

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. В. Г. ШУХОВА»
(БГТУ им. В.Г. Шухова)

Кафедра программного обеспечения вычислительной техники и
автоматизированных систем

РГЗ

по дисциплине: Системное моделирование

тема: «Математическое моделирование работы электронно-механической
измерительной системы»

Выполнил: ст. группы ПВ-211

Чувилко Илья Романович

Проверили:

Полунин Александр Иванович

Белгород 2023 г.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Задание.....	3
1 Формулировка задачи.....	4
2 Математическая постановка задачи: вывод необходимых формул, выбор и запись расчётных методов и алгоритмов.....	5
3 Исходный код.....	8
4 Результаты расчётов – графики.....	11
Вывод.....	13

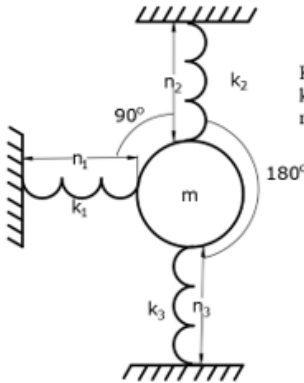
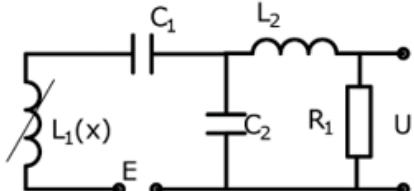
ЗАДАНИЕ

Вариант №23

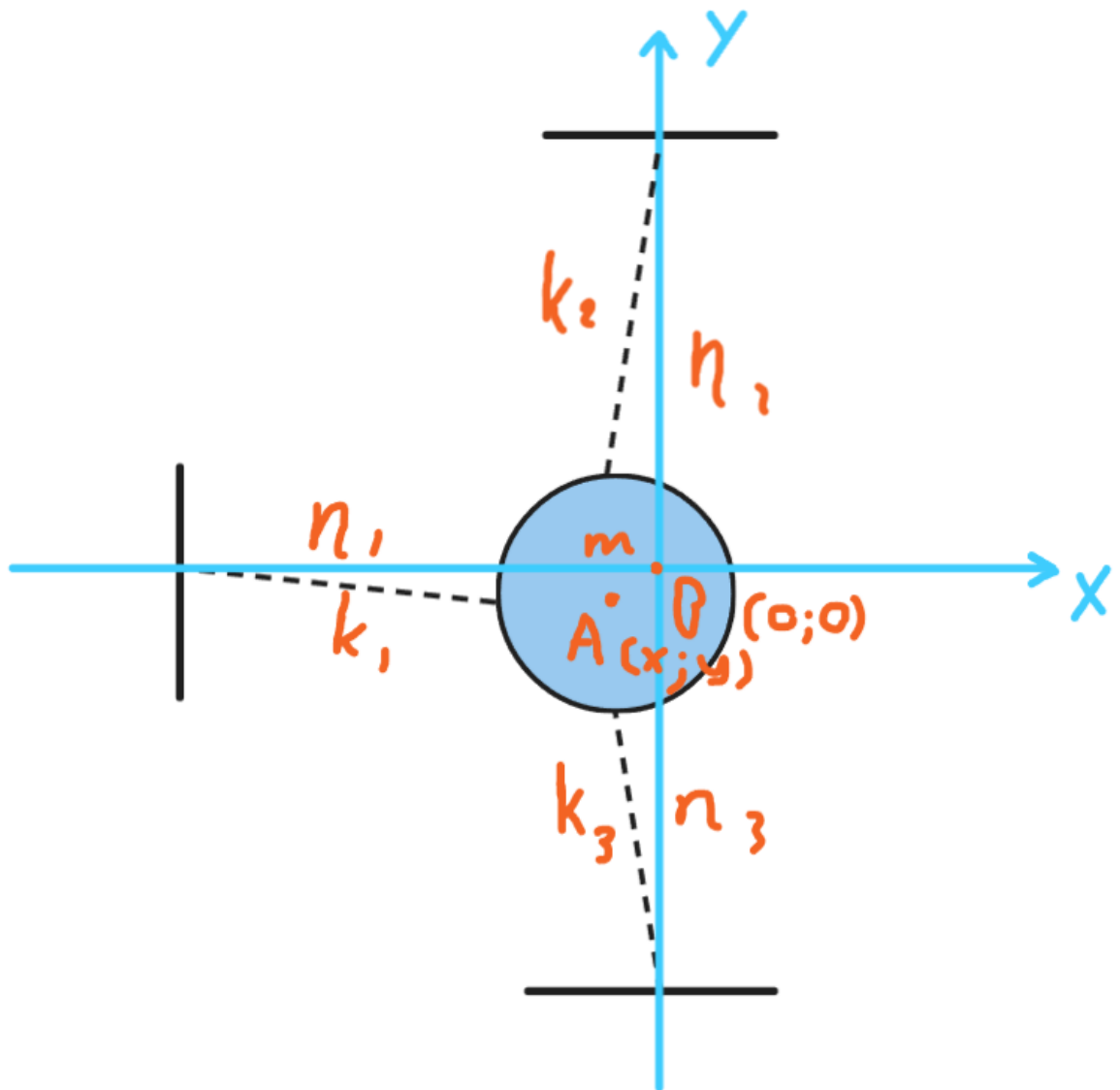
Задачи:

- 1) Формулировка задачи.
- 2) Математическая постановка задачи: вывод необходимых формул, выбор и запись расчётных методов и алгоритмов.
- 3) Результаты расчётов – графики.

1 Формулировка задачи

3	 <p> $K_1 = 20000; k_2 = 10000;$ $k_3 = 40000; n_1 = 1; m = 10;$ $n_2 = 0.5; n_3 = 0.7.$ </p>	 <p> $C_1 = 2 \cdot 10^{-2}, C_2 = 10^{-6}, L_2 = 10^{-2}, R_1 = 500$ </p>
---	---	--

2 Математическая постановка задачи: вывод необходимых формул, выбор и запись расчётных методов и алгоритмов.



При линеаризации считаем, что отклонение массы от начального положения очень мало и пружины всегда параллельны главным осям

$$\Delta l_1 = x$$

$$\Delta l_2 = -y$$

$$\Delta l_3 = y$$

Кинетическая энергия:

$$T = \frac{m\dot{x}^2 + m\dot{y}^2}{2}$$

Потенциальная энергия:

$$\Pi = \frac{k_1 x^2}{2} + \frac{k_2 y^2}{2} + \frac{k_3 y^2}{2} + mgy$$

Составим уравнения Лагранжа второго рода:

Для кинетической энергии:

$$Q_x^T = \frac{d}{dt} \frac{d \left(\frac{m \dot{x}^2 + m \dot{y}^2}{2} \right)}{d \dot{x}} - \frac{d \left(\frac{m \dot{x}^2 + m \dot{y}^2}{2} \right)}{dx}$$

$$Q_y^T = \frac{d}{dt} \frac{d \left(\frac{m \dot{x}^2 + m \dot{y}^2}{2} \right)}{d \dot{y}} - \frac{d \left(\frac{m \dot{x}^2 + m \dot{y}^2}{2} \right)}{dy}$$

$$Q_x^T = m \ddot{x}$$

$$Q_y^T = m \ddot{y}$$

Для потенциальной энергии:

$$Q_x^\Pi = \frac{-d \left(\frac{k_1 x^2}{2} + \frac{k_2 y^2}{2} + \frac{k_3 y^2}{2} + mgy \right)}{dx}$$

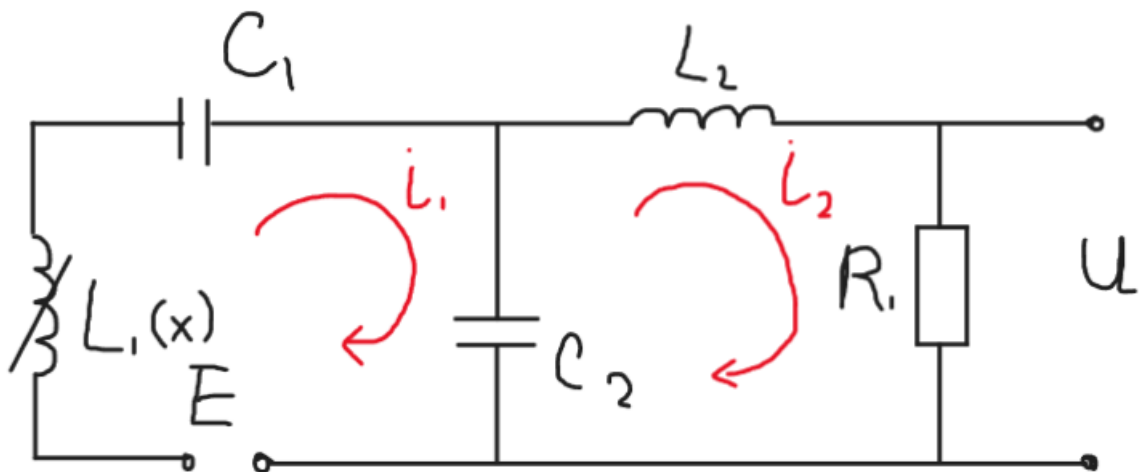
$$Q_y^\Pi = \frac{-d \left(\frac{k_1 x^2}{2} + \frac{k_2 y^2}{2} + \frac{k_3 y^2}{2} + mgy \right)}{dy}$$

$$Q_x^\Pi = -k_1 x$$

$$Q_y^\Pi = -k_2 y - k_3 y - mg$$

$$\begin{cases} \ddot{x} = \frac{-k_1 x}{m} \\ \ddot{y} = \frac{-k_2 y - k_3 y - mg}{m} \end{cases}$$

$$\begin{cases} \frac{dV_x}{dt} = \frac{-k_1 x}{m} \\ \frac{dx}{dt} = V_x \\ \frac{dV_y}{dt} = \frac{-k_2 y - k_3 y - mg}{m} \\ \frac{dy}{dt} = V_y \end{cases}$$



Согласно 2 закону Кирхгофа:

$$\begin{cases} L_1(x) \frac{di_1}{dt} + \frac{1}{C_1} \int_0^t i_1 dt + \frac{1}{C_2} \int_0^t (i_1 - i_2) dt = E \\ L_2 \frac{di_2}{dt} + (i_2 + i_h) R_1 + \frac{1}{C_2} \int_0^t (i_2 - i_1) dt = 0 \end{cases}$$

$$L_1(x) = L_0 - a \vee x \vee$$

$$i_h = \frac{E}{R_1}$$

$$\begin{cases} \frac{di_1}{dt} = \frac{E - \frac{Q_1}{C_1} - \frac{Q_1 - Q_2}{C_2}}{L_1(x)} \\ \frac{dL_1(x)}{dx} = \begin{cases} a, x < 0 \\ -a, x \geq 0 \end{cases} \\ \frac{di_2}{dt} = \frac{-(i_2 + i_h) R_1 - \frac{Q_2 - Q_1}{C_2}}{L_2} \\ \frac{dQ_1}{dt} = i_1 + i_h \\ \frac{dQ_2}{dt} = i_2 + i_h \end{cases}$$

3 Исходный код

```
classdef lr2_window < matlab.apps.AppBase
    methods (Access = public)
        function SetLOld(~, newX)
            global lOld;
            lOld = newX;
        end

        function x = GetLOld(~)
            global lOld;
            x = lOld;
        end

        function SetMaxFlag(~, newX)
            global maxFlag;
            maxFlag = newX;
        end

        function x = GetMaxFlag(~)
            global maxFlag;
            x = maxFlag;
        end

        function SetZeroFlag(~, newX)
            global zeroFlag;
            zeroFlag = newX;
        end

        function x = GetZeroFlag(~)
            global zeroFlag;
            x = zeroFlag;
        end

        function Draw(app)
            clc;
            t0 = app.t0EditField.Value;
            tk = app.tkEditField.Value;
            t_int=[t0 tk];
            start_f=[
                app.xEditField.Value;
                app.VxEditField.Value;
                app.yEditField.Value;
                app.VyEditField.Value;
                app.Q1EditField.Value;
                app.i1EditField.Value;
                app.Q2EditField.Value;
                app.i2EditField.Value;
            ];
            [t,f]=ode45(@app.GetSystem,t_int,start_f, odeset('RelTol', 1e-7, 'AbsTol',1e-
16, 'Refine', 5));

            tmin = 1;

            plot(app.UIAxesX, t(tmin:end),f(tmin:end,1),'--', "Color", 'black');
            hold(app.UIAxesX, 'on');

            f(:, 8) = f(:, 8).*app.R1EditField.Value;
            tz = app.C2EditField.Value * app.R1EditField.Value * 3;
            ti = find(t>=0.01,1);
```



```

dt = (tk - t0) / size(t, 1) * (tk - t0) / tz;
for i = ti:size(t, 1)
    f(i, 8) = f(i, 8) / 2000 + app.EEditField.Value;
end

dt = (f(ti, 8) - f(ti-1, 8)) / ti;

for i = 1:ti-1
    f(i, 8) = f(i, 8) + dt * i;
end

plot(app.UIAxesU, t(tmin:end), f(tmin:end, 8), 'Color', 'r');
hold(app.UIAxesU, 'on');

hold(app.UIAxesU, 'off');
hold(app.UIAxesX, 'off');
legend(app.UIAxesX, 'X');
legend(app.UIAxesU, 'U');
end

function df_dt = GetSystem(app, t, F)
g = 9.81;
k1 = app.k1EditField.Value;
k2 = app.k2EditField.Value;
k3 = app.k3EditField.Value;

m = app.mEditField.Value;

C1 = app.C1EditField.Value;
C2 = app.C2EditField.Value;
L0 = app.L0EditField.Value;
Lmin = app.LminEditField.Value;
L2 = app.L2EditField.Value;

R1 = app.R1EditField.Value;
E = app.EEditField.Value;

a = app.aEditField.Value;

x = F(1);
dx_dt = F(2);
y = F(3);
dy_dt = F(4);

dVx_dt = -k1*x/m;
dVy_dt = (-k2*y-k3*y-m*g)/m;

Q1 = F(5);
dQ1_dt = F(6);
Q2 = F(7);
dQ2_dt = F(8);
L1 = Lmin;

if t >= 0.01
    if (app.xEditField.Value - abs(x) < app.xEditField.Value / 100) &&
~app.GetMaxFlag()
        app.SetZeroFlag(false);
        L1 = Lmin;
        Q1 = 0;
    end
end

```

```

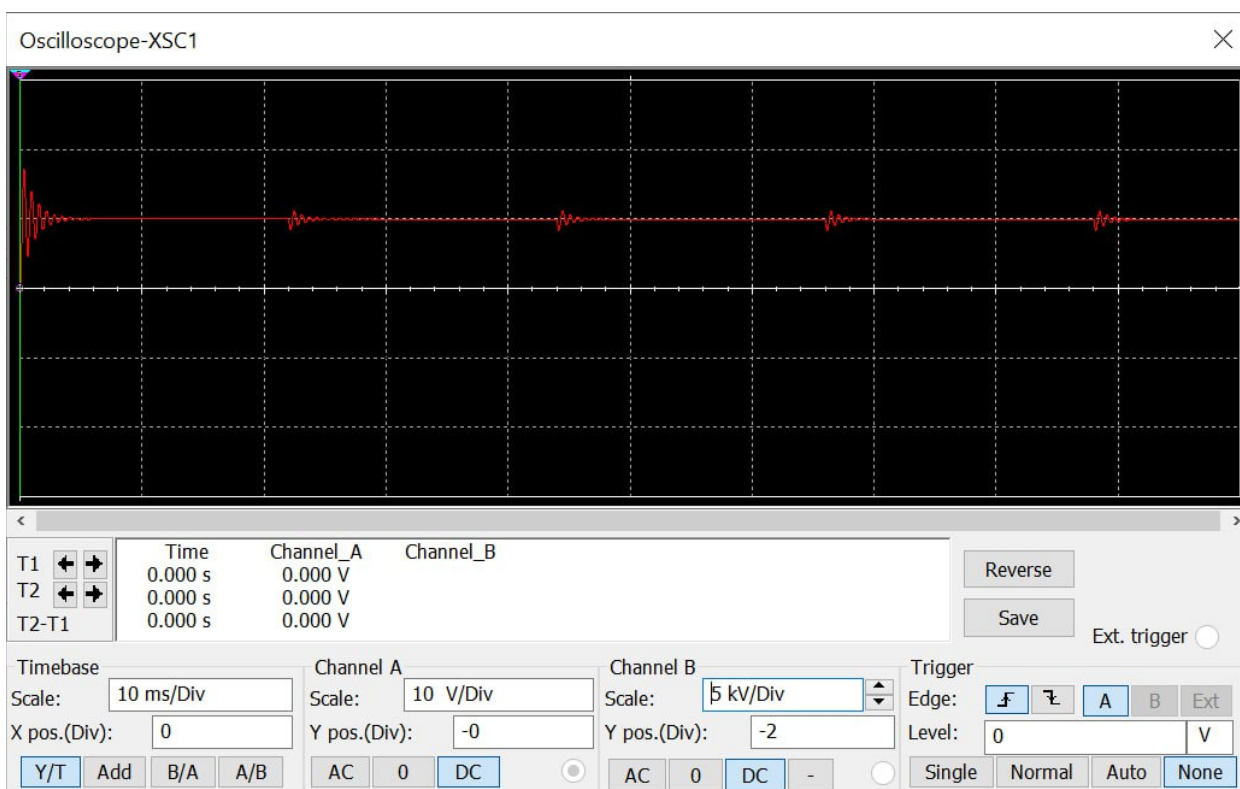
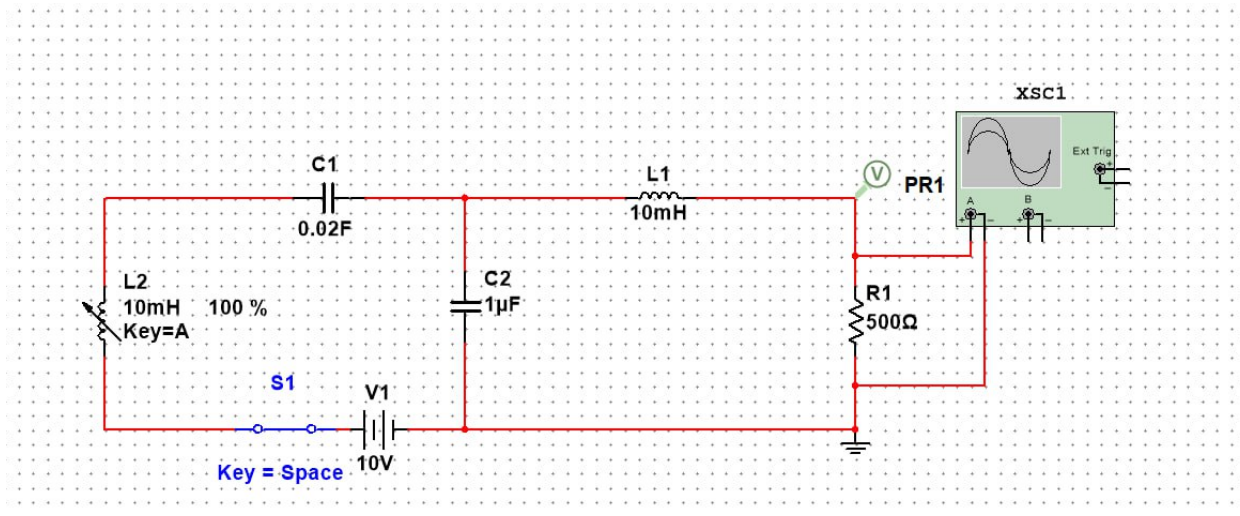
        dQ1_dt = 0;
        Q2 = 0;
        dQ2_dt = 0;
elseif (abs(x) < app.xEditField.Value) && ~app.GetZeroFlag()
    app.SetMaxFlag(false);
    L1 = L0;
end
else
    app.SetZeroFlag(false);
    app.SetMaxFlag(false);
    L1 = L0;
end

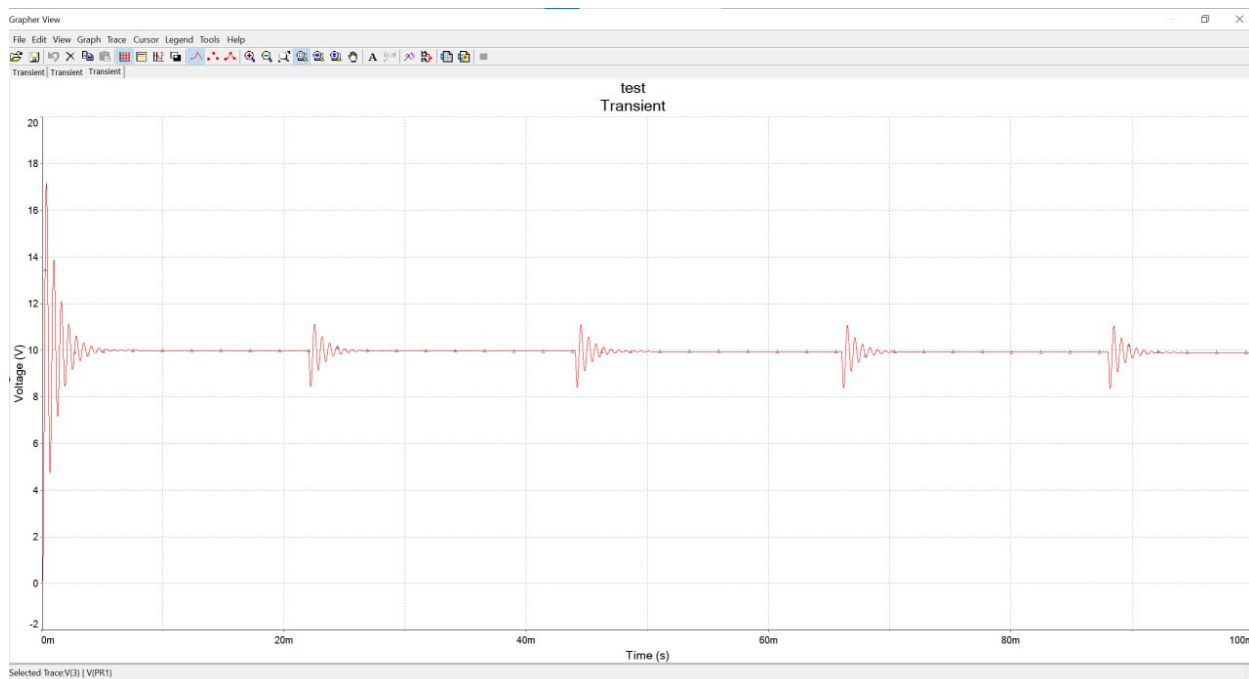
di1_dt = (E - Q1/C1 - (Q1-Q2)/C2)/L1;
di2_dt = (-dQ2_dt*R1 - (Q2-Q1)/C2)/L2;
app.SetL0ld(L1);
df_dt = [
    dx_dt;
    dVx_dt;
    dy_dt;
    dVy_dt;
    dQ1_dt;
    di1_dt;
    dQ2_dt;
    di2_dt;
];
end
end
end

```

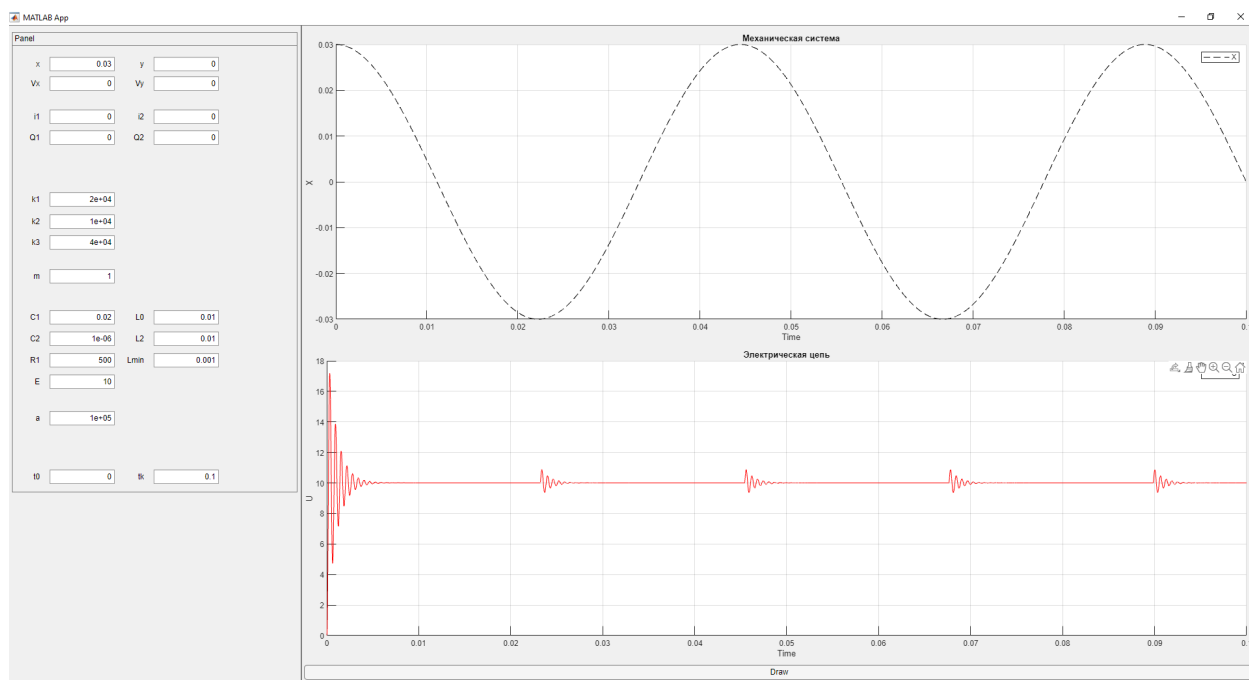
4 Результаты расчётов – графики.

Результат моделирования электромеханической системы в Multisim





Результат решения составленных дифференциальных уравнений



Результаты моделирования совпали с результатами расчетов.

ВЫВОД

РГЗ помогло мне закрепить навыки, полученные в курсе обучения по дисциплине «Системное моделирование»