

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И
РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ» (ТУСУР)
Кафедра моделирования и системного анализа (МиСА)

Дмитриев Вячеслав Михайлович
Григорьева Татьяна Евгеньевна

Моделирование систем

Методические указания по лабораторным работам

Томск 2015

Дмитриев В.М., Григорьева Т.Е.. Моделирование систем / Методические указания по лабораторным работам – Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники. Кафедра моделирования и системного анализа, 2015 г. – 31 с.

© Дмитриев В.М., Григорьева Т.Е. 2015.

© Кафедра моделирования и системного анализа, 2015.

Содержание

Введение.....	4
Лабораторная работа №1 «Знакомство со средой моделирования MAPS» ...	5
Лабораторная работа №2 «Моделирование резистивной электрической цепи постоянного тока»	8
Лабораторная работа №3 «Решение дифференциального уравнения явным методом Эйлера»	10
Лабораторная работа №4 «Формирование и решение системы уравнений методом узловых потенциалов»	14
Лабораторная работа №5 «Исследование временных диаграмм»	16
Лабораторная работа №6 «Упруго-инерционная подвеска»	20
Лабораторная работа №7 «Электромагнитный привод»	22
Лабораторная работа №8 «Графики частотных характеристик»	25
Лабораторная работа №9 «Моделирование дискретно – событийных систем»	30
Заключение	36
Список литературы	37

Введение

В результате изучения дисциплины «Моделирование систем» студенты должны получить такую совокупность знаний и умений в области современных методов и средств моделирования систем, которые необходимы им для успешного решения задач разработки, исследования и эксплуатации систем автоматизированного управления техническими объектами, технологическими линиями и социально-экономическими системами.

В результате изучения дисциплины студент должен:

Знать: принципы математического и имитационного моделирования автоматизированных систем управления.

Уметь: ставить задачу моделирования, выбирать структуру, а также алгоритмическую и программную реализацию имитационной модели сложного динамического объекта управления; получать математические модели динамики объектов с элементами различной физической природы и оценивать их адекватность; использовать системы автоматизированного моделирования и исследования технических систем на ЭВМ.

Владеть: методами получения и исследования математических моделей объектов различной физической природы.

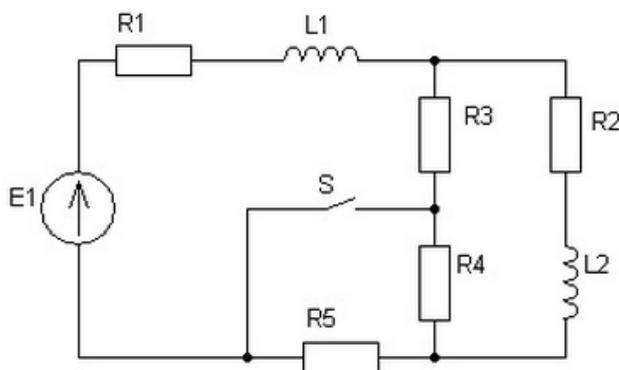
Лабораторная работа №1 «Знакомство со средой моделирования МАРС»

Задание:

1. Сформировать схему в среде моделирования МАРС, установить цифровые измерительные приборы для измерения независимых начальных условий (токов в индуктивностях и напряжений на емкостях);
2. Вычислить независимые начальные условия в момент времени до коммутации;
3. Вычислить токи в индуктивностях и напряжения на емкостях после коммутации (при $t = \infty$);
4. Построить график переходного процесса для независимых начальных условий, используя измерительные компоненты.

Сделать отчет в электронном виде, куда занести все результаты скриншотами.

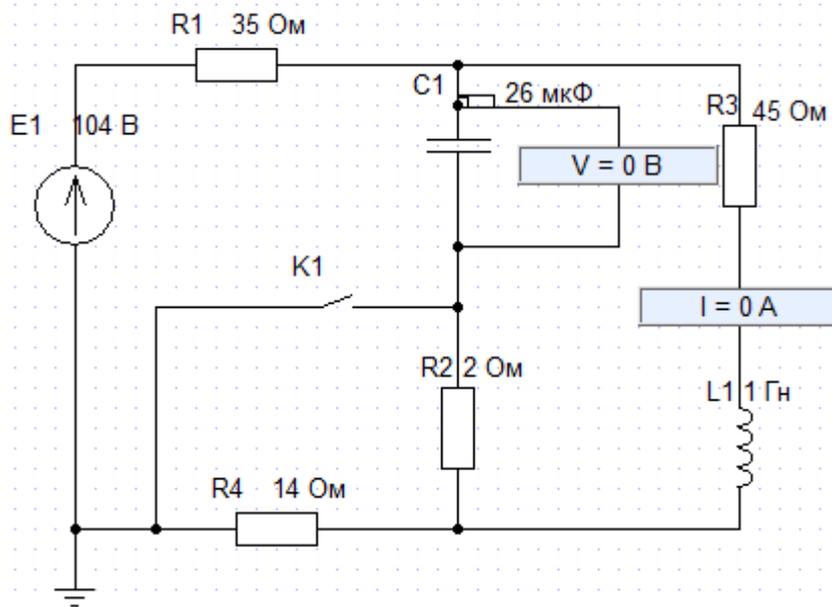
Исходные данные для параметризации цепи:



$$\begin{aligned}R1 &= 35 \text{ Ом} \\R2 &= 2 \text{ Ом} \\R3 &= 45 \text{ Ом} \\R4 &= 14 \text{ Ом} \\C2 &= 26 \text{ мкФ} \\L3 &= 1 \text{ Гн} \\E1 &= 104 \text{ В}\end{aligned}$$

Решение:

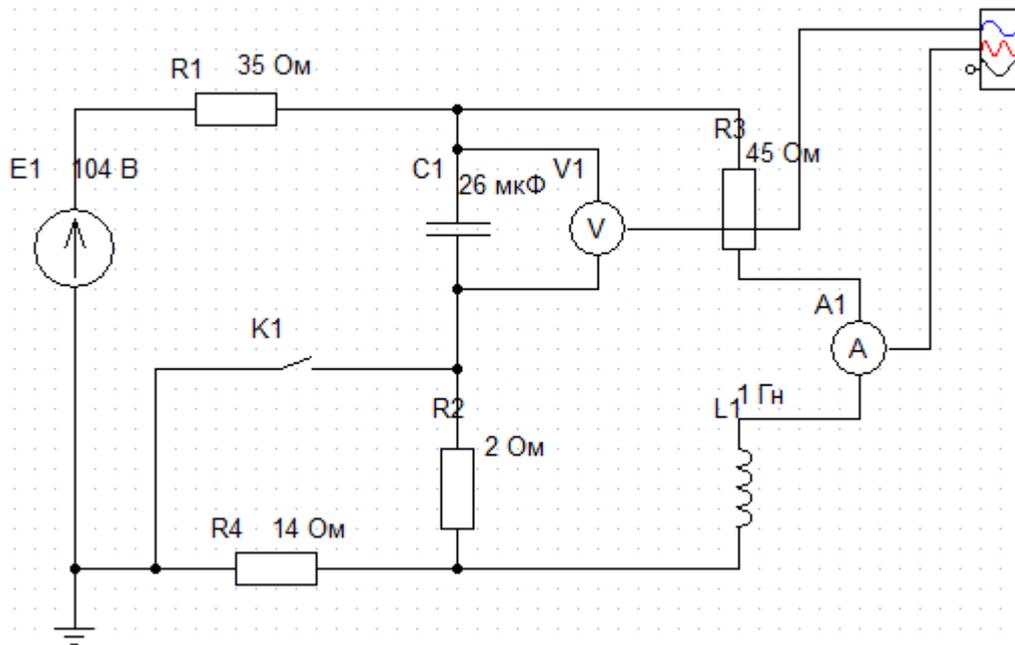
1. Составим схему в СМ МАРС, установив в ней цифровые измерительные приборы: амперметр последовательно индуктивности, вольтметр параллельно емкости. Для выполнения заданий 2 и 3, во вкладке анализ→параметры моделирования выберем линейную статику.



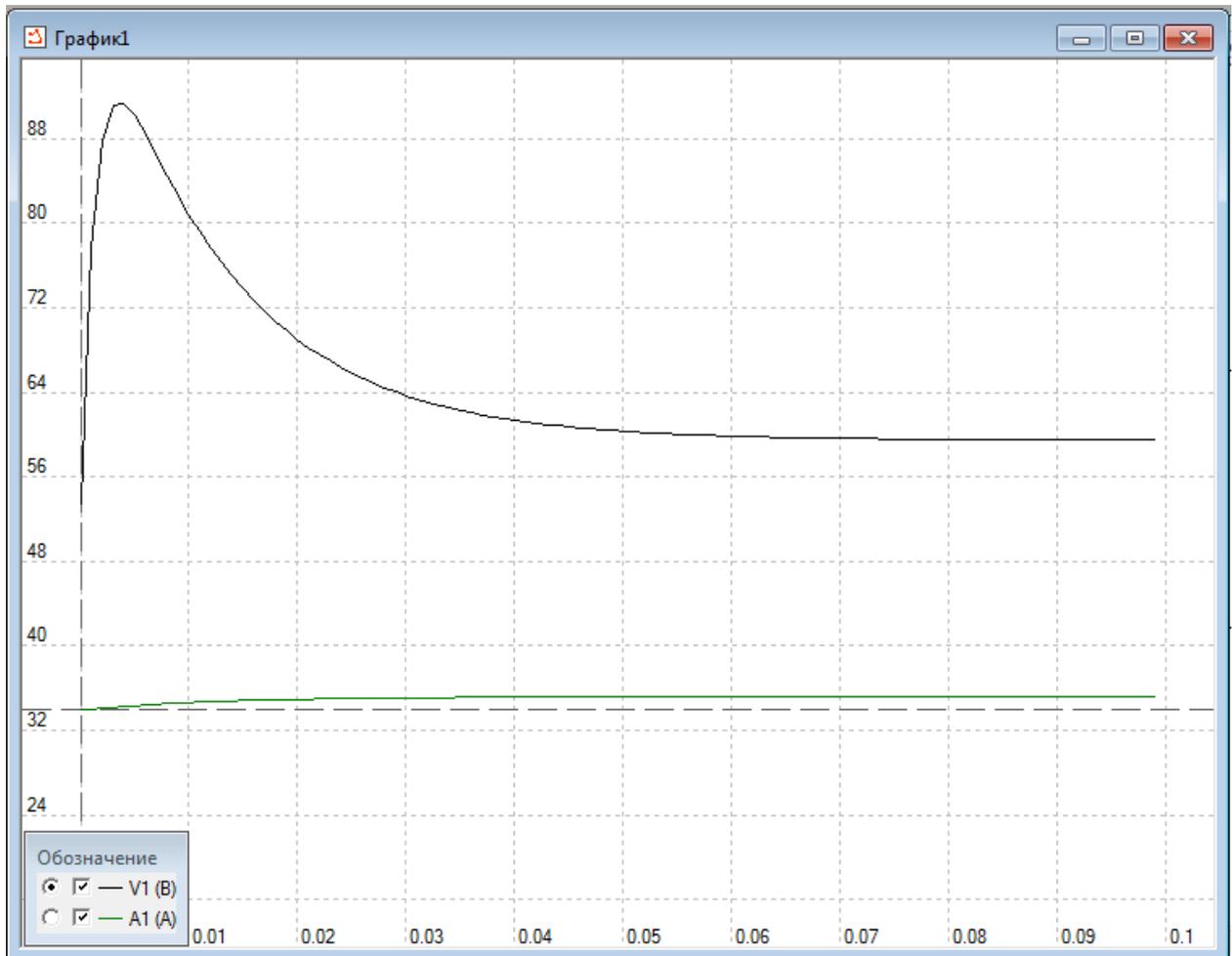
2. Вычислим независимые начальные условия в момент времени до коммутации, т.е. ключ разомкнут, тогда получаем $V = 49,787\text{В}$; $I = 1,106\text{А}$.

3. Вычислим токи в индуктивностях и напряжения на емкостях после коммутации (при $t = \infty$), т.е. ключ замкнут, тогда получаем $V = 59,474\text{В}$; $I = 1,272\text{А}$.

4. Построим график переходного процесса для независимых начальных условий, используя измерительные компоненты, такие как амперметр и вольтметр.



Для построения графиков переходного процесса необходимо в параметрах моделирования выбрать динамику → неявный метод Эйлера, таким образом, получаем график:



Контрольные вопросы:

1. Как правильно установить амперметр и вольтметр в цепь?
2. Как вычислить независимые начальные условия в момент времени до коммутации?
3. Как вычислить токи в индуктивностях и напряжения на емкостях после коммутации?

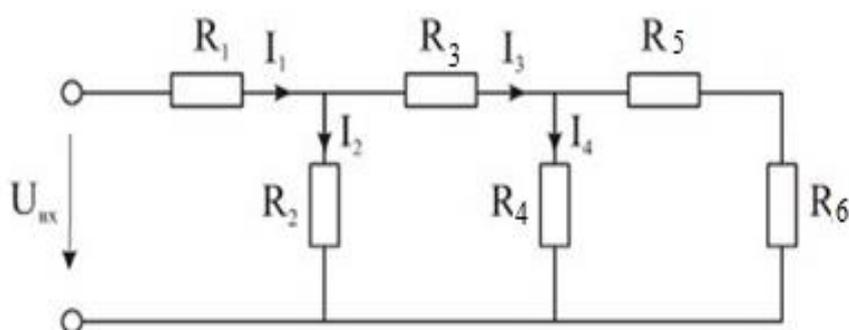
Лабораторная работа №2 «Моделирование резистивной электрической цепи постоянного тока»

Задание:

1. Составить систему линейных алгебраических уравнений по методу компонентных цепей и рассчитать ее в системе «Макрокалькулятор» по методу Гаусса для резистивного делителя, показанного на рисунке.

2. Собрать цепь резистивного делителя с помощью графического редактора среды моделирования MАРС и определить токи и напряжения схемы. Для этого в цепь установите три амперметра и два вольтметра. Сравнить с результатами расчета.

Исходные данные к работе:



$$E = 20 \text{ В}$$

$$R1 = R3 = 2 \text{ кОм}$$

$$R2 = R4 = 4 \text{ кОм}$$

$$R5 = 1 \text{ кОм}$$

$$R6 = 3 \text{ кОм}$$

Решение:

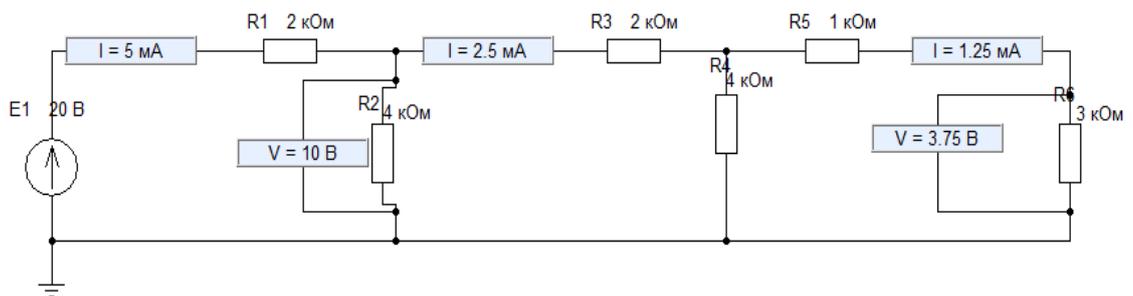
1. Составим систему линейных алгебраических уравнений по методу компонентных цепей и рассчитаем ее в системе «Макрокалькулятор», таким образом, получаем:

$E := 20$
 $R1 := 2000$
 $R2 := 4000$
 $R3 := 2000$
 $R4 := 4000$
 $R5 := 1000$
 $R6 := 3000$

$$\begin{cases}
 U1 - U2 - I1 \cdot R1 = 0 \\
 U2 - U0 - I2 \cdot R2 = 0 \\
 U2 - U3 - I3 \cdot R3 = 0 \\
 U3 - U0 - I4 \cdot R4 = 0 \\
 U3 - U4 - I5 \cdot R5 = 0 \\
 U4 - U0 - I6 \cdot R6 = 0 \\
 U1 - U0 = E \\
 U0 = 0 \\
 I1 + I7 = 0 \\
 I1 - I2 - I3 = 0 \\
 I3 - I4 - I5 = 0 \\
 I5 - I6 = 0
 \end{cases}$$

$U1 = 20$	$I1 = 0.005$
$U2 = 10$	$I2 = 0.003$
$U3 = 5$	$I3 = 0.003$
$U4 = 3.75$	$I4 = 0.001$
	$I5 = 0.001$
	$I6 = 0.001$
	$I7 = -0.005$

2. Соберем цепь в среде моделирования МАРС, определим токи и напряжения схемы. Для этого в цепь установим три амперметра и два вольтметра, в параметрах моделирования выберем линейную статику. Сравним с результатами расчета.



Таким образом, получаем, что $I_1 = 0,005$ А; $I_3 = 0,0025$ А; $I_5 = 0,00125$ А; $V_2 = 10$ В; $V_4 = 3,75$ В. Сравнив результаты расчета с экспериментом, мы видим, что значения вольтметра и амперметра совпадают, имея небольшую погрешность.

Контрольные вопросы:

1. В чем заключается метод компонентных цепей?
2. Как установить в цепь амперметры и вольтметры?
3. Что называют узлом цепи?

Лабораторная работа №3 «Решение дифференциального уравнения явным методом Эйлера»

Задание:

1. Составить и рассчитать характеристические уравнения в Макрокалькуляторе.
2. Собрать в СМ MAPC последовательную RLC-цепь, параметризовать в соответствии с вариантом.
3. Подобрать значения емкости для получения аperiodического и колебательного процесса.
4. Расположить ключи так, чтобы математическая модель цепи представляла собой дифференциальные уравнения 1го и 2го порядка.

Исходные данные к работе:

$$E = 10 \text{ В}$$

$$R = 100 \text{ Ом}$$

$$L = 15 \text{ мГн}$$

Решение:

1. Составим и рассчитаем характеристическое уравнение в Макрокалькуляторе, получаем:

$$R := 100$$

$$L := 0.015$$

$$L \cdot p^2 + R \cdot p + C := 0$$

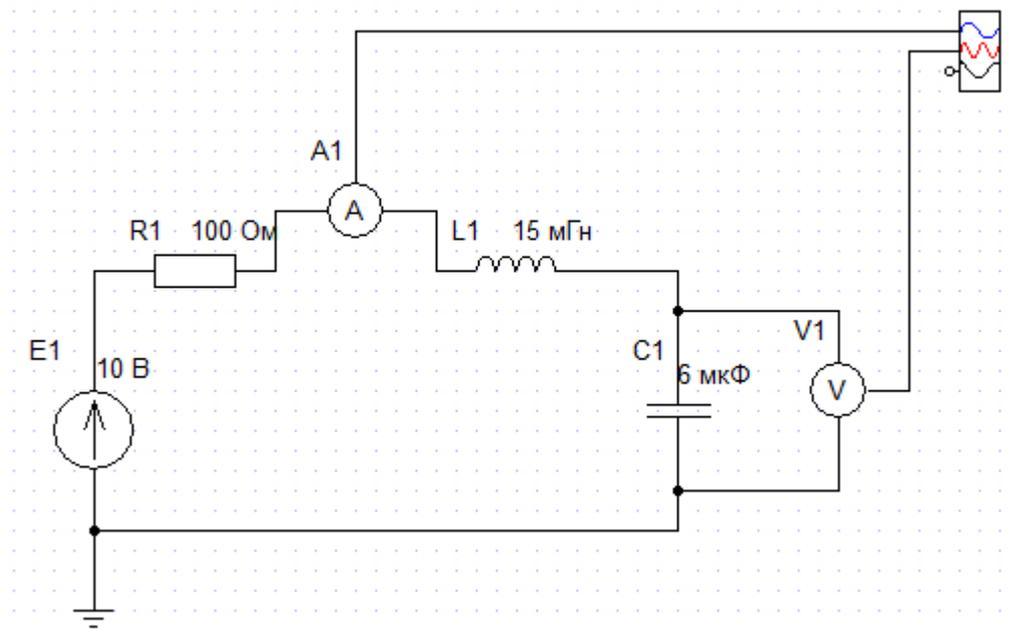
$$D := R^2 - \frac{4 \cdot L}{C}$$

$$C := \frac{4 \cdot L}{R^2}$$

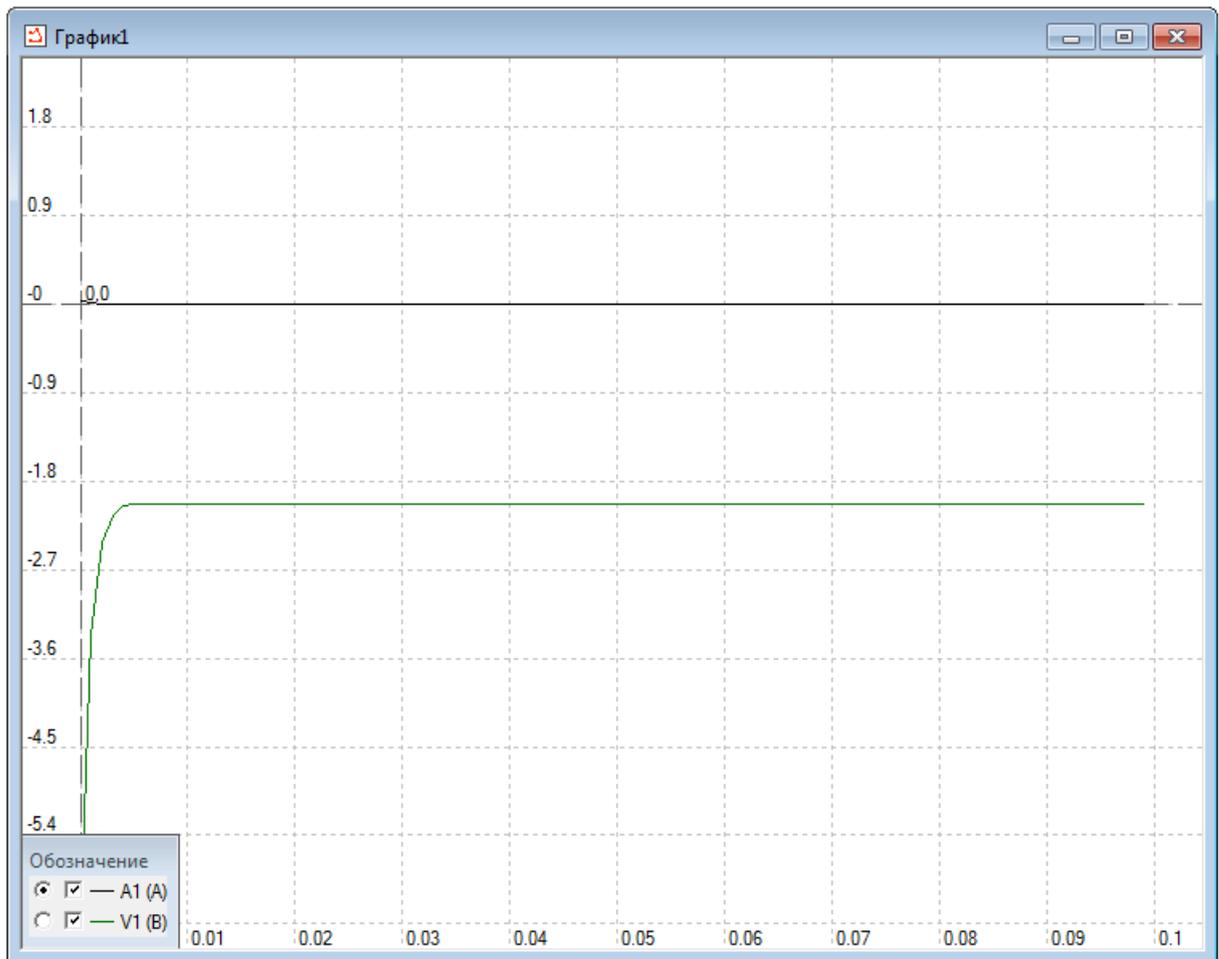
$$C = 6 \cdot 10^{-6}$$

$C=6 \cdot 10^{-6}$ – критическая точка, при которой $D=0$

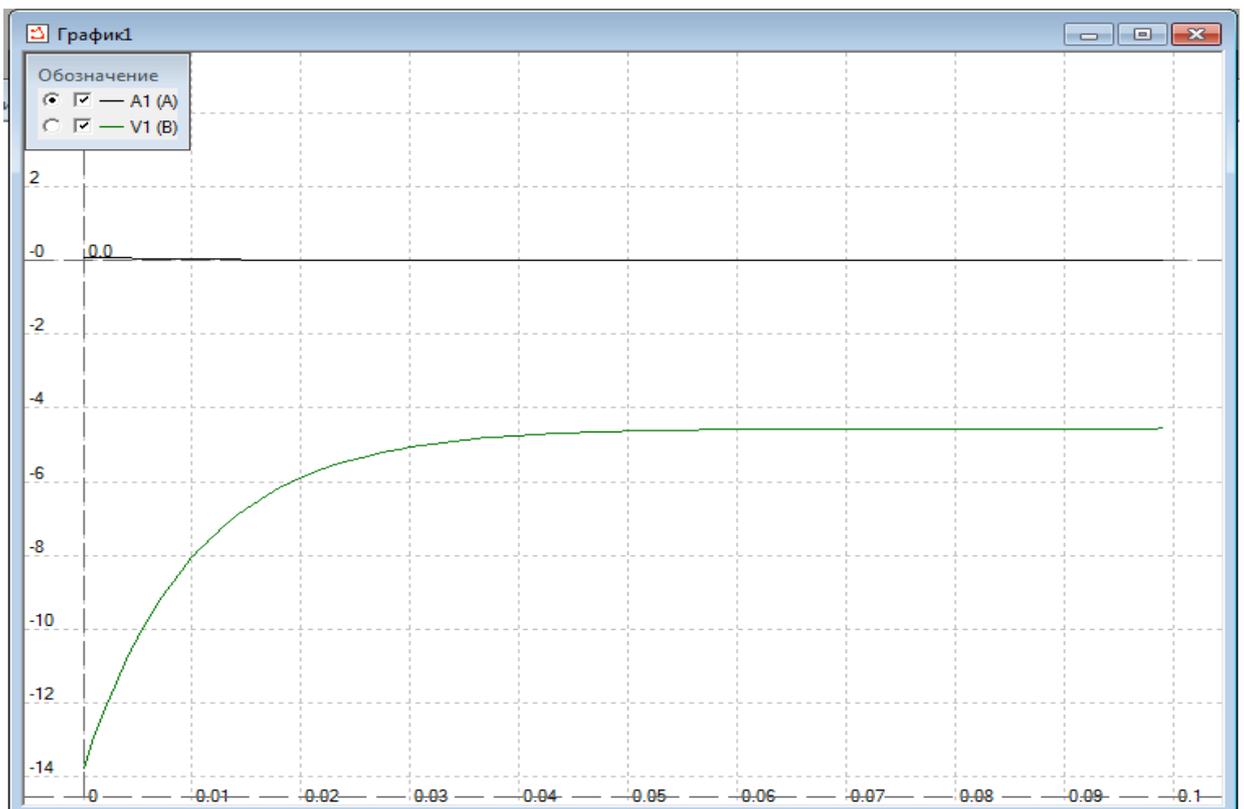
2. Соберем в СМ МАРС последовательную RLC-цепь, параметризуем ее в соответствии с вариантом. Для того чтобы подобрать значения емкости для получения апериодического и колебательного процесса, нам необходимо построить график, для этого в схему необходимо добавить вольтметр и амперметр, а также в параметрах моделирования выбрать динамику → неявный метод Эйлера, таким образом получаем:



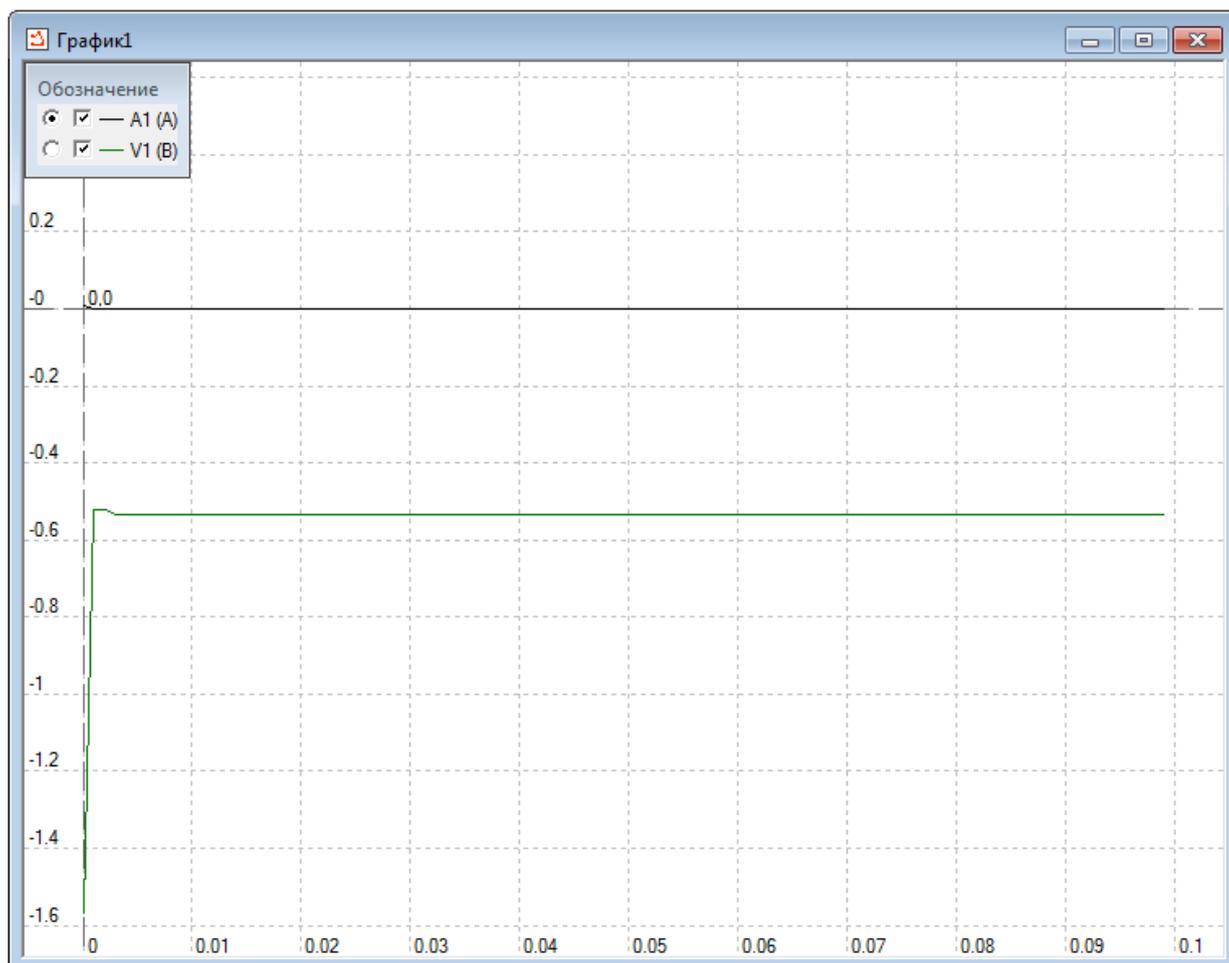
При этом график выглядит таким образом:



3. Изменяя значения емкости получаем, что при $C=100$ мкФ процесс будет аperiodический:



При $C=1\ 000\ \text{нФ}$ процесс будет колебательный:



4. Если ключ на L или на C замкнут, то математическая модель цепи представляет собой дифференциальные уравнения 1-го порядка, если оба ключа разомкнуты, то 2-го порядка.

Контрольные вопросы:

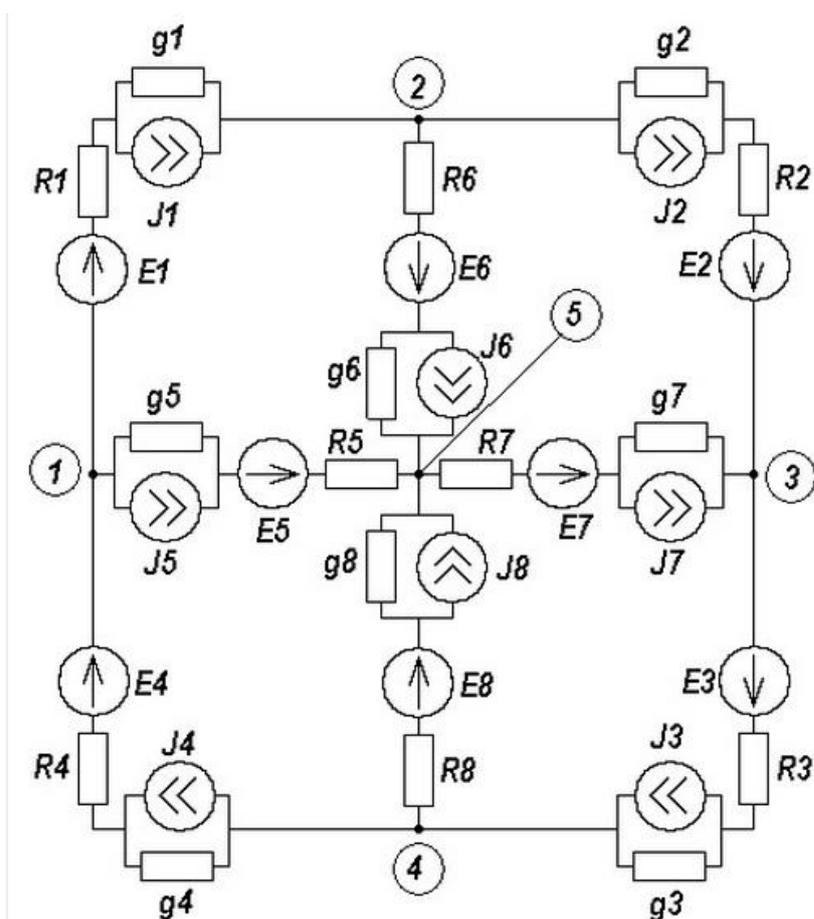
1. Как выглядит апериодический процесс?
2. Как выглядит колебательный процесс?
3. Как расположить ключи, чтобы математическая модель цепи представляла собой дифференциальные уравнения 1го и 2го порядка?

Лабораторная работа №4 «Формирование и решение системы уравнений методом узловых потенциалов»

Задание:

1. Составить систему уравнений по методу узловых потенциалов согласно выбранному варианту и произвести расчет сформированной системы уравнений в системе «Макрокалькулятор»
2. Смоделировать полученную цепь в СИ МАРС;
3. Сравнить результаты расчета и эксперимента.

Исходные данные к работе:



E1, В	E2, В	E3, В	E4, В	E5, В	E6, В	E7, В	E8, В	Источники тока, А
0	100	-100	0	70	0	0	70	J6 = -2
R1, Ом	R2, Ом	R3, Ом	R4, Ом	R5, Ом	R6, Ом	R7, Ом	R8, Ом	Проводимости, Ом

30	20	0	30	0	0	20	25	$g_6 = 0$
----	----	---	----	---	---	----	----	-----------

Решение:

1. Составим систему уравнений по методу узловых потенциалов и произведем расчет сформированной системы уравнений в системе «Макрокалькулятор», таким образом, получаем:

$$E_2 := 100$$

$$E_3 := (-100)$$

$$E_5 := 70$$

$$E_8 := 70$$

$$R_1 := 30$$

$$R_2 := 20$$

$$R_4 := 30$$

$$R_7 := 20$$

$$R_8 := 25$$

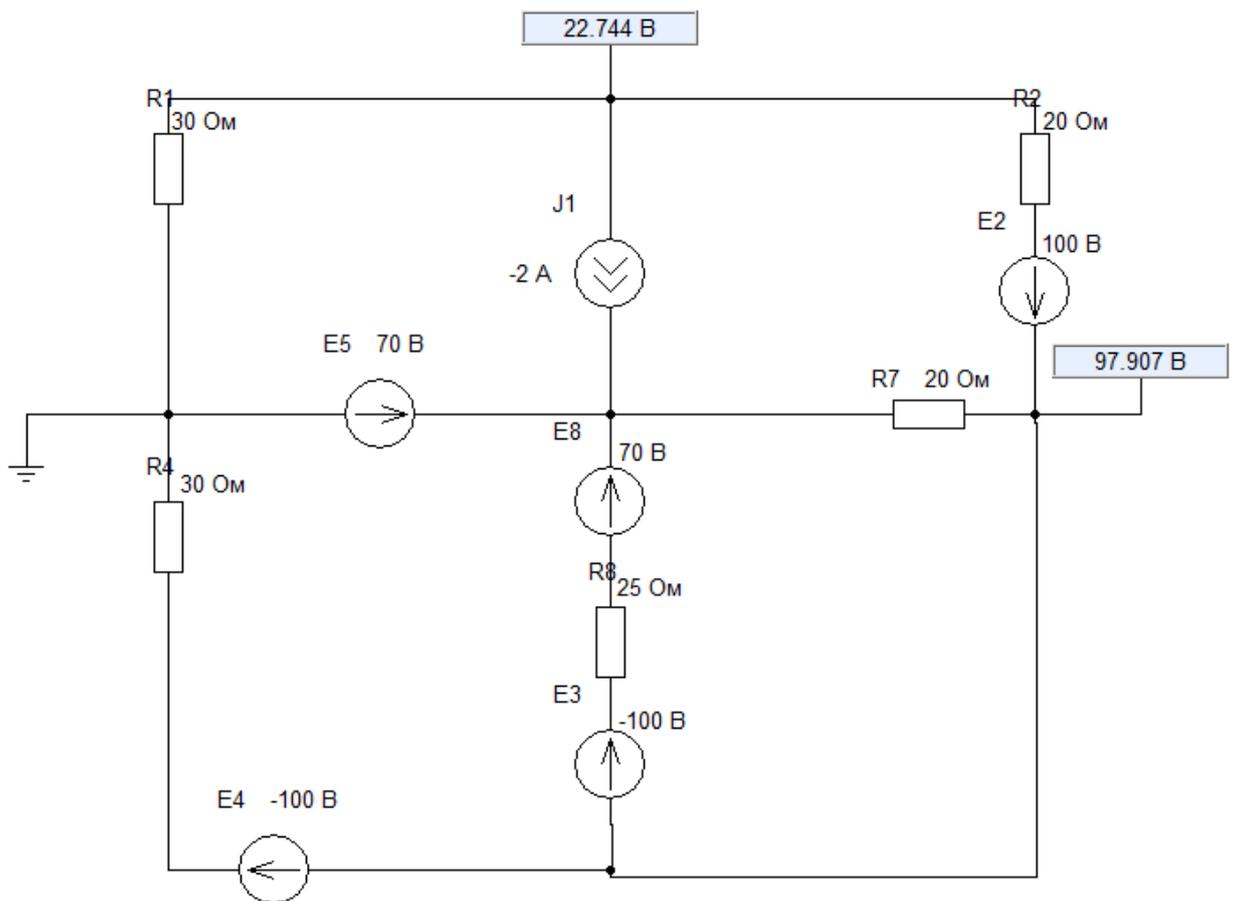
$$J_6 := (-2)$$

$$\begin{cases} \phi_2 \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) - \phi_3 \cdot \left(\frac{1}{R_2} \right) + J_6 + E_2 \cdot \frac{1}{R_2} = 0 \\ \phi_3 \cdot \left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_7} + \frac{1}{R_8} + \frac{1}{R_4} \right) - \phi_2 \cdot \left(\frac{1}{R_2} \right) - E_5 \cdot \left(\frac{1}{R_7} + \frac{1}{R_8} \right) - E_2 \cdot \frac{1}{R_2} + (E_8 + E_3) \cdot \frac{1}{R_8} + E_3 \cdot \frac{1}{R_4} = 0 \end{cases}$$

$$\phi_2 = 22.744$$

$$\phi_3 = 97.907$$

2. Смоделируем полученную цепь в СМ МАРС. Для вычисления ϕ_2 и ϕ_3 необходимо к узлам 2 и 3 подключить потенциометры с цифровым табло, и в параметрах моделирования выбрать линейную статику, тогда получаем:



Таким образом, мы видим, что результаты расчета и эксперимента совпадают.

Контрольные вопросы:

1. В чем заключается метод узловых потенциалов?
2. В чем заключается метод переноса источника?
3. По какой формуле находится проводимость?

Лабораторная работа №5 «Исследование временных диаграмм»

Задание:

- 1.Собрать в среде моделирования MАРС последовательную RLC-цепь;
- 2.Параметризовать ее согласно варианту;
- 3.Установить амперметр для измерения тока цепи, а также вольтметры для вывода на график временных зависимостей входного

напряжения и напряжений на сопротивлении, индуктивности и емкости.

Построить временные характеристики для заданной частоты;

4. По временным характеристикам определить амплитуды и фазовые сдвиги всех сигналов;

5. Построить топографическую диаграмму напряжений для данного варианта;

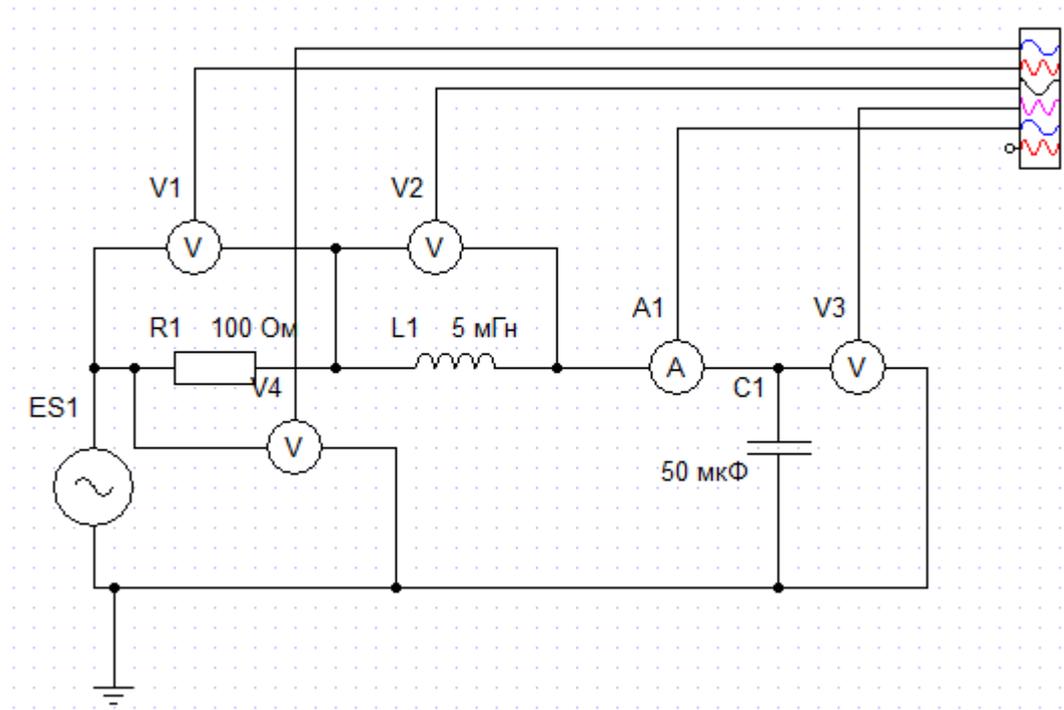
6. Заполнить таблицу:

$U_{вх}$	U_R	U_L	U_C	I	$j_{вх}$	j_R	j_L	j_C

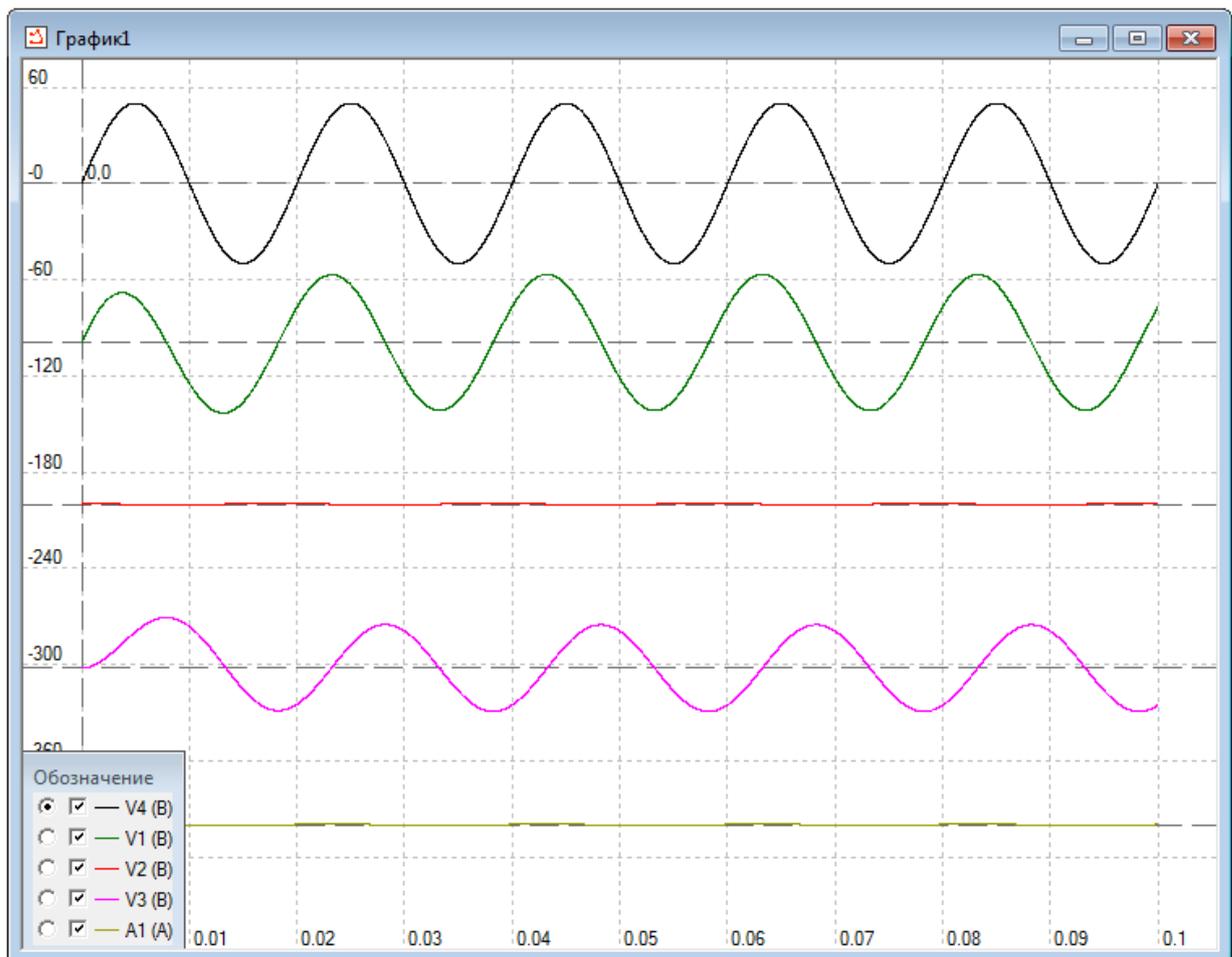
Исходные данные к работе:

ES1	f, Гц	R, Ом	L, мГн	C, мкФ
50	50·2·3,14	100	5	50

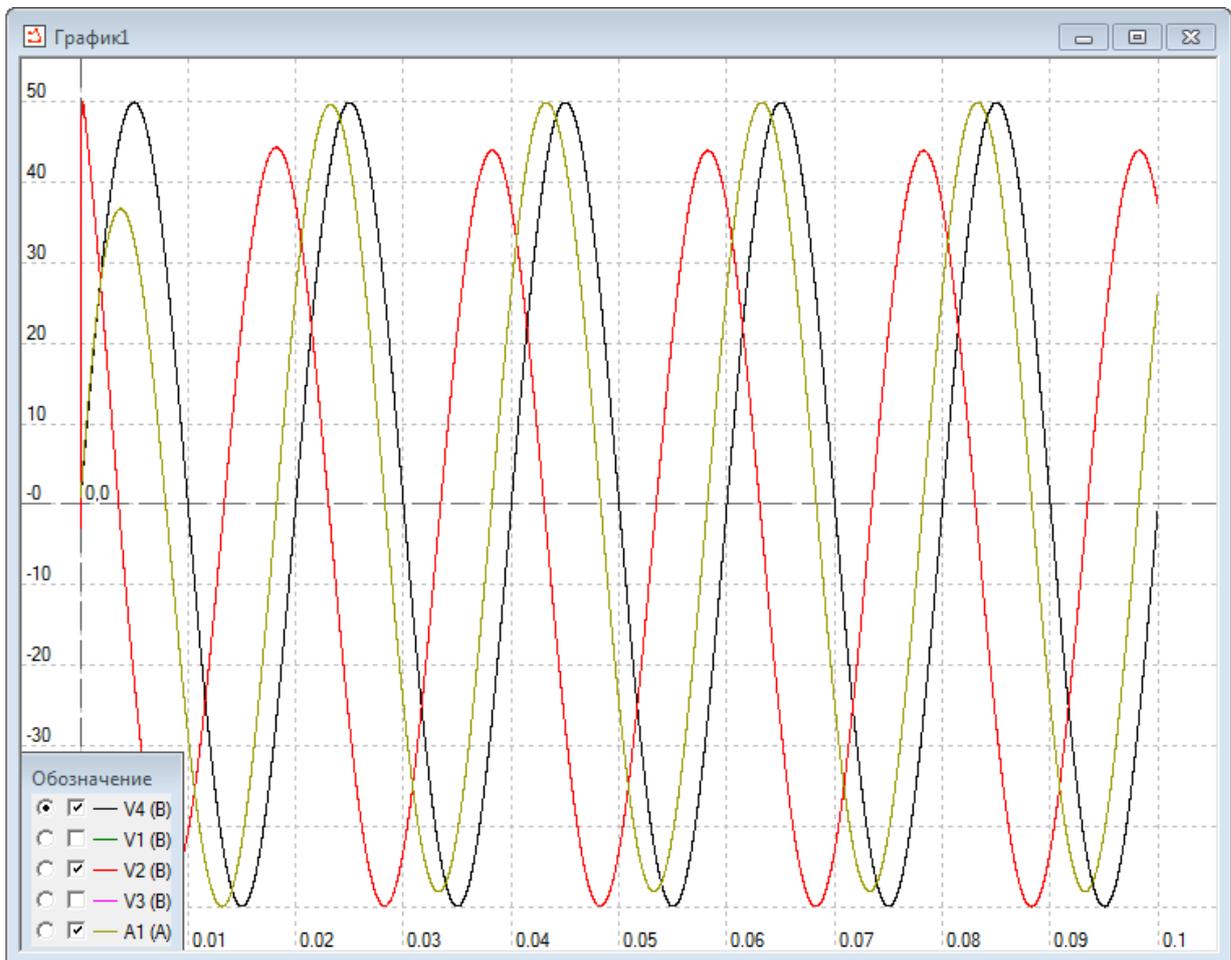
Решение: Соберем в СМ МАРС последовательную RLC-цепь, параметризовав ее согласно варианту. Для измерения тока и напряжения, и для вывода на график временных зависимостей в цепь необходимо подключить 1 амперметр и 4 вольтметра. В параметрах моделирования необходимо выбрать динамику → неявный метод Эйлера.



Запустив графік получим:



Для того чтобы удобнее было заполнять таблицу выберем общий масштаб, где можно будет смотреть каждую параболу в отдельности, убирая галочки с тех которые не нужны тогда получаем:



Значения U_{ex} , U_R , U_L , U_C , I определяют в вершине параболы по u . Значение j_{ex} будет равно 0. Значения j_R , j_L , j_C необходимо найти по формуле:

$$j = \frac{360 \cdot \Delta t}{T}$$

где Δt –разница между минимальным и максимальным значением функции;

T –период, который находится по формуле: $T=1/f$

Относительно нашей задачи получаем: $T=1/50=20$ мс

Для вычисления Δt необходимо на графике оставить опорную параболу, в данном случае V_4 и ту, которую будем вычислять, например V_1 . Для того чтобы значение Δt отразилось в обозначениях, на графике необходимо зажать $ctrl$ +левая кнопка мыши – в вершине опорной параболы и $ctrl$ +правая кнопка мыши – в вершине измеряемой параболы, тогда в

обозначениях появится значение Δt , необходимо смотреть по x . Таким образом, вычисляем j_R, j_L, j_C получаем:

$U_{ВХ}$	U_R	U_L	U_C	I	$j_{ВХ}$	j_R	j_L	j_C
50	42,436	0,666	27	0,422	0	-327,24	-239,4	55,8

Контрольные вопросы:

1. Как установить в цепь амперметры и вольтметры?
2. Как определить фазовые сдвиги всех сигналов?
3. По какой формуле находится период?

Лабораторная работа №6 «Упруго-инерционная подвеска»

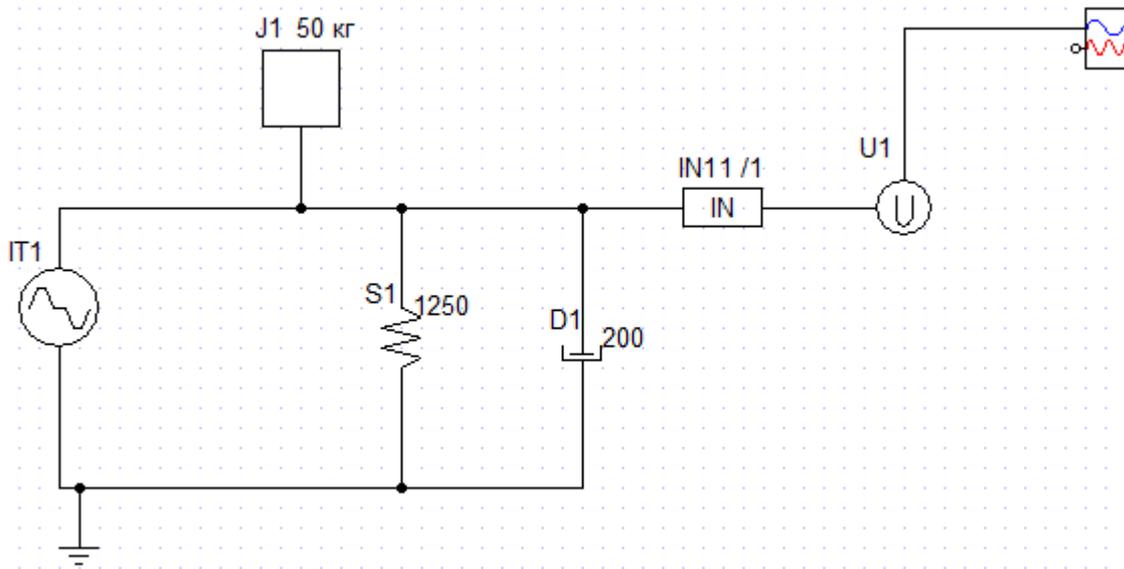
Задание:

1. Собрать в СМ МАРС компонентную цепь упруго-инерционной подвески.

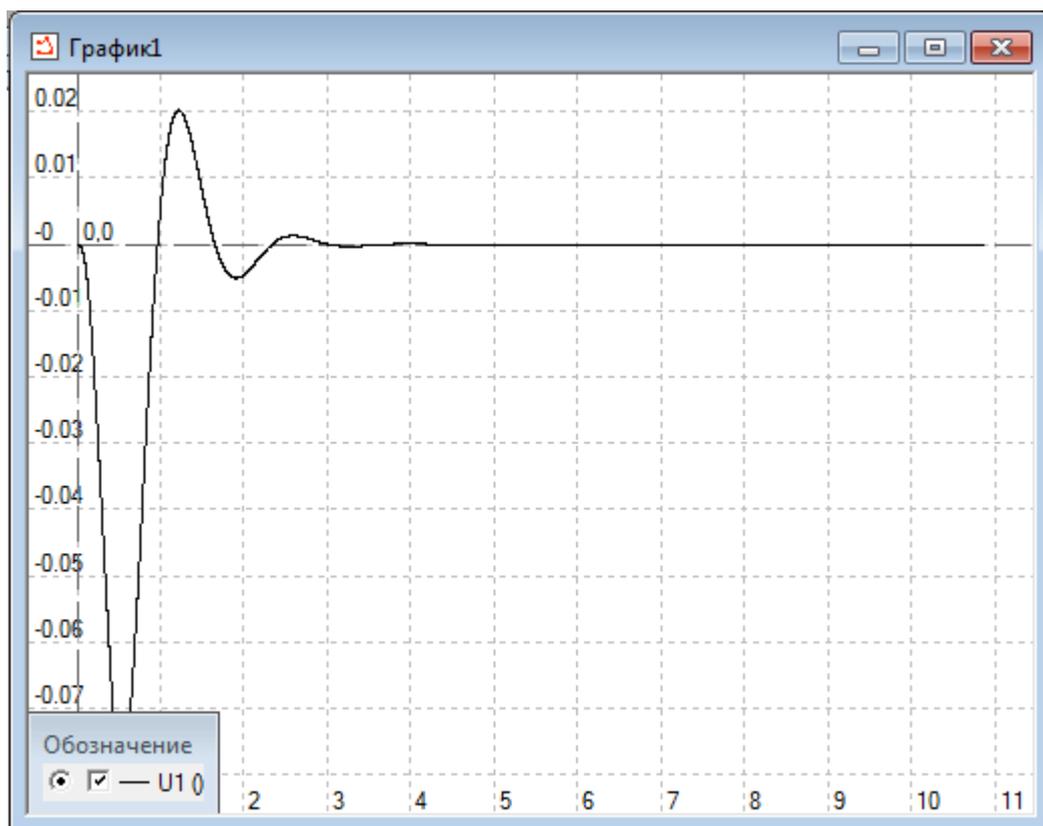
2. Изменить параметры и объяснить, как меняется график.

Цепь имеет следующие параметры компонентов:

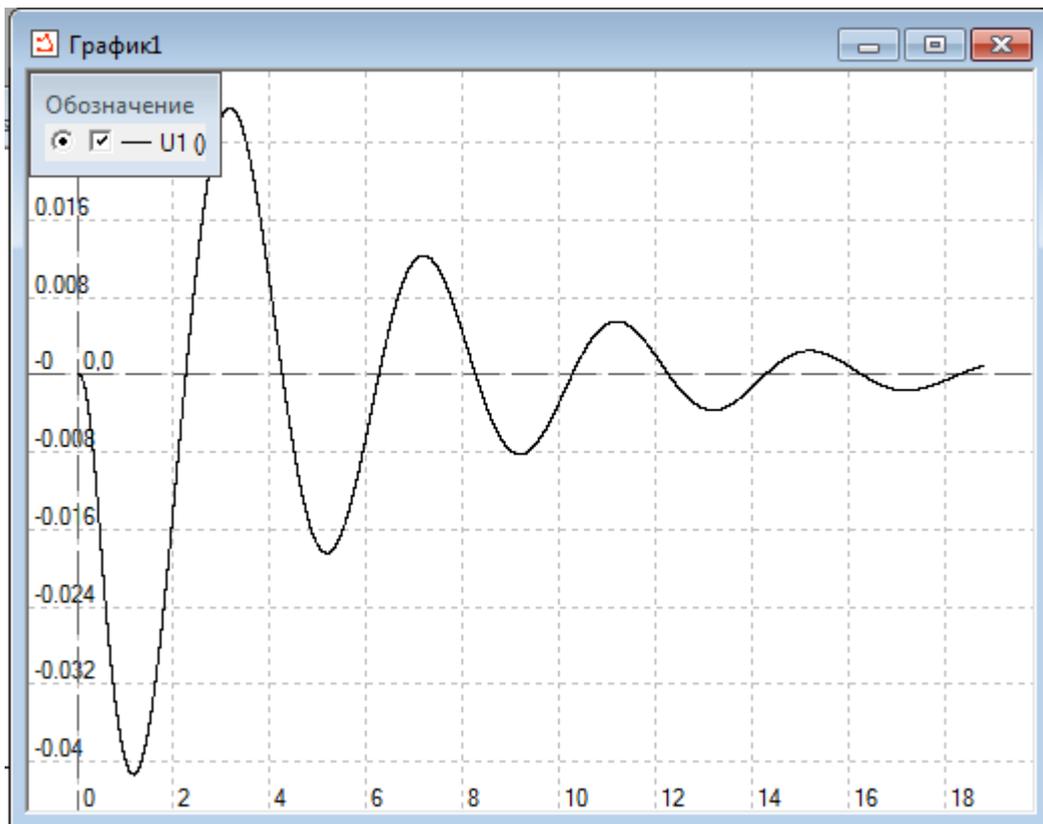
Масса (m)	Упругость (K)	Трение (R)	Источник усилия	Интегратор
Ком-т (J)	Ком-т (S)	Ком-т (D)	Ком-т (IT)	Ком-т (IN)
50 кг	1250 Н/м	200 нс/м	100 Н	T=1



Решение: Собрав в СИМАРС компонентную цепь, показанную на рисунке, необходимо построить график, выбрав в параметрах моделирования динамику → неявный метод Эйлера, тогда получаем:



Изменяя значения компонентов, можно сделать вывод, что с увеличением параметров компонентов колебания становятся, более инерционными.



Контрольные вопросы:

1. Какие бывают виды переходных процессов?
2. Как изменятся колебания с увеличением параметров?
3. При каких значениях переходный процесс будет апериодическим?

Лабораторная работа №7 «Электромагнитный привод»

Задание:

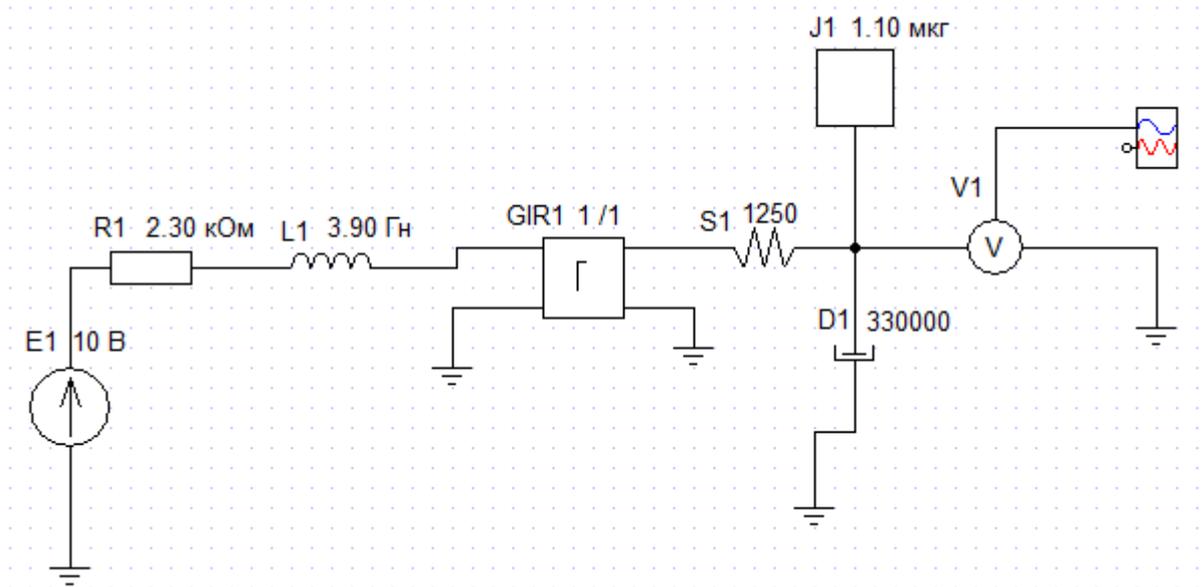
1. Собрать в СМ МАРС компонентную цепь электромагнитного привода
2. Получить график работы электромагнитного привода, изменяя значения трения и массы посмотреть, как изменится график.

Цепь имеет следующие параметры компонентов:

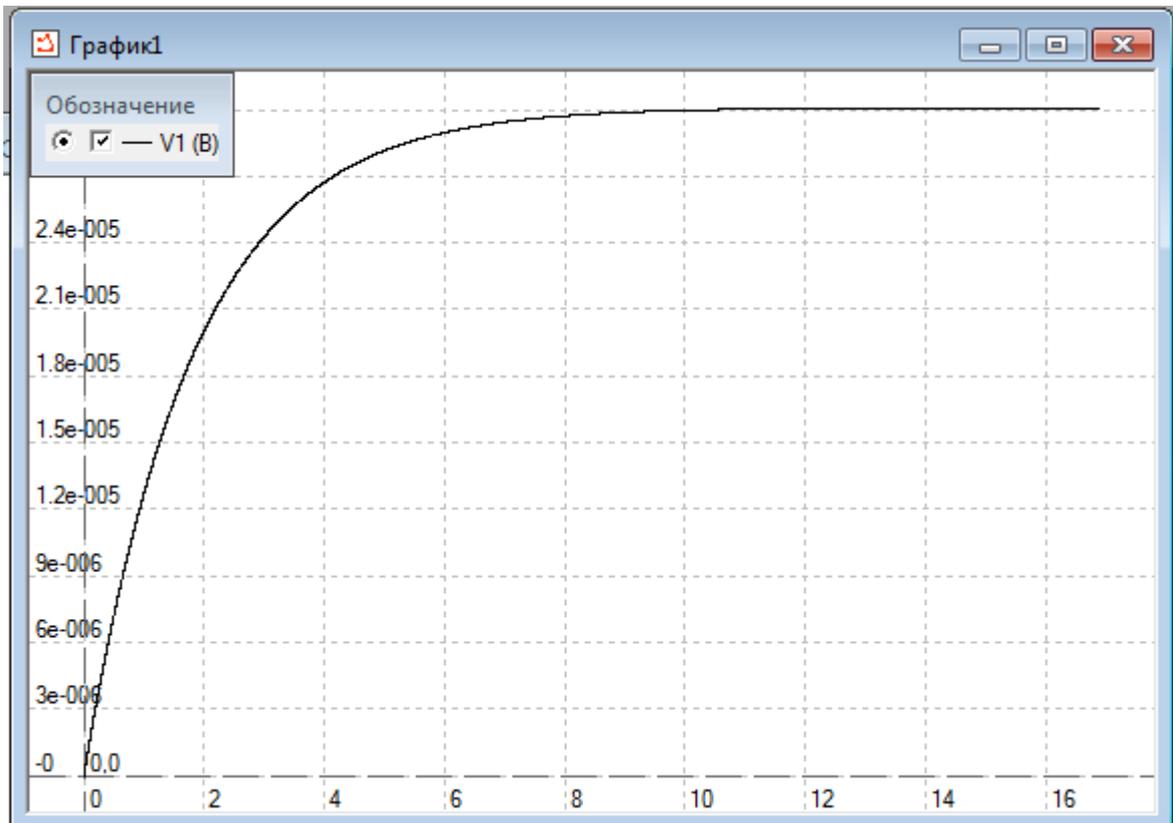
Масса	Упругость вала	Трение на валу	Источник напряжения	Цепь якоря
IM	SPR	DMP	E	RL

$1.1 \cdot 10^{-3} \text{ Нс}^2/\text{м}$	1250 Н/м	$3,3 \cdot 10^5 \text{ нс}/\text{м}$	10 В	$R = 2300 \text{ Ом}$ $L = 3.9 \text{ Гн}$
---	----------	--------------------------------------	------	---

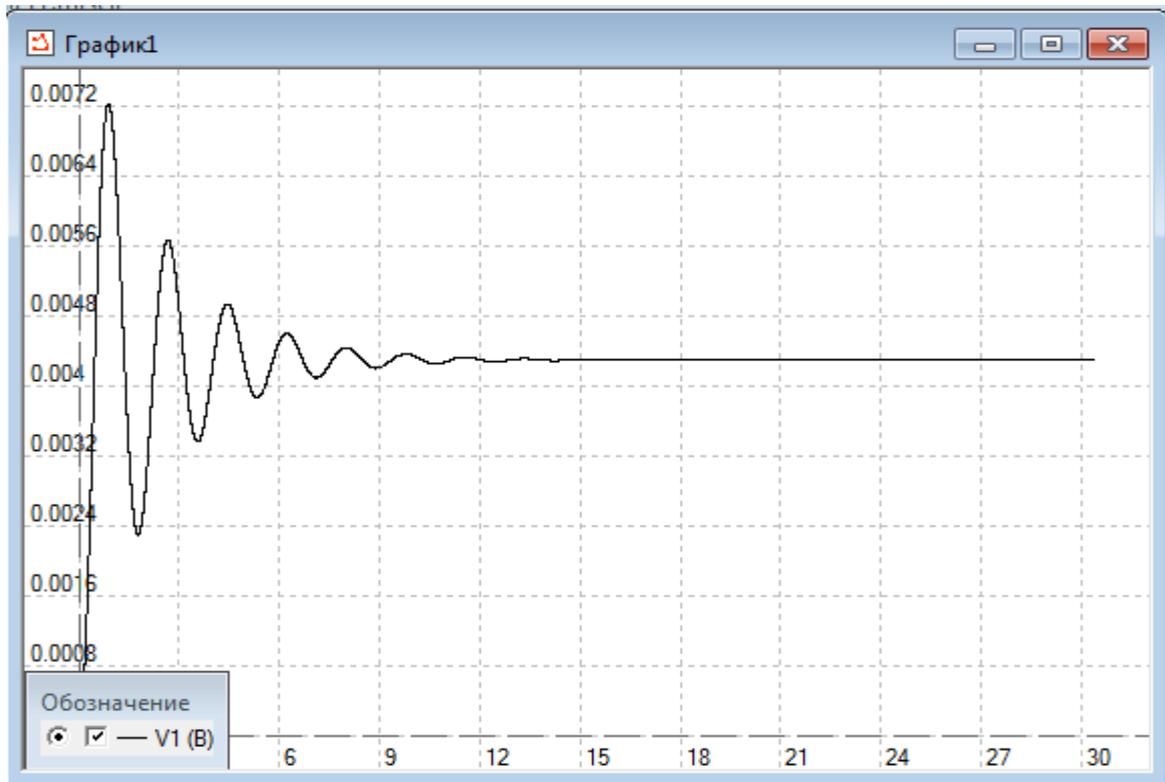
GYR - гиратор



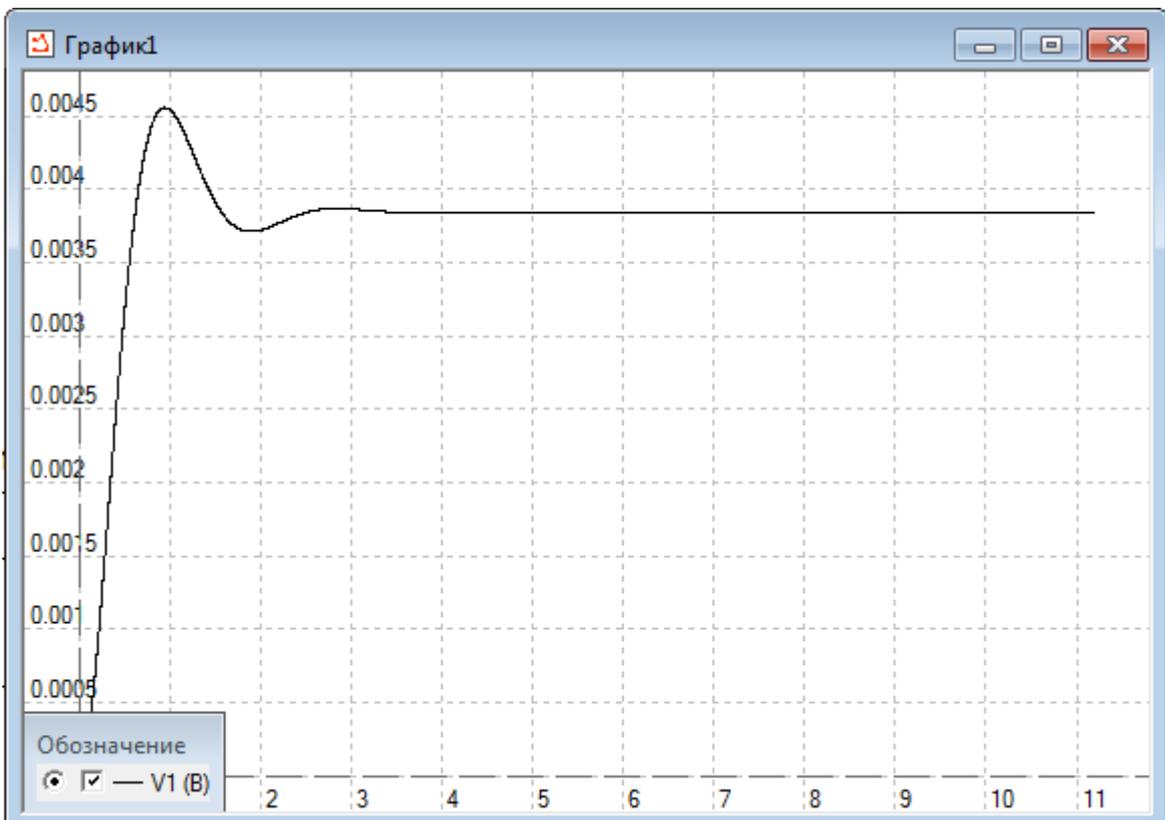
Решение: Собрав в СИМАРС компонентную цепь, показанную на рисунке, необходимо построить график, выбрав в параметрах моделирования динамику → неявный метод Эйлера, тогда получаем:



Из графика видно, что это процесс апериодический, изменяя значения трения и массы, построим колебательный и менее колебательный процесс. При $J=100$ кг, $D=30$ нс/м получаем колебательный процесс:



При $J=100$ кг, $D=300$ нс/м получаем менее колебательный процесс:



Контрольные вопросы:

1. Назовите виды переходных процессов.
2. Объяснить, как изменится график, изменяя параметры?

Лабораторная работа №8 «Графики частотных характеристик»

Задание:

Построить амплитудно – частотную характеристику (АЧХ), фазовую частотную характеристику (ФЧХ), амплитудно – фазовую характеристику (АФХ), логарифмическую амплитудно-частотную характеристику (ЛАЧХ), логарифмическую фазовую частотную характеристику (ЛФЧХ) апериодического ($W(p)=k/(Tp+1)$) и колебательного ($W(p)=k/(T^2p^2+2dTp+1)$) звена. В колебательном звене необходимо будет найти резонансную частоту, фазовую характеристику и частоту среза.

Апериодическое звено 1 порядка:

$$T:=0.05$$

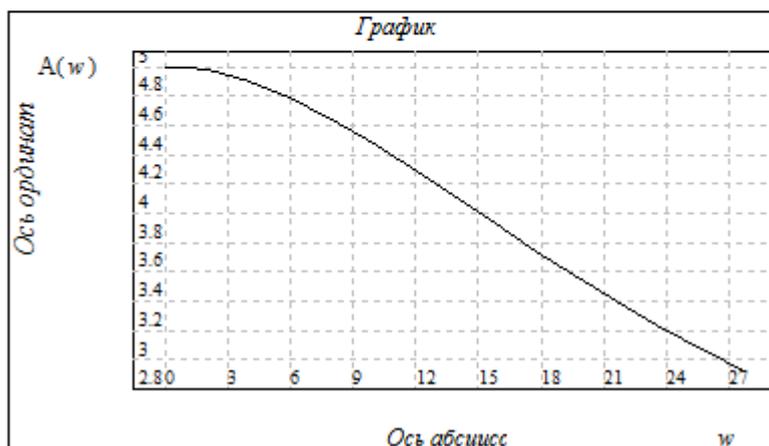
$$K:=5$$

$$d:=0.01$$

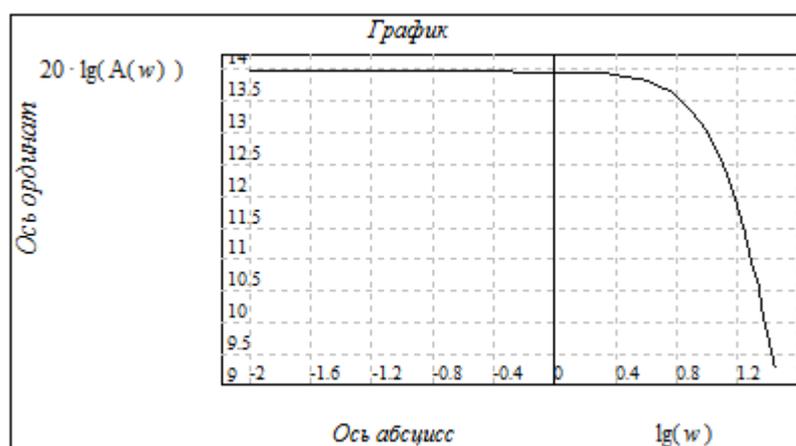
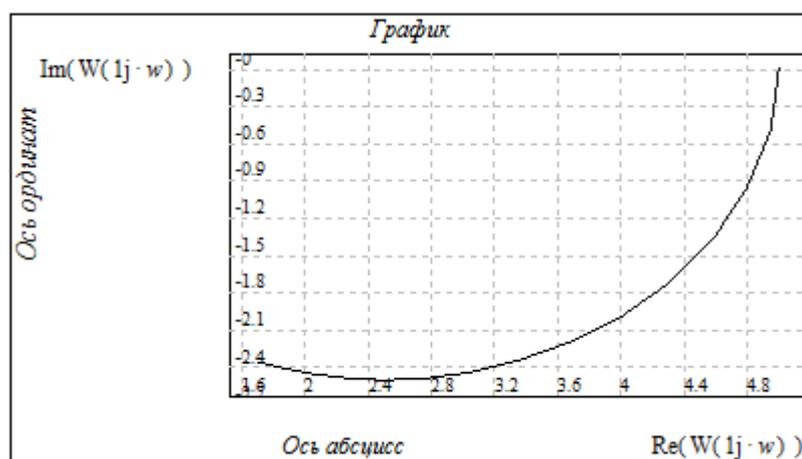
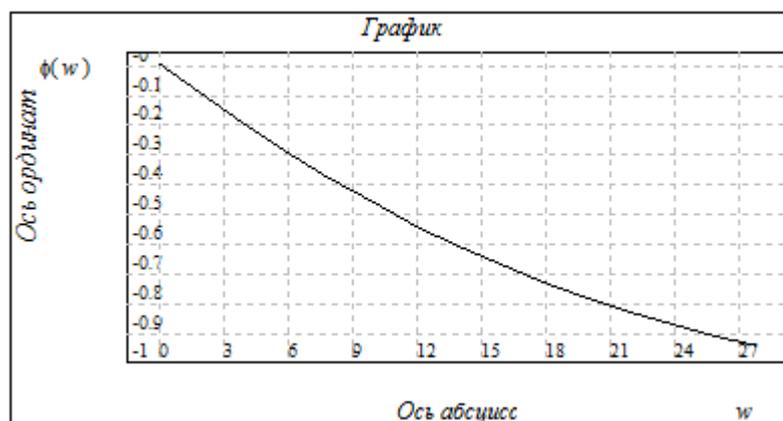
$$W(p) := \frac{K}{T \cdot p + 1}$$

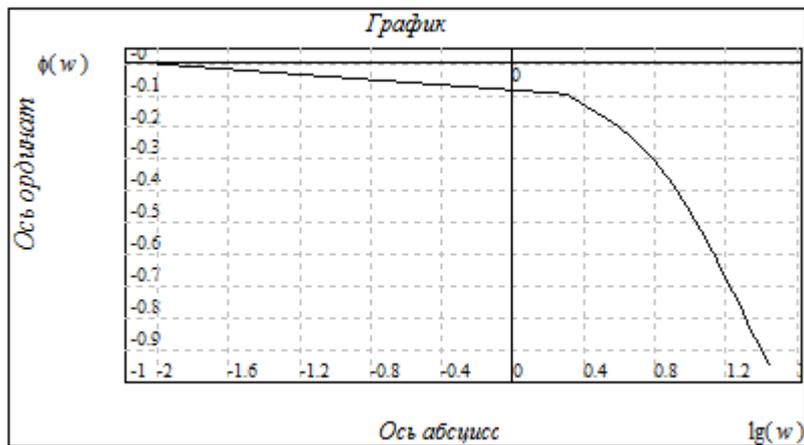
$$\omega := 0.01, 2 \dots 30$$

$$A(\omega) := |W(1j \cdot \omega)|$$



$$\phi(w) := \arg(W(1j \cdot w))$$





Колебательное звено:

$$T := 0.05$$

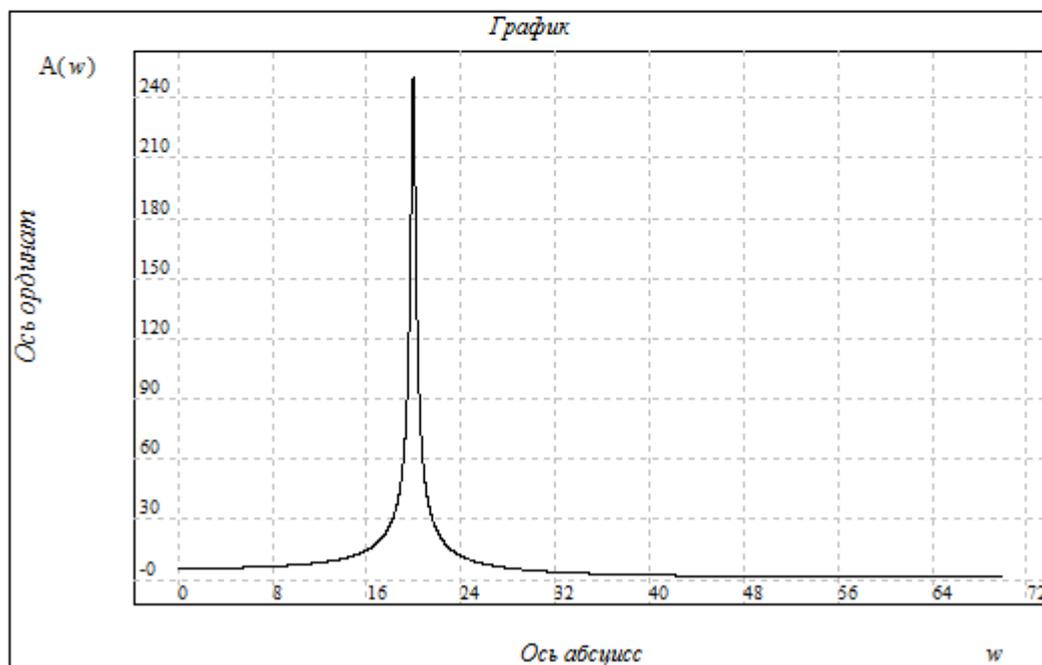
$$K := 5$$

$$d := 0.01$$

$$W(p) := \frac{K}{T^2 \cdot p^2 + 2 \cdot d \cdot T \cdot p + 1}$$

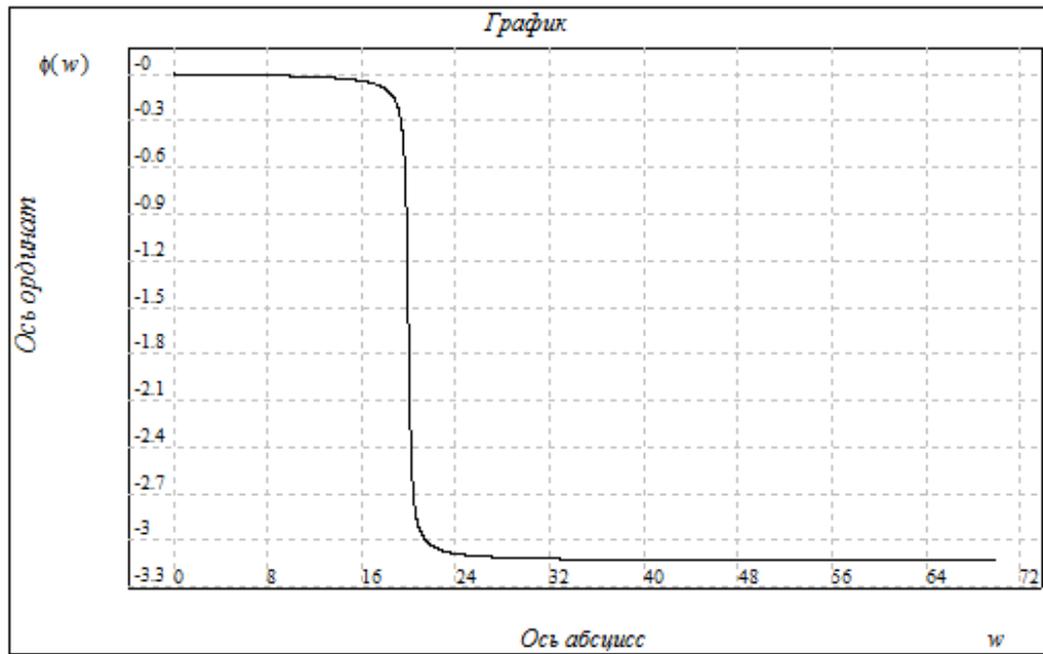
$$\omega := 0.01, 0.02 \dots 70$$

$$A(\omega) := |W(1j \cdot \omega)|$$

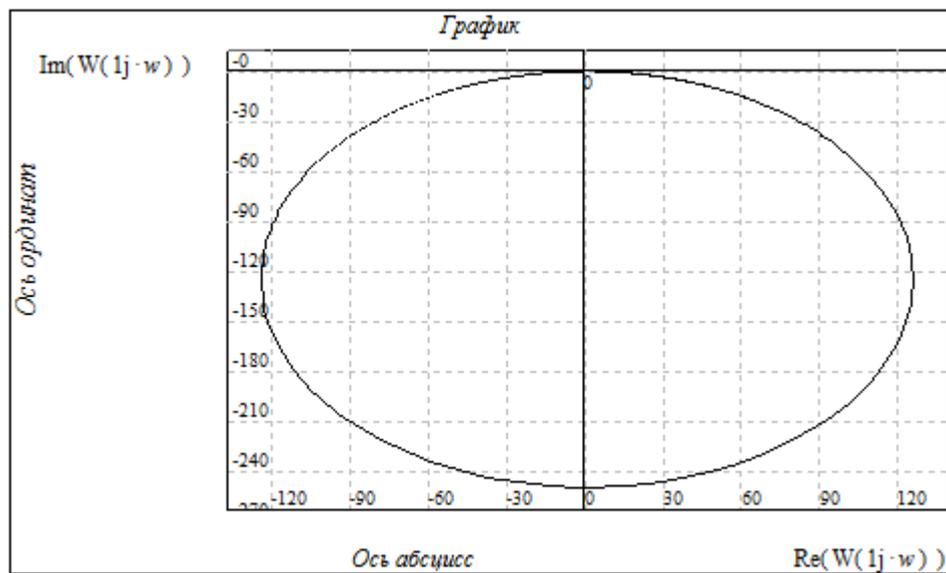


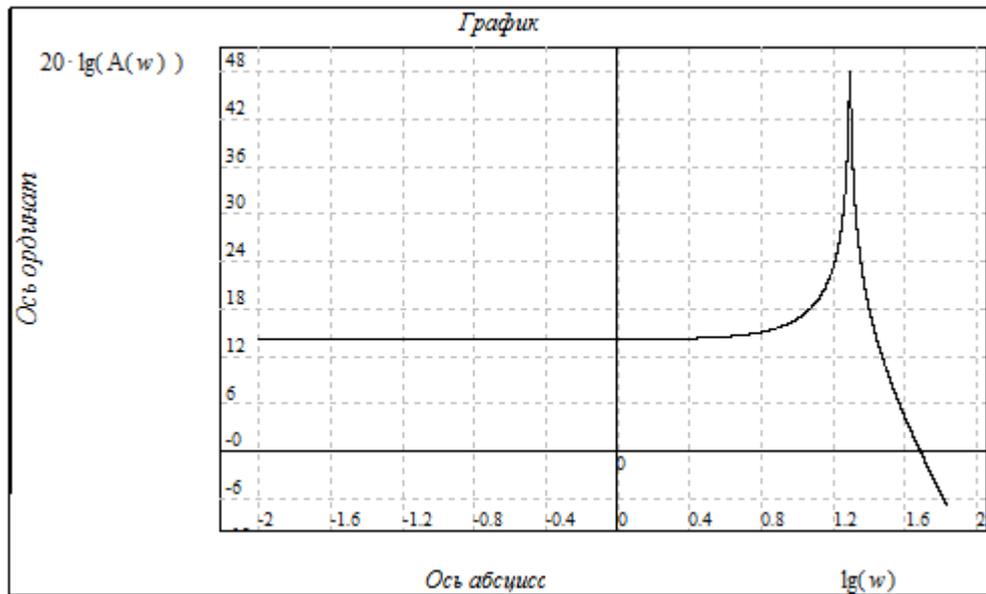
Из данного графика можно найти резонансную частоту: $\omega = 20$

$$\phi(\omega) := \arg(W(1j \cdot \omega))$$

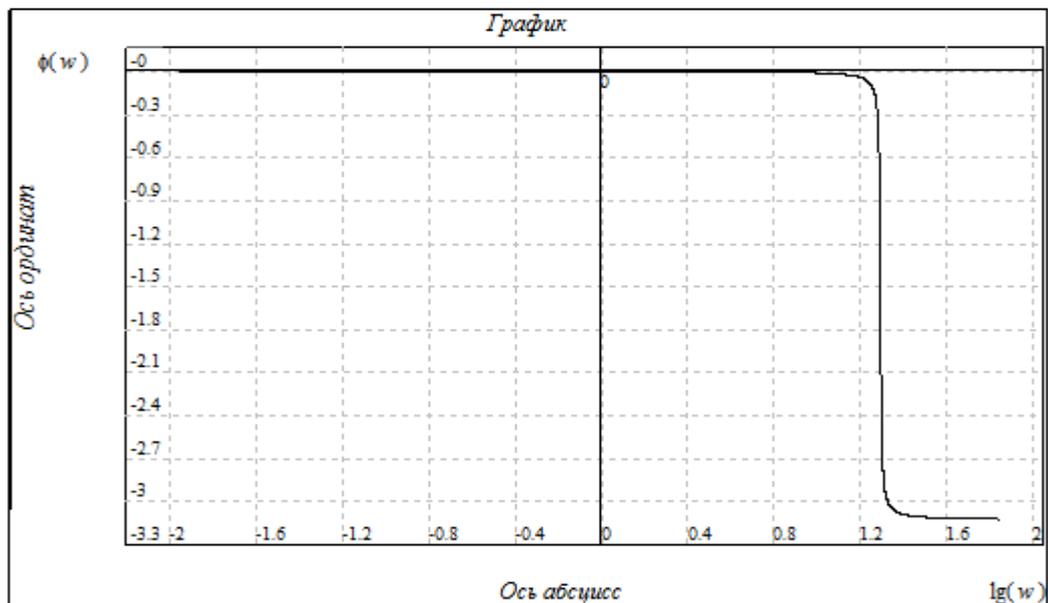


Из данного графика можно найти фазовую характеристику: $\omega=20$





Из данного графика можно найти частоту среза: $\omega=1,7$



Контрольные вопросы:

1. Напишите передаточную функцию аperiodического и колебательного звена.
2. Назовите виды частотных характеристик.
3. Как найти резонансную частоту?
4. Что такое частота среза?

Лабораторная работа №9 «Моделирование дискретно – событийных систем»

Задание:

1. Познакомиться с набором компонентов сетей Петри и их моделями в СМ МАРС.
2. Составить схему, которая бы описывала графическое представление алгоритма работы светофора, с использованием компонентов сетей Петри.
3. Собрать компонентную цепь для моделирования «Светофора» на объектном слое и отобразить ее на визуальном.
 - 3.1. Модель «Светофора 1», где горит красный, затем желтый, потом зеленый.
 - 3.2. Модель «Светофора 2», где сначала горят 2 зеленых, затем 1 зеленый и красный, потом только красный, желтый и т.д.

Компоненты сетей Петри в МАРСе, необходимые для моделирования модели «Светофора»:

Компоненты, необходимые для графического представления алгоритма работы светофора:

Компонент «Источник фишек»



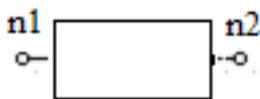
Данный компонент подает то количество фишек, которое Вы задаете в свойствах компонента. Также в свойствах компонента вы можете задать его время работы.

Компонент «Цвет фишек»



Принимает фишки и каждой фишке в соответствие с заданием присваивает цвет. Например, красный, зеленый или желтый. Цвет вы задаете в свойствах компонента.

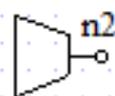
Компонент «Предикат»



Делает запрос цветным сетям и принимает от них фишку определенного цвета. Цвет фишки задается в свойствах компонента.

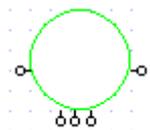
Компоненты, необходимые для моделирования модели светофора1:

Компонент «Генератор фишек»



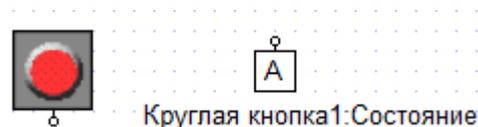
Данный компонент подает по 1 фишке через определенный промежуток времени. В свойствах компонента вы можете задать промежуток времени между фишками.

Компонент «Переключатель»



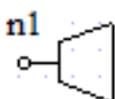
К нему подключаются состояния кнопок, и он переключает кнопки по очереди.

«Круглая кнопка»



Им присваиваем определенный цвет, для отображения на визуальном слое. Для вывода состояния кнопки необходимо нажать на кнопке правой кнопкой мыши, выбрать связь с атрибутом, там выбрать состояние.

Компонент «Хранилище фишек»



Данный компонент хранит в себе фишки.

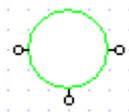
Компоненты, необходимые для моделирования модели светофора2:

Компонент «Источник фишек»



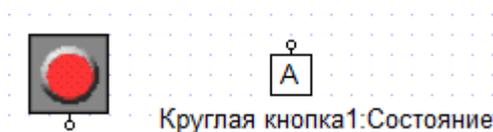
Данный компонент подает то количество фишек, которое Вы задаете в свойствах компонента. Также в свойствах компонента вы можете задать его время работы.

Компонент «Позиция управления»



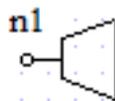
Данный компонент показывает, что на этом этапе над фишкой (объектом) происходит какое-то действие. В свойствах компонента задается время задержки.

Компонент «Круглая кнопка»



Им присваиваем определенный цвет, для отображения на визуальном слое. Для вывода состояния кнопки необходимо нажать на кнопке правой кнопкой мыши, выбрать связь с атрибутом, там выбрать состояние.

Компонент «Хранилище фишек»



Данный компонент хранит в себе фишки.

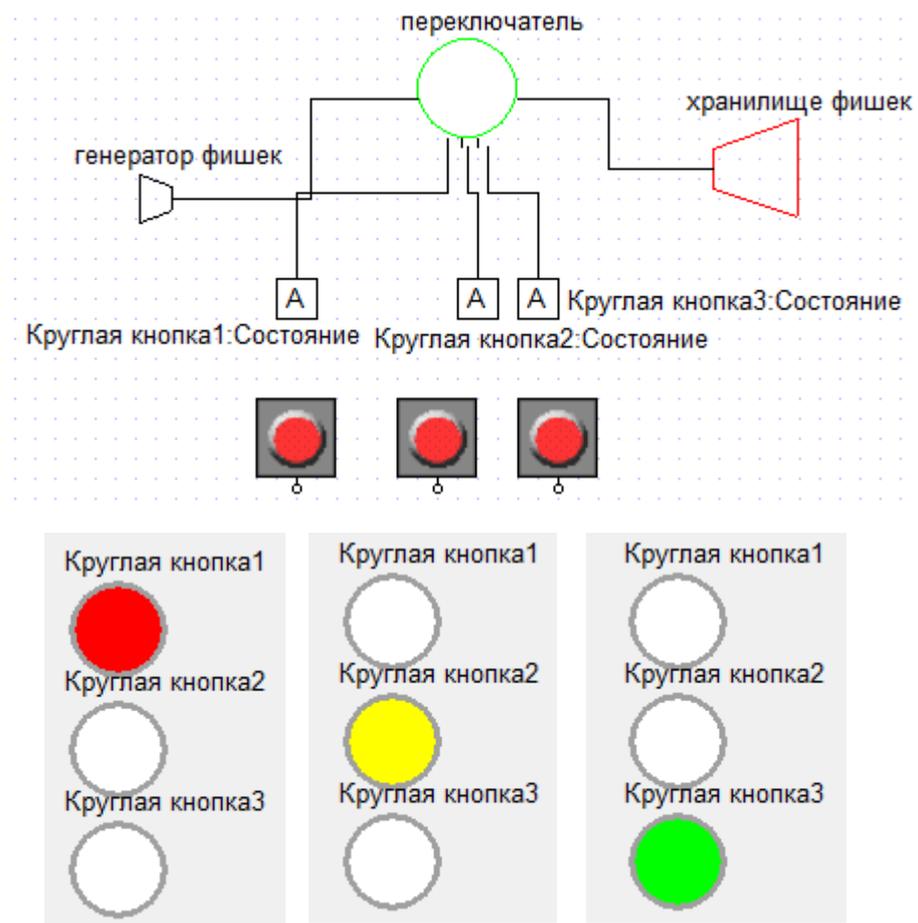
Решение: Ознакомившись с набором компонентов сетей Петри в СМ МАРС, графическое представление алгоритма работы модели «светофор» будет иметь вид:



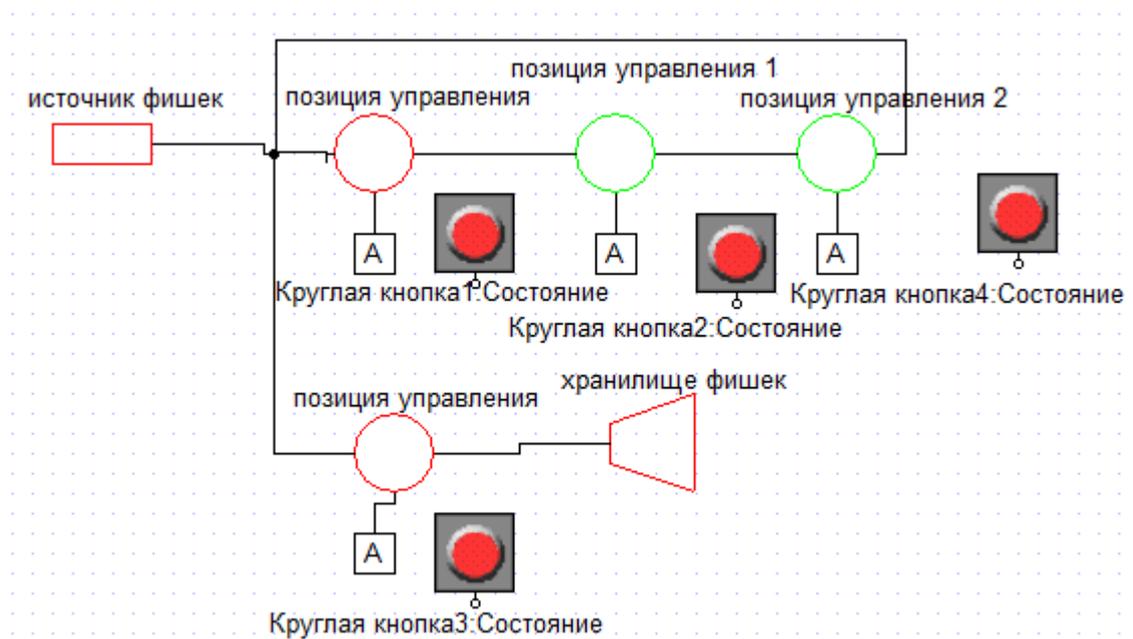
Для запуска модели необходимо в параметрах моделирования выбрать имитационное моделирование → динамика.

Соберем компонентную цепь для моделирования модели «Светофор» на объектном слое и отобразим ее на визуальном, таким образом, получаем:

Модель «Светофора 1», где горит красный, затем желтый, потом зеленый:



Модель «Светофора 2», где сначала горят 2 зеленых, затем 1 зеленый и красный, потом только красный, желтый и т.д.



Контрольные вопросы:

1. Какие системы называют дискретно – событийными?
2. Что такое сети Петри?
3. Какие компоненты сетей Петри используют для моделирования модели «Светофор»?

Заключение

В данной методичке представлено 9 лабораторных работ таких как: «Знакомство со средой моделирования MАРС», «Моделирование резистивной электрической цепи постоянного тока», «Решение дифференциального уравнения явным методом Эйлера», «Формирование и решение системы уравнений методом узловых потенциалов», «Исследование временных диаграмм», «Упруго-инерционная подвеска», «Электромагнитный привод», «Графики частотных характеристик», «Моделирование дискретно – событийных систем».

Список литературы

1. Дмитриев В.М., Шутенков А.В., Зайченко Т.Н., Ганджа Т.В. МАРС – среда моделирования технических устройств и систем.- Томск: В-Спектр, 2011г. – 278с.
2. Котов В.Е. Сети Петри. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1984.-160 с.
3. Ломазова И.А. Вложенные сети Петри. Моделирование и анализ распределенных систем с объектной структурой – М.: Научный Мир, 2009. – 208 с.
4. Советов Б.Я., Яковлев С.А. Моделирование систем. М.: Высш. шк., 2001.– 343 с.
5. Дмитриев В.М., Шутенков А.В., Дмитриев И.В. Компьютерное моделирование устройств и систем. – Томск:ТМЛ-Пресс, 2010г. - 296с.
6. Григорьева Т.Е. Дискретно-событийное моделирование в СМ МАРС для курса «Системы массового обслуживания». Доклады ТУСУРа №1 (31), март 2014. Издательство Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. Периодический научный журнал. ISSN 1818-0442, с 152-155.
7. Григорьева Т.Е., Истигечева Е.В. Имитационное моделирование цветных сетей Петри. Научная сессия ТУСУР–2013: Материалы Всероссийской научно- технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Томск, 15–17 мая 2013 г. – Томск: В-Спектр, 2013: В 5 частях. – Ч. 2. — с. 306-308.
8. Перегудов Ф.И., Тарасенко Ф.П. Основы системного анализа. Томск: Изд-во НТЛ, 1997г. - 396 с.
9. Эндрюс Дж., Мак-Лоун. Математическое моделирование. М.: изд-во «Мир», 1979, 277с.
10. Чучалин А.И. Математическое моделирование в электромеханике. Томск: Изд-во ТПУ, 1997, 170с.