

Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального
образования
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МОРСКОЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

КУРСОВОЙ РАБОТА

по дисциплине «Микропроцессорная техника в мехатронике и робототехнике»

на тему:

«Обработка сигналов в микропроцессорной системе»

Выполнил:
студент группы 3380
Феликсов Р. И.

Проверил:
Коротичкий Е. В.

Санкт-Петербург,
2021

1	Постановка задачи.....	3
2	Математическая часть.....	4
2.1	Составление системы интегро-дифференциальных уравнений фильтра относительно переменных i_1, i_2, i_3	4
2.2	Определение независимых и зависимых начальных условий.....	4
2.3	Преобразование системы уравнений к нормальному виду (к системе линейных неоднородных дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами).	5
2.4	Решение системы уравнений средствами пакета MathCAD. Построение графика ($i_1(t), i_2(t), i_3(t)$) решений системы.	5
2.5	Построение амплитудно-частотной и фазочастотной характеристики (АЧХ и ФЧХ) передаточной функции фильтра, средствами пакета MathCAD, для заданных значений сопротивлений, емкостей и индуктивностей.	
3	Реализация.....	8
3.1	Получение системы разностных уравнений из системы дифференциальных уравнений.	8
3.2	Построение графиков решений системы разностных уравнений i_1, i_2, i_3 , средствами пакета MathCAD (при заданном числе шагов интегрирования $steps$ и временном интервале Δt).	10
3.3	Сравнение полученных решений	100
4	Программирование в среде Code Vision AVR.....	11
4.1	Разработка и отладка программы(на языке C++).	101
4.2	Результаты решения системы.....	104
4.3	Сравнение полученных решений.....	104
5	Вывод.....	15
6	Список литературы.....	16

1 Постановка задачи

ВАРИАНТ №8

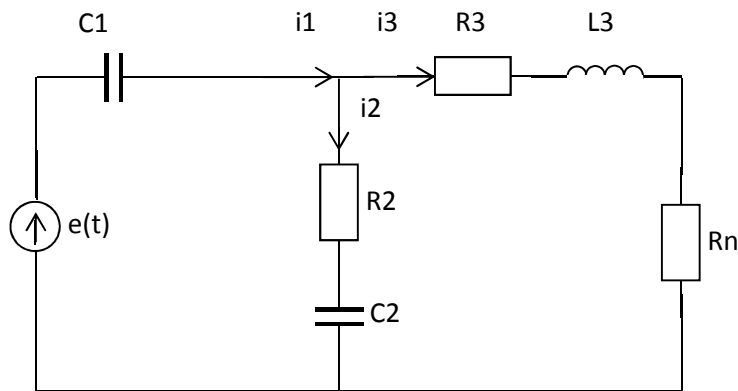


Рис. 1. Схема фильтра.

$$R2 = 10.5$$

$$R3 = 0.5$$

$$C1 = 0.2$$

$$C2 = 0.01$$

$$L3 = 0.4$$

$$Rn = 0.9$$

$$U_{c1}(0) = 0$$

$$U_{c2}(0) = 0$$

$$i_3(0) = 0$$

Цель работы. Разработать цифровой фильтр являющийся прототипом эл. схемы (Рис.1) используя аппаратные средства МК ATMEGA 8535.

Задачи:

1. Написать дифференциальные уравнения для схемы и проверить устойчивость системы. Для контроля вывести графики токов в контурах схемы.
2. Написать функцию описывающую процессы (изменения токов во времени) в виде разностных уравнений.
3. Проверить правильность работы системы сравнивая токи (графо-аналитический метод) для разных решений.
4. Написать программу на Си, промоделировать, сохранить данные и сравнить с предыдущим вариантом решения.
5. Написать выводы по работе.

2 Математическая часть

2.1 Составление системы интегро-дифференциальных уравнений фильтра относительно переменных i_1, i_2, i_3

Составим уравнения, описывающие работу фильтра (Рис.1). Интегро-дифференциальные уравнения составляются по законам Кирхгофа (1).

$$\begin{aligned} \frac{1}{C1} \int_{-\infty}^t i_1(t) dt + R_2 i_2(t) + \frac{1}{C2} \int_{-\infty}^t i_2(t) dt = e(t) \\ - \frac{1}{C2} \int_{-\infty}^t i_2(t) dt - R_2 i_2(t) + R_3 i_3(t) + L3 \frac{di_3(t)}{dt} + R n i_3(t) = 0 \end{aligned} \quad (1)$$

$$\frac{1}{C1} \int_{-\infty}^t i_1(t) dt + R_3 i_3(t) + L3 \frac{di_3(t)}{dt} + R n i_3(t) = e(t)$$

$$i_1(t) - i_2(t) - i_3(t) = 0$$

Т.к. известно, что для системы их n неизвестных достаточно n уравнений, то оставляем только 3 уравнения: первое и третье интегро-дифференциальные уравнения, составленные по контурам и последнее уравнение, составленное по узлу.

2.2 Определение независимых и зависимых начальных условий

Независимые начальные условия определяются из предположения о том, что до коммутации напряжения на всех конденсаторах и токи во всех катушках индуктивности равны нулю.

$$U_{c1}(0) = 0$$

$$U_{c2}(0) = 0$$

$$i_3(0) = 0$$

Определим зависимые начальные условия:

$$i_1(t) = i_2(t) = \frac{e(0)}{R_2}$$

$$i_3(t) = 0$$

$$\frac{di_3(t)}{dt} = \frac{e(0)}{L_3}$$

2.3 Преобразование системы уравнений к нормальному виду (к системе линейных неоднородных дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами)

Дифференцируя, левые и правые части составленных интегро-дифференциальных уравнений, получим систему линейных неоднородных дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами (2).

$$\begin{aligned}\frac{di_2(t)}{dt} &= \frac{de(t)}{R2 \cdot dt} - \frac{i_1(t)}{R2 \cdot C2} - \frac{i_2(t)}{R2 \cdot C2} \\ \frac{d^2 i_3(t)}{dt^2} &= \frac{R2 \cdot di_2(t)}{L3 \cdot dt} + \frac{i_2(t)}{C2 \cdot L3} + \frac{R3 \cdot di_3(t)}{L3 \cdot dt} + \frac{Rn \cdot di_3(t)}{L3 \cdot dt}\end{aligned}\quad (2)$$

$$i_1(t) = i_2(t) + i_3(t)$$

Оставив два из трех уравнений и введя дополнительные переменные $i_{11}(t)$, $i_{22}(t)$, $i_{33}(t)$, получим нормальную систему линейных неоднородных дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами (3).

$$\begin{aligned}\frac{di_1(t)}{dt} &= i_{11}(t) \\ \frac{di_2(t)}{dt} &= i_{22}(t) \\ \frac{di_3(t)}{dt} &= i_{33}(t)\end{aligned}\quad (3)$$

$$\begin{aligned}i_{22}(t) &= \frac{de(t)}{R2 \cdot dt} - \frac{i_1(t)}{R2 \cdot C1} - \frac{i_2(t)}{R2 \cdot C2} \\ \frac{di_{33}(t)}{dt} &= \frac{R2 \cdot i_{22}(t)}{L3} + \frac{i_2(t)}{C2 \cdot L3} - \frac{R3 \cdot i_{33}(t)}{L3} - \frac{Rn \cdot i_{33}(t)}{L3}\end{aligned}$$

$$i_1(t) = i_2(t) + i_3(t)$$

2.4 Решение системы уравнений средствами пакета Math CAD. Построение графика ($i_1(t)$, $i_2(t)$, $i_3(t)$) решений системы

Система уравнений, состоящая из трех дифференциальных уравнений и одного алгебраического, с указанными начальными условиями, решается средствами пакета MathCad. Для решения используется функция пакета Odesolve.

Графики решений системы уравнений (t-переменная интегрирования) получены при следующих условиях: шаг Δt (dlt) равен 0,0252 секунды, число шагов (steps) равно 100, время интегрирования ($T1=dlt \cdot steps$) равно 2,52 секунды, $e(t)$ это единичное входное воздействие. Графики представлены на рис.2.

$$C1 := 0.2 \quad C2 := 0.01 \quad d1t := 0.0252 \quad \text{steps} := 100$$

$$R2 := 10.5 \quad L3 := 0.4 \quad T1 := d1t \cdot \text{steps} \quad T1 = 2.52$$

$$Rn := 0.9 \quad R3 := 0.5$$

$$\begin{array}{l} \text{Given} \\ e_{-}(t) := \left\{ \begin{array}{ll} a \leftarrow 0.001 & \\ 0 \text{ if } t < a & \\ 1 - e^{-1000 \cdot (-a+t)} \text{ if } t \geq a & \end{array} \right. \end{array}$$

$$\frac{d}{dt}i3(t) = i33(t) \quad \frac{d}{dt}i2(t) = i22(t) \quad \frac{d}{dt}i1(t) = i11(t)$$

$$i22(t) = \frac{1}{R2} \cdot \left(\frac{d}{dt}e_{-}(t) \right) - \frac{1}{R2 \cdot C1} \cdot i1(t) - \frac{1}{R2 \cdot C2} \cdot i2(t)$$

$$\frac{d}{dt}i33(t) = \frac{R2}{L3} \cdot i22(t) + \frac{1}{C2 \cdot L3} \cdot i2(t) - \frac{R3}{L3} \cdot i33(t) - \frac{Rn}{L3} \cdot i33(t)$$

$$i1(t) = i2(t) + i3(t)$$

$$i1(0) = \frac{e_{-}(0)}{R2} \quad i2(0) = \frac{e_{-}(0)}{R2} \quad i33(0) = \frac{e_{-}(0)}{L3}$$

$$i3(0) = 0 \quad i11(0) = 0 \quad i22(0) = 0$$

$$t := 0, d1t .. T1$$

$$\begin{pmatrix} i1 \\ i2 \\ i3 \\ i11 \\ i22 \\ i33 \end{pmatrix} := \text{Odesolve} \left[\begin{pmatrix} i1 \\ i2 \\ i3 \\ i11 \\ i22 \\ i33 \end{pmatrix}, t, T1 \right]$$

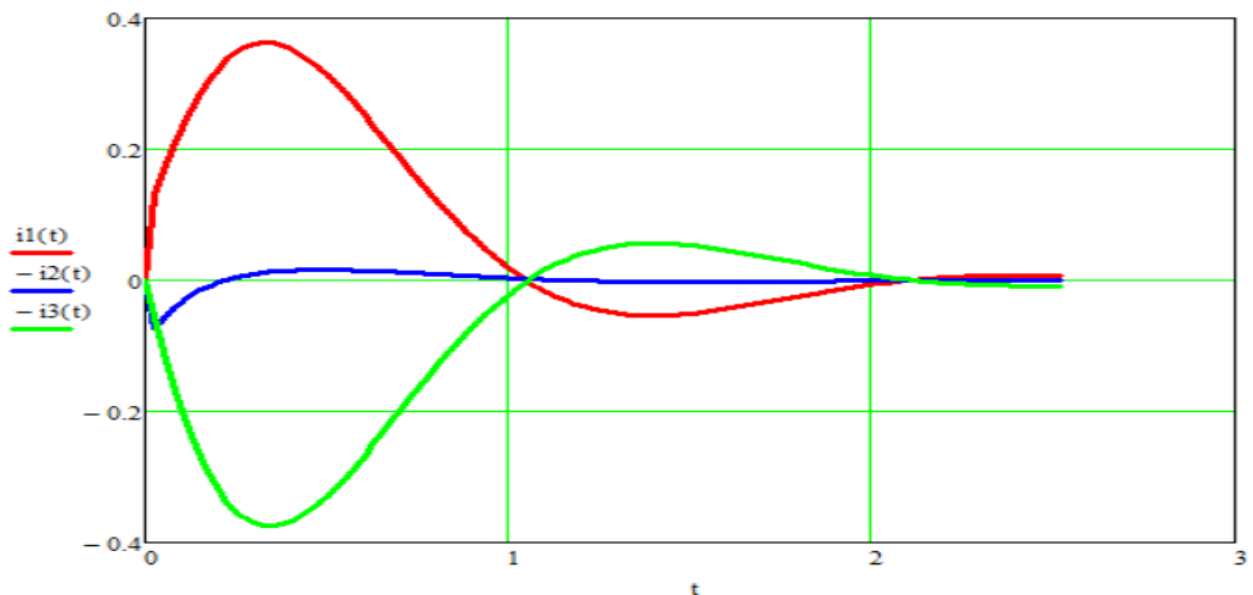


Рис. 3. Результаты интегрирования функции Odesolve

2.5 Построение амплитудно-частотной и фазочастотной характеристики (АЧХ и ФЧХ) передаточной функции фильтра, средствами пакета MathCAD, для заданных значений сопротивлений, емкостей и индуктивностей

Комплексные значения сопротивлений ветвей фильтра, зависящие от частоты, вычисляются по следующим формулам:

$$Z_1(\omega) = \frac{1}{i \cdot \omega \cdot C_1} \quad Z_2(\omega) = R_2 + \frac{1}{i \cdot \omega \cdot C_2} \quad Z_3(\omega) = R_n + i \cdot \omega \cdot L_3$$

Передаточная функция для данной схемы имеет вид:

$$K(j\omega) = \frac{Z_3 Z_2 R_n + Z_2 R_n^2}{Z_3^2 Z_2 + Z_3^2 Z_1 + Z_3 Z_2 Z_1 + 2 Z_3 Z_2 R_n + 2 Z_3 Z_1 R_n + Z_2 Z_1 R_n + Z_2 R_n^2 + Z_1 R_n^2}$$

$$K(j\omega) = |K(\omega)| \cdot e^{j\varphi(\omega)}$$

Модуль передаточной функции – АЧХ, аргумент – ФЧХ.

Амплитудно-частотная и фазочастотная характеристики передаточной функции для заданного варианта значений сопротивлений, емкостей и индуктивностей построенные средствами пакета MathCad представлены на рис.3.

$$\begin{aligned} \text{steps} &:= 100 & \text{dlt} &:= 0.0252 & \text{T1} &:= \text{dlt} \cdot \text{steps} & \text{T1} &= 2.52 & \text{f_min} &:= 0.001 \\ \text{f_sp} &:= \frac{1}{2 \cdot \text{dlt}} & \text{f_sp} &= 19.841 & \text{f_max} &:= \text{f_sp} - \frac{50 \cdot \text{f_sp}}{100} & \text{n} &:= 0 \dots \text{steps} \\ Z_1(\omega) &:= \frac{1}{i \cdot \omega \cdot C_1} & Z_2(\omega) &:= R_2 + \frac{1}{i \cdot \omega \cdot C_2} & Z_3(\omega) &:= R_n + i \cdot \omega \cdot L_3 \end{aligned}$$

$$\text{chl1}(\omega) := Z3(\omega)^2 \cdot Z2(\omega) + Z3(\omega)^2 \cdot Z1(\omega) + Z3(\omega) \cdot Z2(\omega) \cdot Z1(\omega) + 2 \cdot (Z3(\omega) \cdot Z2(\omega) \cdot Rn)$$

$$\text{chl2}(\omega) := 2 \cdot (Z3(\omega) \cdot Z1(\omega) \cdot Rn) + Z2(\omega) \cdot Z1(\omega) \cdot Rn + Z2(\omega) \cdot Rn^2 + Z1(\omega) \cdot Rn^2$$

$$KRn(\omega) := \frac{Z3(\omega) \cdot Z2(\omega) \cdot Rn + Z2(\omega) \cdot Rn^2}{\text{chl1}(\omega) + \text{chl2}(\omega)} \quad t1 := 0, \frac{T1}{\text{steps}} .. T1$$

$$ff := f_min, f_min + 0.001 .. f_max \quad fff := f_min, f_min + 0.001 .. f_sp$$

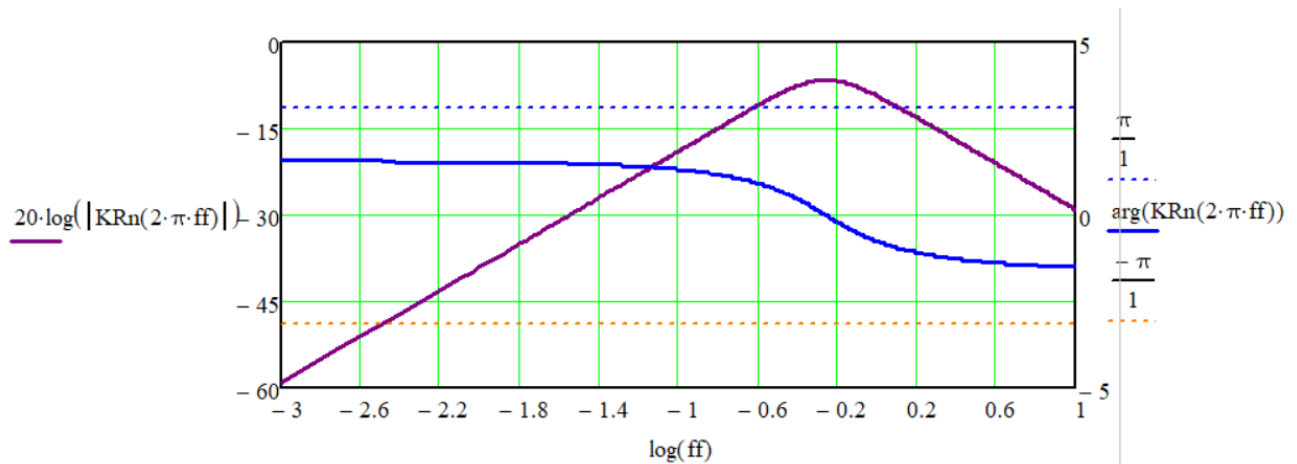


Рис. 3. Амплитудно-частотная и фазочастотная характеристики.

3 Реализация

3.1 Получение системы разностных уравнений из системы дифференциальных уравнений

Преобразуем уравнения нормальной системы неоднородных дифференциальных уравнений (3) к конечно разностному виду (4).

$$\begin{aligned} \frac{i_1(t + \Delta t) - i_1(t)}{\Delta t} &= i_{11}(t) \\ \frac{i_2(t + \Delta t) - i_2(t)}{\Delta t} &= i_{22}(t) \\ \frac{i_3(t + \Delta t) - i_3(t)}{\Delta t} &= i_{33}(t) \\ i_{22}(t) &= \frac{e(t + \Delta t) - e(t)}{\Delta t \cdot R_2} - \frac{i_1(t)}{R_2 \cdot C_1} - \frac{i_2(t)}{R_2 \cdot C_2} \\ \frac{i_{33}(t + \Delta t)}{\Delta t} &= \frac{R_2 i_{22}(t)}{L_3} + \frac{i_2(t)}{C_2 \cdot L_3} - \frac{R_3 \cdot i_{33}(t)}{L_3} - \frac{Rn \cdot i_{33}(t)}{L_3} \\ i_{11}(t) &= i_{22}(t) + i_{33}(t) \end{aligned} \quad (4)$$

Система разностных уравнений, используемая для интегрирования исходных дифференциальных уравнений. Разностные уравнения оформлены средствами пакета MathCad в виде процедуры mysolve.


```

mysolve(dt, step) :=
| ee_0 ← e_ (0·dt)
| x1_0 ←  $\frac{e_ (0·dt)}{R2}$ 
| x2_0 ←  $\frac{e_ (0·dt)}{R2}$ 
| x3_0 ← 0
| x11_0 ← 0
| x22_0 ← 0
| x33_0 ←  $\frac{e_ (0·dt)}{L3}$ 
| ee_1 ← e_ (1·dt)
| x1_1 ← x1_0 + x11_0·dt
| x2_1 ← x2_0 + x22_0·dt
| x3_1 ← x3_0 + x33_0·dt
| x22_1 ←  $\frac{1}{R2} \cdot \left( \frac{ee_1 - ee_0}{dt} \right) - \frac{1}{R2 \cdot C1} \cdot x1_0 - \frac{1}{R2 \cdot C2} \cdot x2_0$ 
| x33_1 ←  $x33_0 + \frac{R2}{L3} \cdot x22_0 \cdot dt + \frac{1}{C2 \cdot L3} \cdot x2_0 \cdot dt - \frac{R3}{L3} \cdot x33_0 \cdot dt - \frac{Rn}{L3} \cdot x33_0 \cdot dt$ 
| x11_1 ← x22_1 + x33_1
| for n ∈ 2.. step
|   | ee_n ← e_ (n·dt)
|   | x1_n ← x1_{n-1} + x11_{n-1}·dt
|   | x2_n ← x2_{n-1} + x22_{n-1}·dt
|   | x3_n ← x3_{n-1} + x33_{n-1}·dt
|   | x22_n ←  $\frac{1}{R2} \cdot \left( \frac{ee_n - ee_{n-1}}{dt} \right) - \frac{1}{R2 \cdot C1} \cdot x1_{n-1} - \frac{1}{R2 \cdot C2} \cdot x2_{n-1}$ 
|   | x33_n ←  $x33_{n-1} + \frac{R2}{L3} \cdot x22_{n-1} \cdot dt + \frac{1}{C2 \cdot L3} \cdot x2_{n-1} \cdot dt - \frac{R3}{L3} \cdot x33_{n-1} \cdot dt - \frac{Rn}{L3} \cdot x33_{n-1} \cdot dt$ 
|   | x11_n ← x22_n + x33_n
| (x1 x2 x3 ee )

```

$dlt := 0.0252$ $T1 = 2.52$ $steps := 100$ $n := 0 .. steps$

$t := 0, \frac{T1}{steps} .. T1$ $d := mysolve(dlt, steps)$

3.2 Построение графиков решений системы разностных уравнений i_1, i_2, i_3 , средствами пакета MathCAD (при заданном числе шагов интегрирования $steps$ и временном интервале Δt)

Графики решений системы разностных уравнений с использованием процедуры mysolve представлены на рис.4.

Графики получены при следующих условиях: шаг Δt (dlt) равен 0,0252 секунды, число шагов (steps) равно 100, время интегрирования равно 2.52 секунды, $e(t)$ - единичное входное воздействие (Рис.4) .

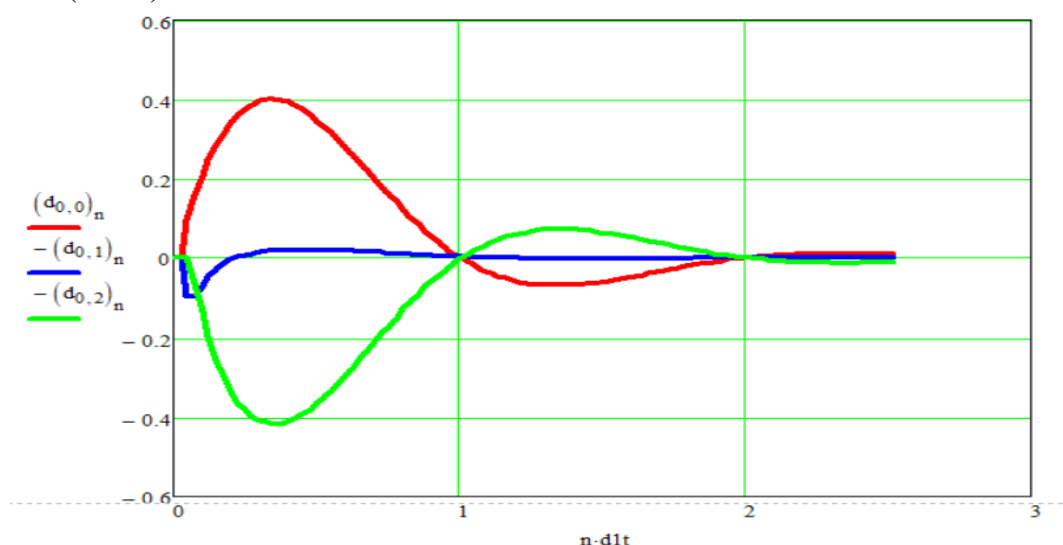


Рис. 4. Результаты интегрирования. Процедура mysolve.

3.3 Сравнение полученных решений

Сравним результаты решений системы процедурами Odesolve и Mysolve путем наложения графиков решений, полученных этими процедурами. Отобразим графики переменной $i3(t)$, на одной временной оси t (Рис.5) .

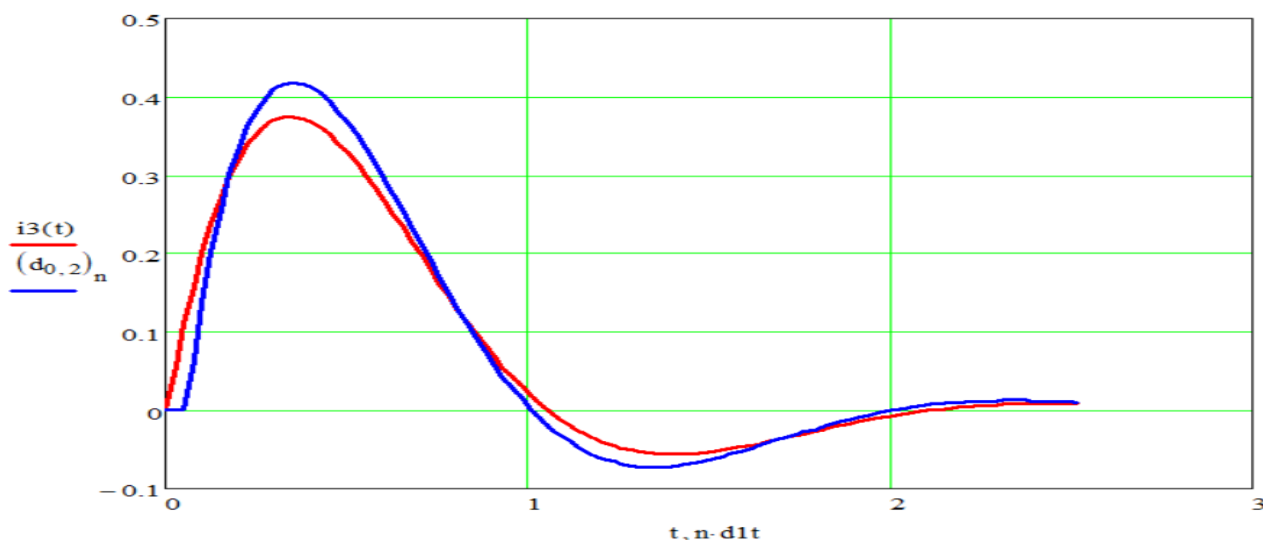


Рис. 5-Сравнение результатов интегрирования Odesolve и Mysolve.

Предполагая, что стандартная процедура Odesolve дает более точное решение, чем процедура Mysolve, с помощью рисунка можно оценить точность интегрирования по схеме Эйлера.

4 Программирование в среде Code Vision AVR

4.1 Разработка и отладка программы (на языке C++), соответствующую полученной системе разностных уравнений средствами компилятора микропроцессорной системы (конфигурирование микропроцессорной системы для работы с прерываниями, имеющими интервал времени Δt).

Программа (для среды Code Vision AVR), соответствующая системе разностных уравнений, написанная на языке C++, представлена ниже. Интервал времени между прерываниями соответствует шагу интегрирования Δt равному 0,0252 секунды.

```
#include <mega8535.h>
#define ADC_VREF_TYPE 0x60
unsigned int ss, dat, YY, Y2;
float Y1, EE_n, EE_n_1, EE_n_2, X1_n, X1_n_1, X1_n_2,
      X2_n, X2_n_1, X2_n_2, X3_n, X3_n_1, X3_n_2,
      X11_n, X11_n_1, X11_n_2,
      X22_n, X22_n_1, X22_n_2, X33_n, X33_n_1, X33_n_2,
      R2=10.5, R3=0.5, Rn=0.9,
      C1=0.2, C2=0.01, L3=0.4, ZZ=0,
      cnt=0, dt=0.0252;
unsigned char adc_input=0;
// задание временных интервалов таймер T0
interrupt [TIM0_OVF] void timer0_ovf_isr(void)
{ TCNT0=235-195; // начальная инициализация таймера
  PORTB.1=!PORTB.1;
  ADMUX=adc_input|ADC_VREF_TYPE;
  ADCSRA|=0x40; // запуск АЦП
}
interrupt [ADC_INT] void adc_isr(void)
{unsigned char adc_data;
  adc_data=ADCH; // получение данных напряжения от АЦП
  Y1=ADCH;
  Y1=Y1*5/255;
// задание начальных условий
// начальные условия в момент времени 0
if (cnt==0){
EE_n_2=Y1;
X1_n_2=Y1/R2;
X2_n_2=Y1/R2;
X3_n_2=0;
X1_n_1=0;
X2_n_1=0;
X3_n_1=Y1/L3;
X1_n=0;
X2_n=0;
X3_n=0;

// начальные условия в момент времени 1
PORTA.1=1;}
```

```

if (cnt==1){
EE_n_1=Y1;
X1_n_1=X1_n_2+X11_n_2*dt;
X2_n_1=X2_n_2+X22_n_2*dt;
X3_n_1=X3_n_2+X33_n_2*dt;
X22_n_1=(1/R2)*((EE_n_1-EE_n_2)/dt)-(1/(R2*C1))*X1_n_2-(1/(R2*C2))*X2_n_2;
X33_n_1=X33_n_2+(R2/L3)*X22_n_2*dt+(1/(C2*L3))*X2_n_2*dt-
(R3/L3)*X33_n_2*dt-(Rn/L3)*X33_n_2*dt;
X11_n_1=X22_n_1+X33_n_1;
PORTA.1=0;}
// решение диф. Уравнения методом Эйлера
if (cnt>1){
EE_n=Y1;
X1_n=X1_n_1+X11_n_1*dt;
X2_n=X2_n_1+X22_n_1*dt;
X3_n=X3_n_1+X33_n_1*dt;
X22_n=(1/R2)*((EE_n-EE_n_1)/dt)-(1/(R2*C1))*X1_n_1-(1/(R2*C2))*X2_n_1;
X33_n=X33_n_1+(R2/L3)*X22_n_1*dt+(1/(C2*L3))*X2_n_1*dt-(R3/L3)*X33_n_1*dt-
(Rn/L3)*X33_n_1*dt;
X11_n=X22_n+X33_n;
// рекурсия
EE_n_2=EE_n_1; EE_n_1=EE_n;

X3_n_2=X3_n_1;
X2_n_2=X2_n_1;
X1_n_2=X1_n_1;
X3_n_1=X3_n;
X2_n_1=X2_n;
X1_n_1=X1_n;

X33_n_2=X33_n_1;
X22_n_2=X22_n_1;
X11_n_2=X11_n_1;
X33_n_1=X33_n;
X22_n_1=X22_n;
X11_n_1=X11_n;
}
// вывод результатов на виртуальный ЦАП VMLAB
PORTC=X3_n*51*6.25+255/2; // ток i3
PORTD=X2_n*51*6.25+255/2; // ток i2
PORTB=X1_n*51*6.25+255/2; // ток i1
// контроль времени интегрирования
cnt=cnt+1;
if(cnt>100){cnt=100;}
}
void main(void)
{

// инициализация микроконтроллера
// конфигурирование порта A на ввод

```

```

PORTA=0x00;
DDRA=0xfe;
// конфигурирование порта В на вывод
PORTB=0x00;
DDRB=0x00;
// конфигурирование порта С на вывод
PORTC=0x00;
DDRC=0xff;
// конфигурирование порта D на вывод
PORTD=0x00;
DDRD=0x00;
// инициализация таймера временных интервалов
TCCR0=0x05; // установка режима таймера
TCNT0=0x00; // установка начальных значений
OCR0=0x00;
// разрешение прерываний о т таймера
TIMSK=0x01; // установка режима таймера T0
// инициализация АЦП
// установка разрядности АЦП
// установка опорного напряжения АЦП
// установка способа запуска АЦП
ADMUX=ADC_VREF_TYPE;
ADCSRA=0x8D;
SFIOR&=0xEF;

// глобальное разрешение прерываний
#asm("sei")
while (1)
    { // холостой цикл };
}

; *****
; PROJECT:
; AUTHOR:
; *****

; Micro + software running
; -----
.MICRO "ATmega8535"
.TOOLCHAIN "GENERIC"
.TARGET "primer1.hex"
.COFF "primer1.cof"
;.SOURCE "source1.c" ; Optional with GENERIC toolchain

.TRACE ; Activate micro trace

; Following lines are optional; if not included
; exactly these values are taken by default

```

```

; -----
; -----
.POWER VDD=5 VSS=0 ; Power nodes
.CLOCK 8meg ; Micro clock
.STORE 2000m ; Trace (micro+signals) storage time
; Micro nodes: RESET, PB0-PB7, PD0-PD7, PE0-PE2, ACO, TIM1OVF
; Define here the hardware around the micro
; -----
; // конфигурирование порта A на ввод
; V1 PA0 VSS SIN(2 1.0 10)
V2 PA0 VSS PULSE(0 1 50m 0 0 999m 1000m)
XD2A D2A8 pc7 pc6 pc5 pc4 pc3 pc2 pc1 pc0 ana_i3
XD2D D2A8 pd7 pd6 pd5 pd4 pd3 pd2 pd1 pd0 ana_i2
XD2B D2A8 pb7 pb6 pb5 pb4 pb3 pb2 pb1 pb0 ana_i1
.PLOT V(ana_i1) V(ana_i2) V(ana_i3) V(PA0)

; Micro nodes: RESET, PB0-PB7, PD0-PD7, PE0-PE2, ACO, TIM1OVF
; Define here the hardware around the micro

```

4.2 Результаты решения системы

Графики решений разностных уравнений, построенные средствами среды Visual Micro Lab, представлены ниже.

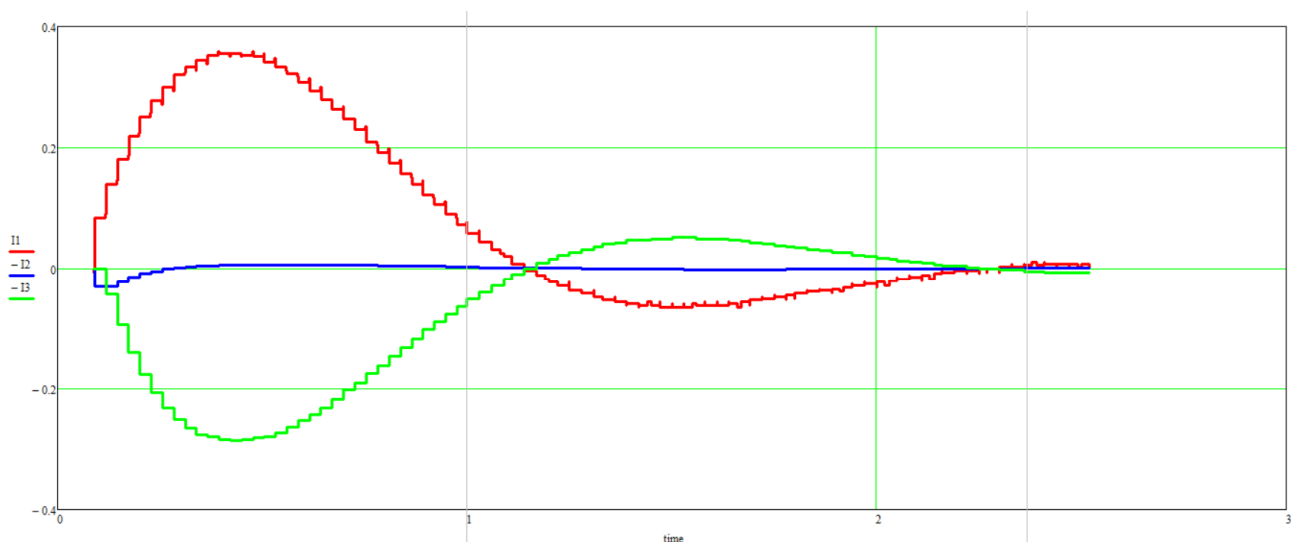


Рис.6 Результаты решения разностных уравнений в среде VMlab

4.3 Сравнение полученных результатов решений

Сравним результаты решений системы процедурами Odesolve, Mysolve и VMlab путем наложения графиков решений, полученных этими процедурами (Рис.7)

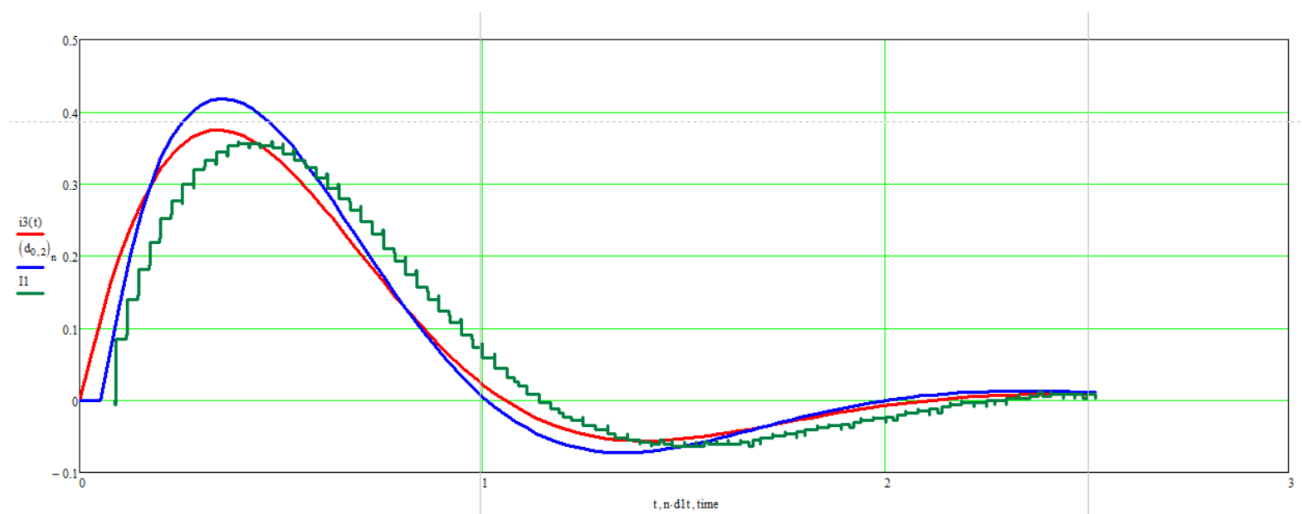


Рис.7 Сравнение решений уравнений с помощью функций Odesolve, mysolve и VMlab.

5 Вывод

Первая часть работы является проверкой возможности нахождения устойчивого решения и разработке программы работы системы в виде разностных уравнений. Вторая часть является разработкой программы для микроконтроллера и проверкой правильности функционирования фильтра на основе сравнения графиков токов для разных приложений.

Решения, полученные в ODEsolve являются самыми точными среди остальных решений, в них использованы численные методы интегрирования Рунге-Кутты 4-6 порядков. В функции MYsolve реализован метод Эйлера (метод прямоугольников) являющимся менее точным.

Это приводит к ошибкам определения функций токов.

Графики являются похожими и совпадают, но существует некоторая погрешность вычислений для микроконтроллера, она определяется ограничениями в быстродействии микроконтроллера и применимым методом интегрирования. Максимальная ошибка расхождения составляет 0.02A.

Реализованный цифровой фильтр как система может быть использован в качестве прототипа.

6 Список литературы

1. Коротичкий Е. В., Коротичкая Ю. Е. Цифровая обработка сигналов средствами микроконтроллеров семейства AVR: учеб. Пособие СПбГМТУ. –СПБ.,2009. -286 с.