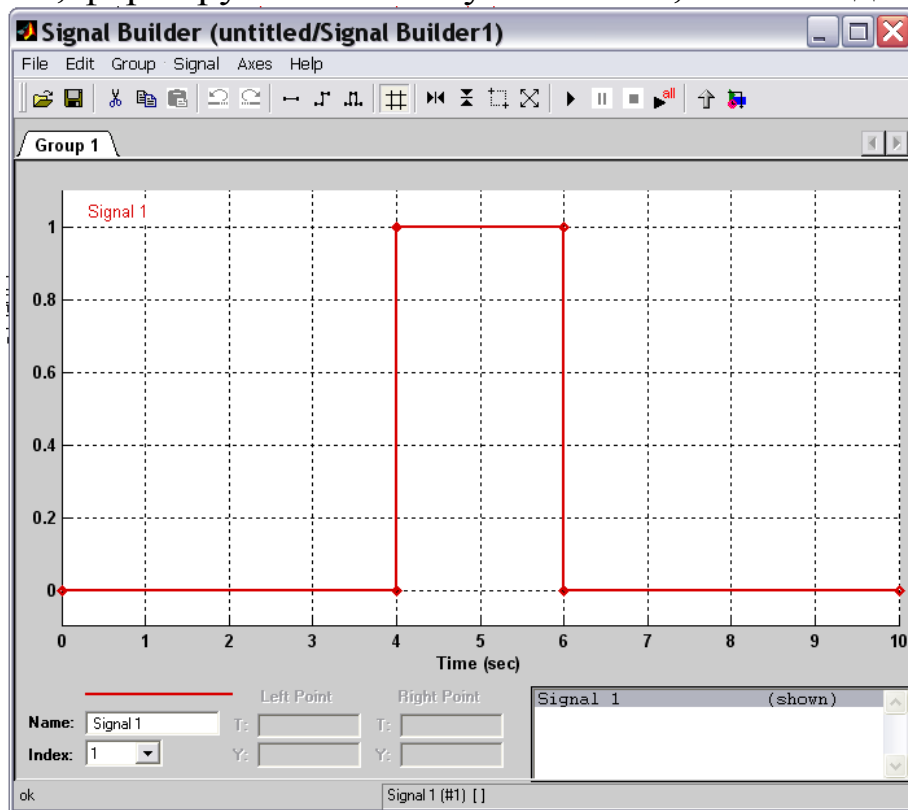
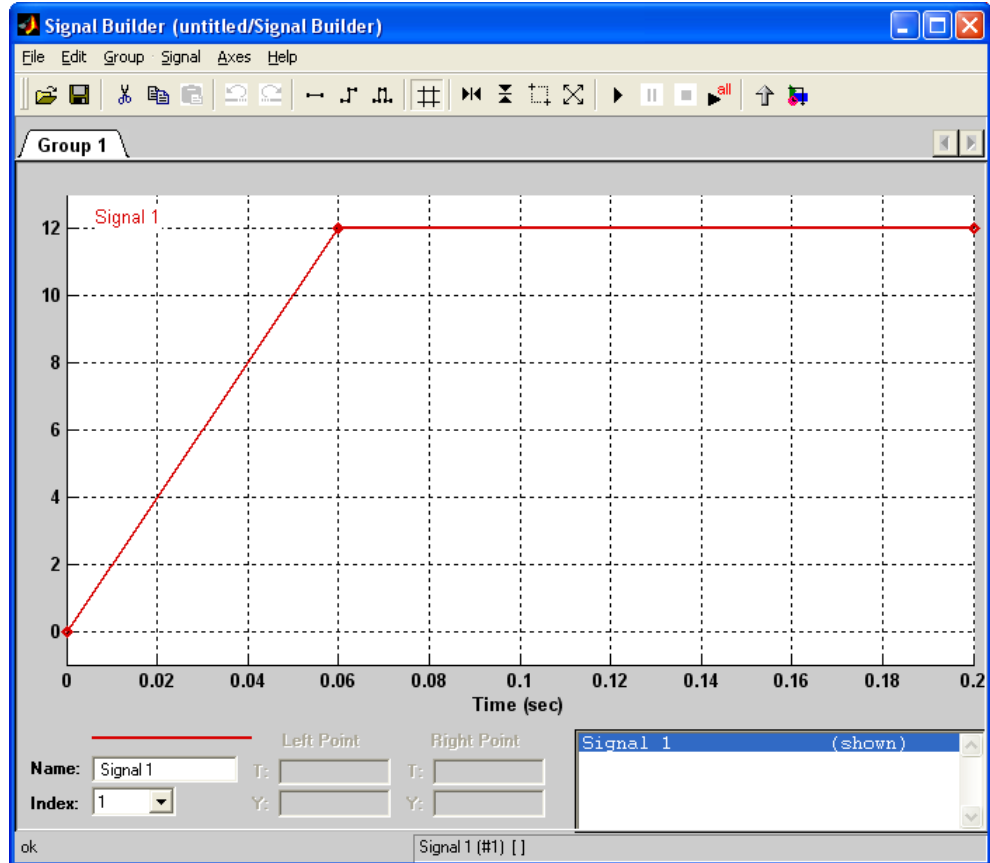


Рис. 5 Подсистема моделирования линейных характеристик

Для моделирования программно-управляемого пуска двигателя используется блок Signal Builder  (Simulink/Sources/ Signal Builder). Сигнал, формируемый им по умолчанию, имеет вид:



Требуемые координаты каждой точки по осям T и Y вводим в окно *Left Point*, выбрав предварительно точку. Граничные значения по осям можно задавать во вкладке *Axes/Set Y(T) display limits*. Требуемый график напряжения при программно-управляемом пуске имеет вид:



Для построения совмещенных графиков характеристик виброинструмента при двух законах пуска двигателя необходимо собрать в одном файле Matlab/Simulink две одинаковые схемы, моделирующие работу вибросистемы, отличающиеся только видом входного сигнала напряжения (рис. 6).

3. Результаты моделирования

Блок Mux (Simulink/Signal Routing/Mux) используется для вывода на Scope совмещенных графиков. Основные характеристики системы приведены на рис. 7-10.

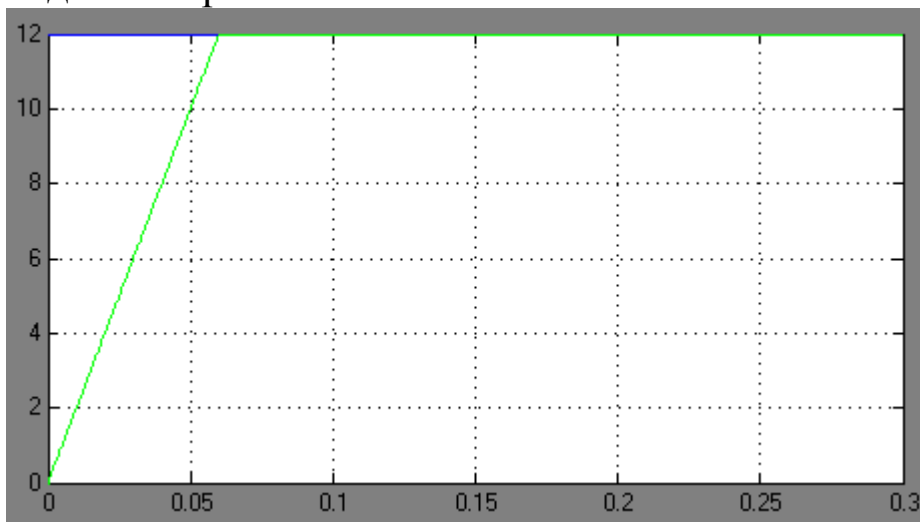


Рис. 7 Графики напряжения питания двигателя: — мгновенный пуск, — программно-управляемый пуск

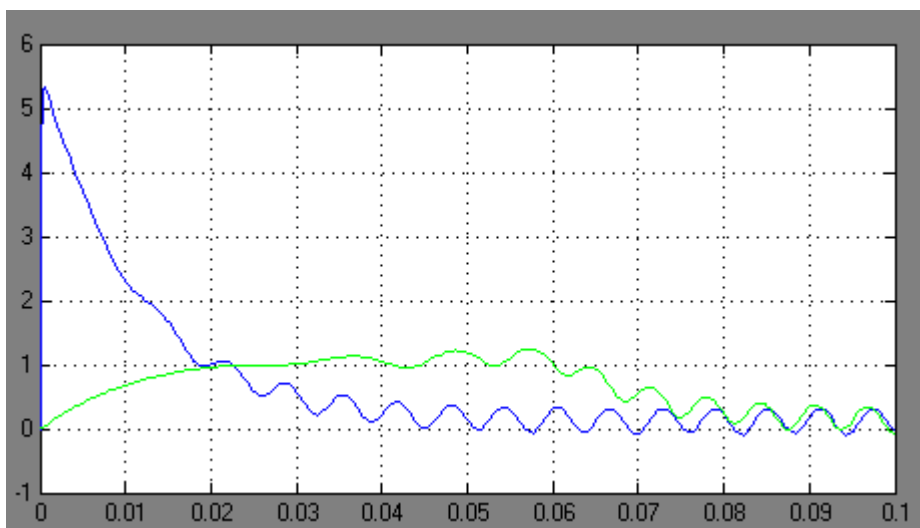


Рис. 8 Графики тока в обмотках двигателя: — мгновенный пуск, — программно-управляемый пуск

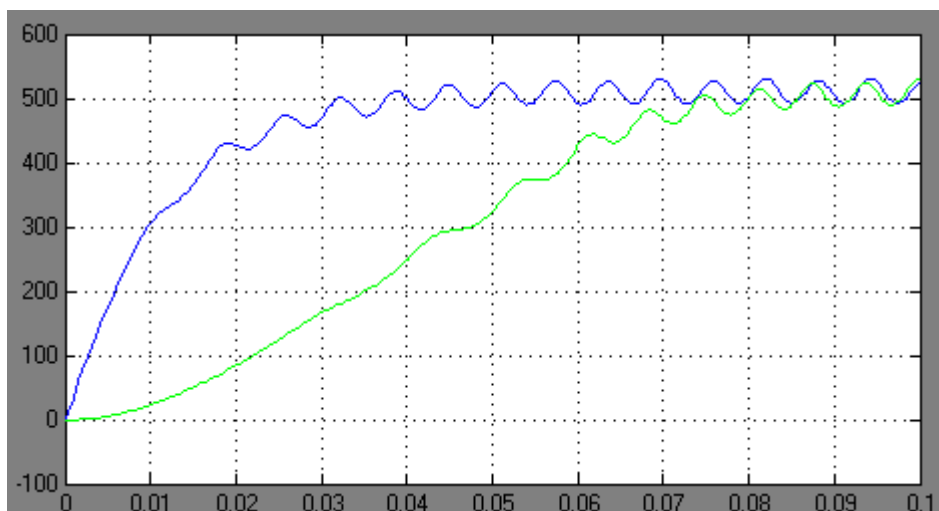


Рис. 9 Графики угловой скорости дебаланса: — мгновенный пуск, — программно-управляемый пуск

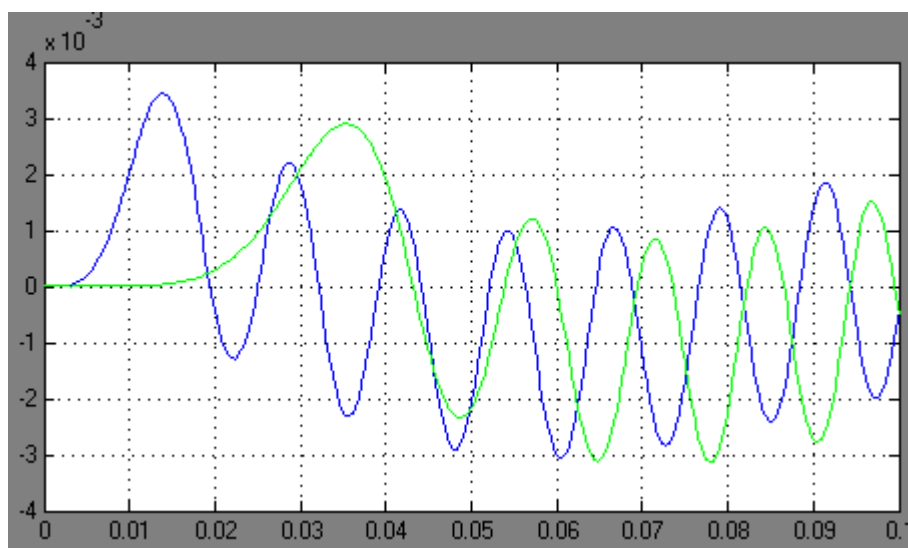


Рис. 10 Графики линейного перемещения виброинструмента: — мгновенный пуск, — программно-управляемый пуск