

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования



НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ

УНИВЕРСИТЕТ им. Р.Е.АЛЕКСЕЕВА

Институт радиоэлектроники и информационных технологий

ОТЧЕТ

по лабораторной работе №3

«Исследование свойств разомкнутой системы»

по дисциплине

«Основы теории управления»

Вариант 6

РУКОВОДИТЕЛЬ:

(подпись)

Никулин.Е.А.
(фамилия, и.,о.)

СТУДЕНТ:

(подпись)

Сухоруков В.А.
(фамилия, и.,о.)

(подпись)

Мосташов В.С.
(фамилия, и.,о.)

19-ВМ
(шифр группы)

Работа защищена «__» _____

С оценкой _____

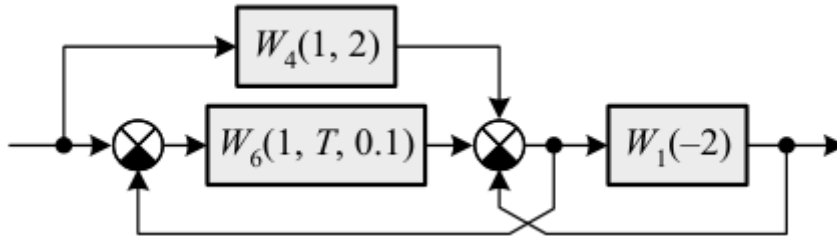
Нижний Новгород 2022

Цель работы

Для данного преподавателем параметра построить и исследовать каноническую схему моделирования системы на ОУ в программе Electronics WorkBench.

Исходные данные

Вариант 6:



$$W = \frac{(w_6 + w_4)w_1}{(1 + w_1 + w_6)}$$

$$W(T, s) = \frac{20 + (20 + 2T)s + 10T^2s^2}{Ts + (5T^2 + 2T)s^2 + 10T^2s^3}$$

$$T=1$$

$$W(1, s) = \frac{20 + 22s + 10s^2}{s + 7s^2 + 10s^3} = \frac{B(s)}{A(s)} = \frac{b_0 + b_1s + b_2s^2}{a_1s + a_2s^2 + a_3s^3}$$

Ход работы

1 Описание метода канонических схем

Метод канонических схем основан на построении вспомогательной схемы с передаточной функцией:

$$W_v(s) = \frac{1}{A(s)} = \frac{V(s)}{X(s)}$$

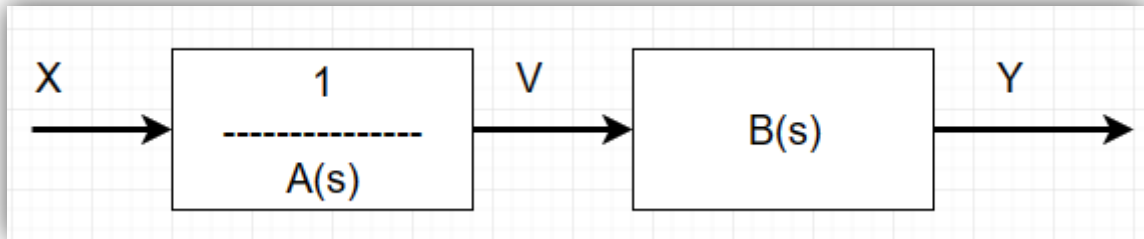
Выход $v(t)$ данной системы, удовлетворяет дифференциальному уравнению:

$$v^{(n)} = \frac{1}{a_n}x - \frac{a_{n-1}}{a_n}v^{(n-1)} - \dots - \frac{a_1}{a_n}v' - \frac{a_0}{a_n}v.$$

Соединив последовательно данную схему со схемой, обладающей передаточной функцией:

$$W(s) = B(s)$$

Получим схему:



Данный метод позволяет избавиться от недостатков методов параллельных каскадов, и последовательных каскадов:

- ❖ Возможность появления каскадов с дифференцирующими свойствами, признаком чего служит наличие оператора s в числителе передаточной функции. Это весьма нежелательно в многокаскадных схемах, т. к. даже самый слабый высокочастотный шум $A * \sin(\omega t)$, пройдя через цепочку из N дифференцирующих каскадов, многократно увеличит свою амплитуду $A * \omega * N$ пропорционально N -й степени частоты и заглушит полезную низкочастотную составляющую выходного сигнала.

- ❖ Необходимость вычисления корней полинома для получения разложений.

- ❖ Разнотипность каскадов.

- ❖ Нерегулярная структура полученной схемы.

- ❖ Трудоемкий расчет номиналов радиоэлементов принципиальной схемы.

2 Синтез схемы

$$W(s) = \frac{y}{x} = \frac{B(s)}{A(s)} = \frac{b_0 + b_1s + b_2s^2}{a_1s + a_2s^2 + a_3s^3}$$

$$W_v(s) = \frac{1}{A(s)} = \frac{V(s)}{X(s)}$$

$$y = B(s) * v = b_0 + b_1v' + b_2v''$$

$$W(s) = \frac{20 + 22s + 10s^2}{s + 7s^2 + 10s^3} = \frac{b_0 + b_1s + b_2s^2}{a_1s + a_2s^2 + a_3s^3}$$

$$W_v(s) = \frac{1}{s + 7s^2 + 10s^3} = \frac{V(s)}{X(s)}$$

$$v'(t) + 7v''(t) + 10v'''(t) = x(t)$$

$$\underline{v'''(t) = 0.1x(t) - 0.7v''(t) - 0.1v'(t)}$$

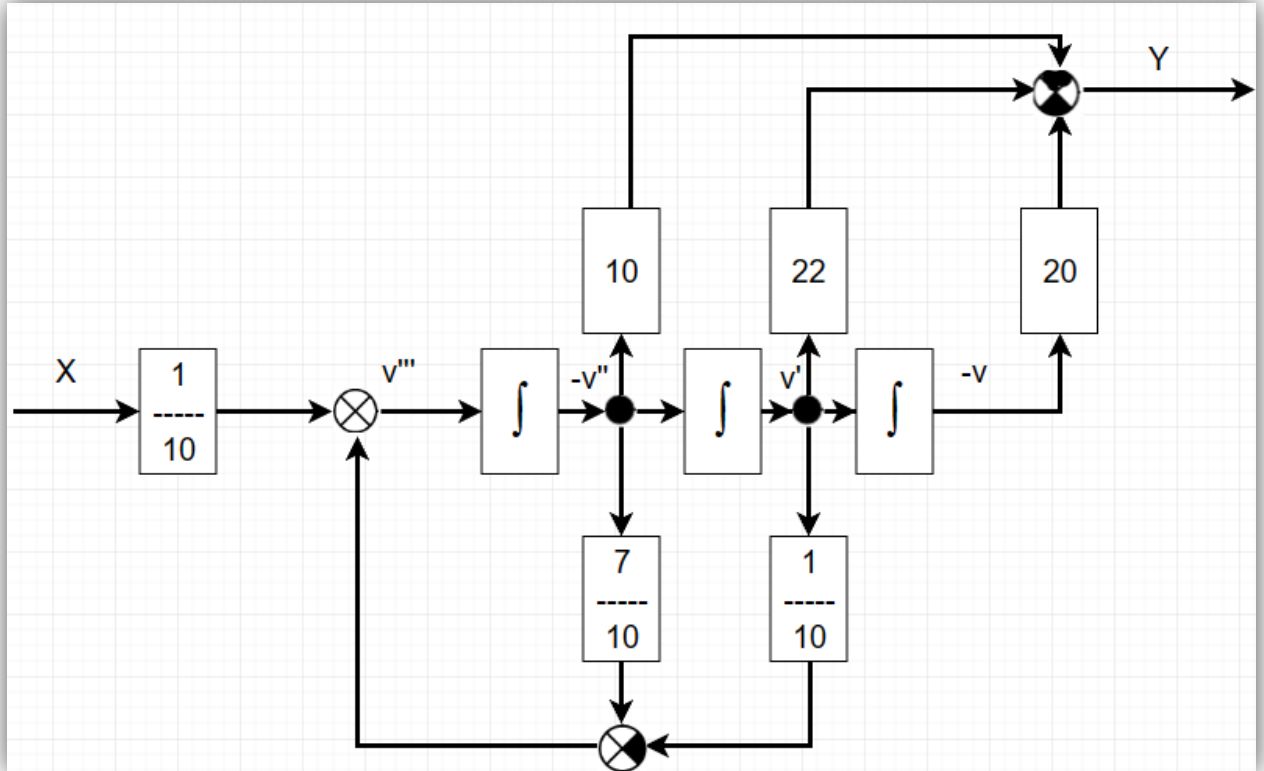
$$\underline{y(t) = 20v(t) + 22v'(t) + 10v''(t)}$$

Составим схему на инвертирующих интеграторах, тогда

$$v'''(t) = 0.1x(t) + 0.7 * (-v''(t)) - 0.1v'(t)$$

$$y(t) = -20 * (-v(t)) + 22v'(t) - 10 * (-v''(t))$$

Получим схему:



Входной сумматор:

$$v'''(t) = 0.1x(t) + 0.7 * (-v''(t)) - 0.1v'(t)$$

Суммы коэффициентов усиления прибавляемых и вычитаемых сигналов в формуле $v'''(t)$ составляют $S_1 = 0.1 + 0.7 = 0.8$ $S_2 = 0.1$.

Для обеспечения баланса $S_1 = S_2 + 1$ нужно к прямому входу ОУ подключить нулевой (заземлённый) сигнал с коэффициентом усиления $K_{10} = S_2 + 1 - S_1 = 0.3$.

Номиналы резисторов, проводящих сигналы, должны удовлетворять соотношениям

$$0.1R_x = 0.7R_{-v''} = 0.3R_{10}$$

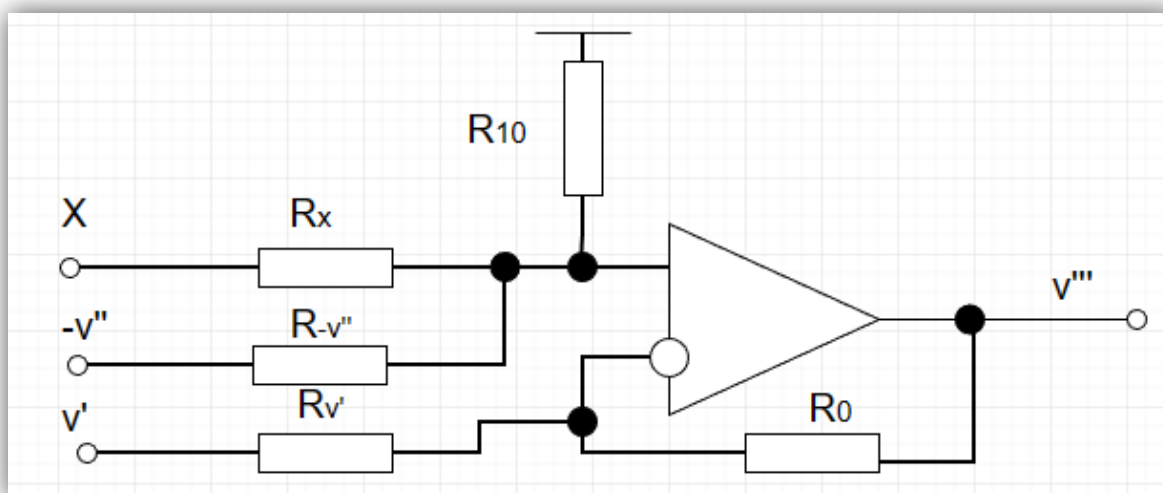
$$0.1R_{v'} = R_0$$

По которым подбираем целочисленные $R \in [1 \text{ кОм}, 10 \text{ МОм}]$:

$$R_x = 21 \text{ КОм} \quad R_{-v''} = 3 \text{ КОм} \quad R_{10} = 7 \text{ КОм}$$

$$R_{v'} = 10 \text{ КОм} \quad R_0 = 1 \text{ КОм}$$

Схема входного сумматора:



Выходной сумматор:

$$y(t) = -20 * (-v(t)) + 22v'(t) - 10 * (-v''(t))$$

Суммы коэффициентов усиления прибавляемых и вычитаемых сигналов в формуле $y(t)$ составляют $S_1 = 22$ $S_2 = 20 + 10$.

Для обеспечения баланса $S_1 = S_2 + 1$ нужно к прямому входу ОУ подключить нулевой (заземлённый) сигнал с коэффициентом усиления

$$K_{10} = S_2 + 1 - S_1 = 9$$

Номиналы резисторов, проводящих сигналы, должны удовлетворять соотношениям

$$22R_{v'} = 9R_{10}$$

$$20R_{-v} = 10R_{-v''} = R_0$$

По которым подбираем целочисленные $R \in [1 \text{ кОм}, 10 \text{ МОм}]$:

$$R_{v'} = 9 \text{ КОм} \quad R_{10} = 22 \text{ КОм}$$

$$R_{-v} = 1 \text{ КОм} \quad R_{-v''} = 2 \text{ КОм} \quad R_0 = 20 \text{ КОм}$$

Схема выходного сумматора:

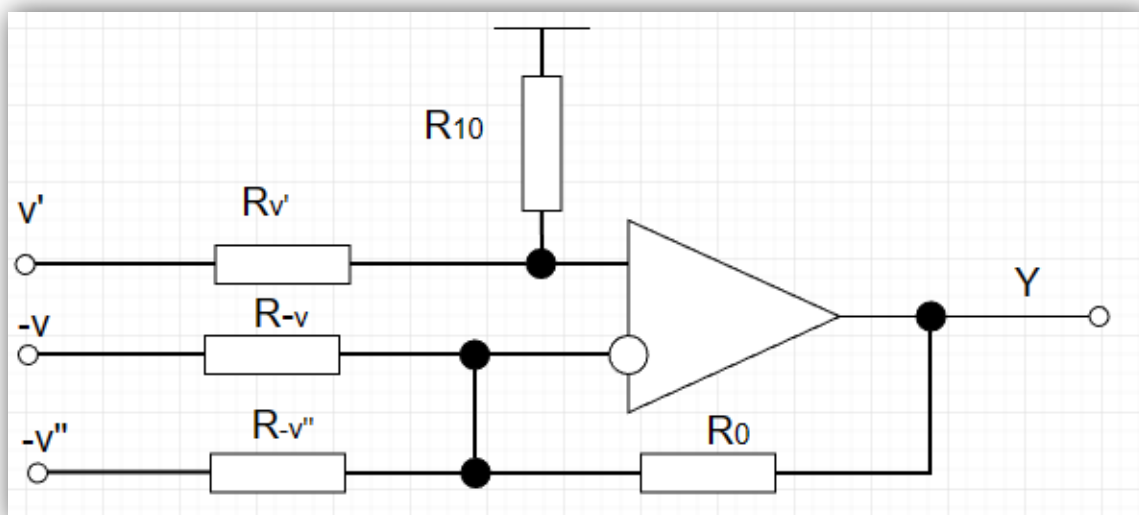
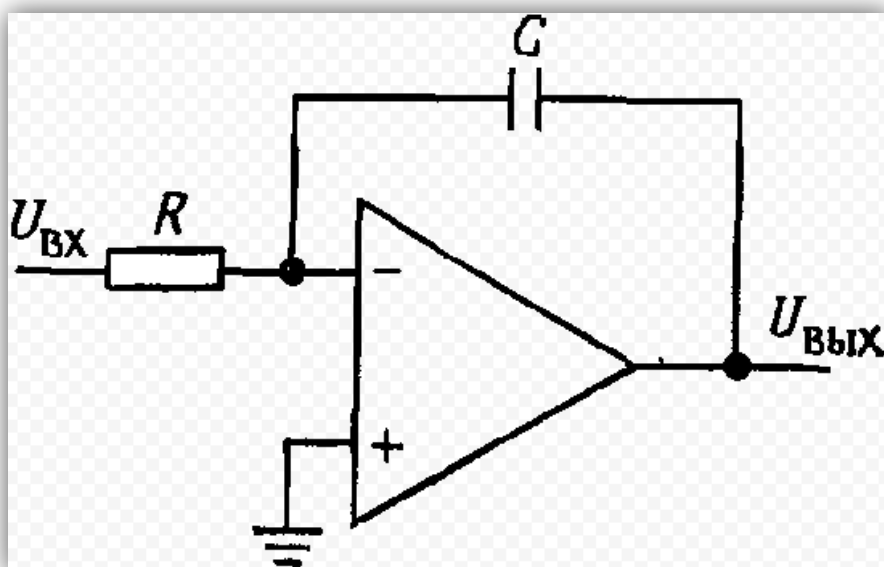


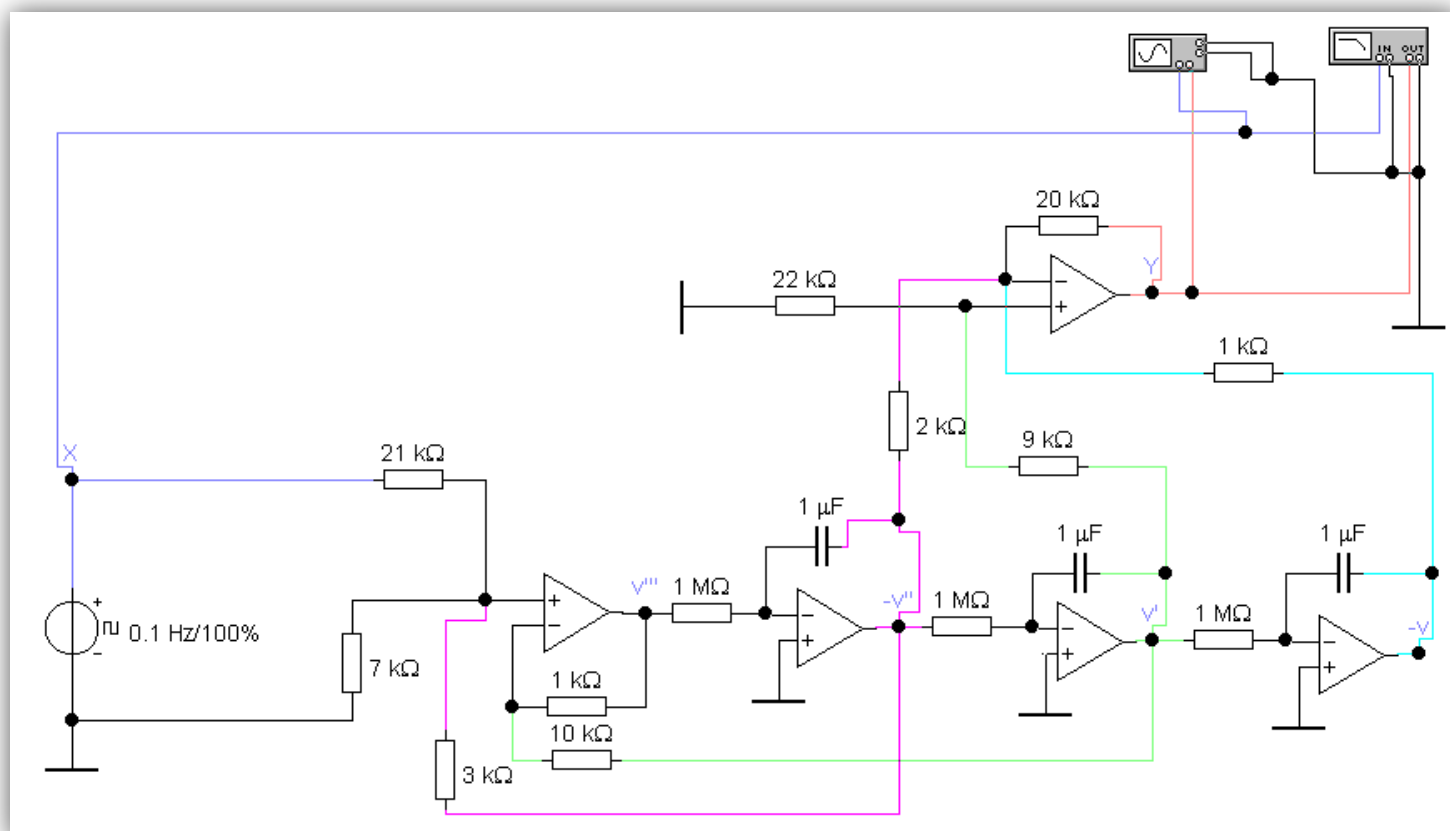
Схема инвертирующего интегратора на операционном усилителе:



$$U_{\text{ВЫХ}} = -\frac{1}{RC} \int U_{\text{ВХ}} dt$$

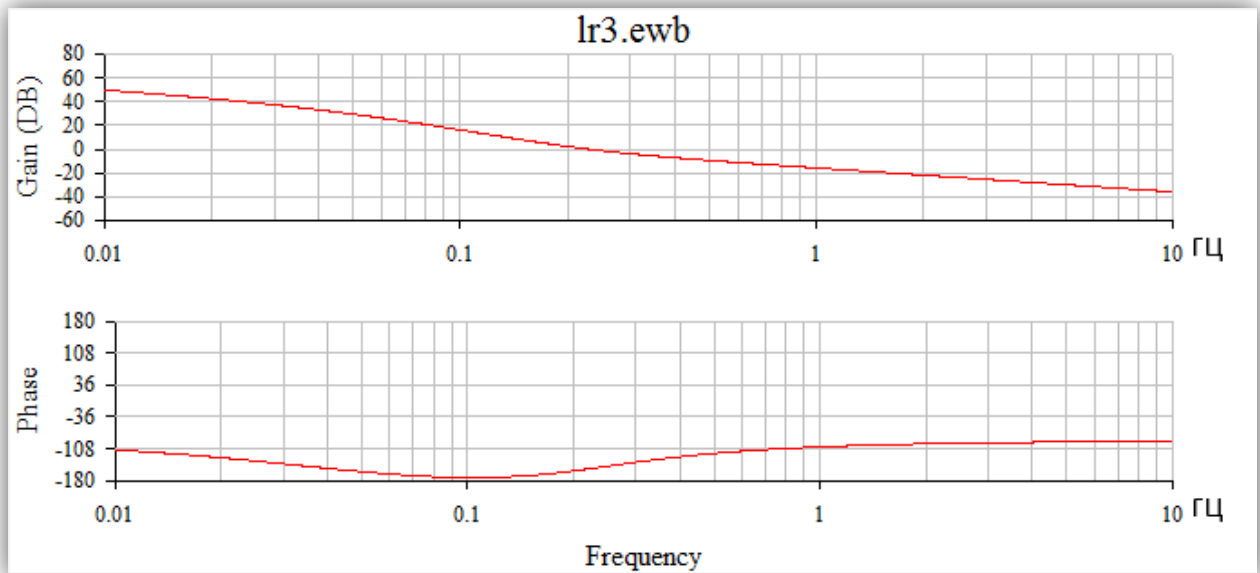
Поскольку нам нужен интегратор с коэффициентом -1, возьмем $C = 1 \mu\text{Ф}$, $R = 1 \text{ МОм}$.

Итоговая схема:



3 Анализ характеристик системы

Для анализа ЛАЧХ и ЛФЧХ к выходу схемы подключен Bode Plotter, а на входе подключен генератор, который формирует в начальный момент времени перепад с 0 до 1 В.



Сравним полученные графики с графиками, построенными в Mathcad в 6 пункте курсовой работы.

$$T := 1$$

$$B(s) := 20 + (20 + 2T)s + 10T^2 \cdot s^2$$

$$A(s) := Ts + (5T^2 + 2 \cdot T)s^2 + 10T^2 \cdot s^3$$

$$W(s) := \frac{B(s)}{A(s)}$$

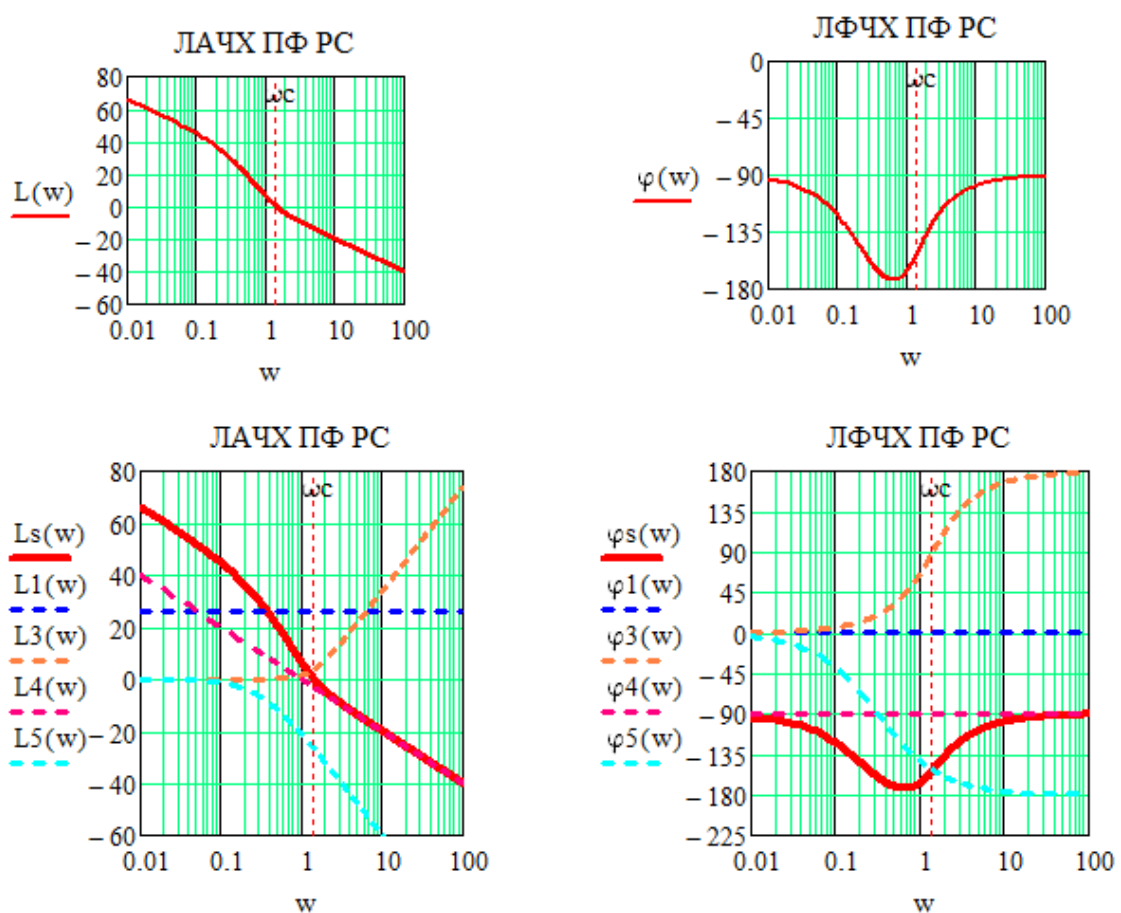
$$W(s) \rightarrow \frac{10 \cdot s^2 + 22 \cdot s + 20}{10 \cdot s^3 + 7 \cdot s^2 + s}$$

$$z := B(s) \left| \begin{array}{l} \text{solve, } s \\ \text{float, } 6 \end{array} \right. \rightarrow \begin{pmatrix} -1.1 + 0.888819i \\ -1.1 - 0.888819i \end{pmatrix} \quad p := A(s) \left| \begin{array}{l} \text{solve, } s \\ \text{float, } 6 \end{array} \right. \rightarrow \begin{pmatrix} 0 \\ -0.5 \\ -0.2 \end{pmatrix}$$

$$W1(s) := 20 \quad W3(s) := \left(1 - \frac{s}{z_0}\right) \cdot \left(1 - \frac{s}{z_1}\right) \text{ simplify } \rightarrow 0.50000019630982707507 \cdot s^2 + 1.1000004318816195651 \cdot s + 1.0$$

$$W4(s) := (s)^{-1} \quad W5(s) := \left(1 - \frac{s}{p_1}\right)^{-1} \cdot \left(1 - \frac{s}{p_2}\right)^{-1} \text{ simplify } \rightarrow \frac{1}{10.0 \cdot s^2 + 7.0 \cdot s + 1.0}$$

$$\begin{aligned}
L(w) &:= 20 \log(|W(j \cdot w)|) & \varphi(w) &:= \arg(W(j \cdot w)) \cdot \deg^{-1} \\
L1(w) &:= 20 \log(|W1(j \cdot w)|) & \varphi1(w) &:= \arg(W1(j \cdot w)) \cdot \deg^{-1} \\
L2(w) &:= 20 \log(|W2(j \cdot w)|) & \varphi2(w) &:= \arg(W2(j \cdot w)) \cdot \deg^{-1} \\
L3(w) &:= 20 \log(|W3(j \cdot w)|) & \varphi3(w) &:= \arg(W3(j \cdot w)) \cdot \deg^{-1} \\
L4(w) &:= 20 \log(|W4(j \cdot w)|) & \varphi4(w) &:= \arg(W4(j \cdot w)) \cdot \deg^{-1} \\
L5(w) &:= 20 \log(|W5(j \cdot w)|) & \varphi5(w) &:= \arg(W5(j \cdot w)) \cdot \deg^{-1} \\
Ls(w) &:= L1(w) + L3(w) + L4(w) + L5(w) \\
\varphi s(w) &:= \varphi1(w) + \varphi3(w) + \varphi4(w) + \varphi5(w)
\end{aligned}$$



1. Начальное значение графика функции

1.1. График ЛАЧХ, построенный в Mathcad, «выше» по оси L , чем график реальный график. Начальное значение для МС 66 ДБ, для WB 49.5 ДБ.

1.2. График ЛФЧХ, построенный в Mathcad, «выше» по оси φ , чем график реальный график. Начальное значение для МС -93 °, для WB- 110 °.

2. Промежуточное значение графика функции

2.1. График ЛАЧХ, построенный в Mathcad, равен нулю ДБ при

$\omega = 1,44 \frac{\text{рад}}{\text{с}} \approx 0.23 \text{ ГЦ}$, построенный в WorkBench - при $\omega = 0.229 \text{ ГЦ}$.

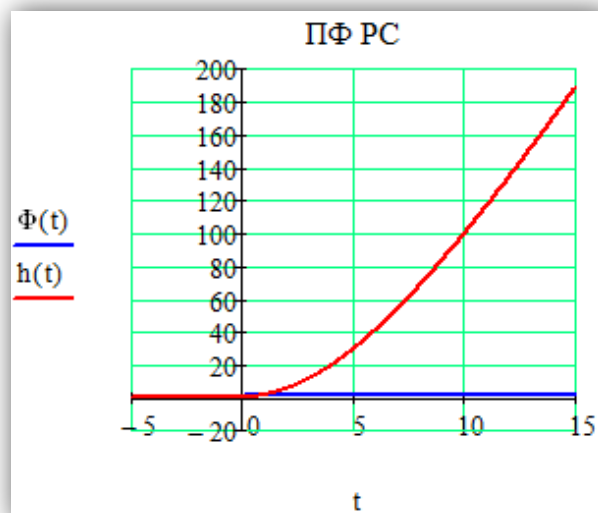
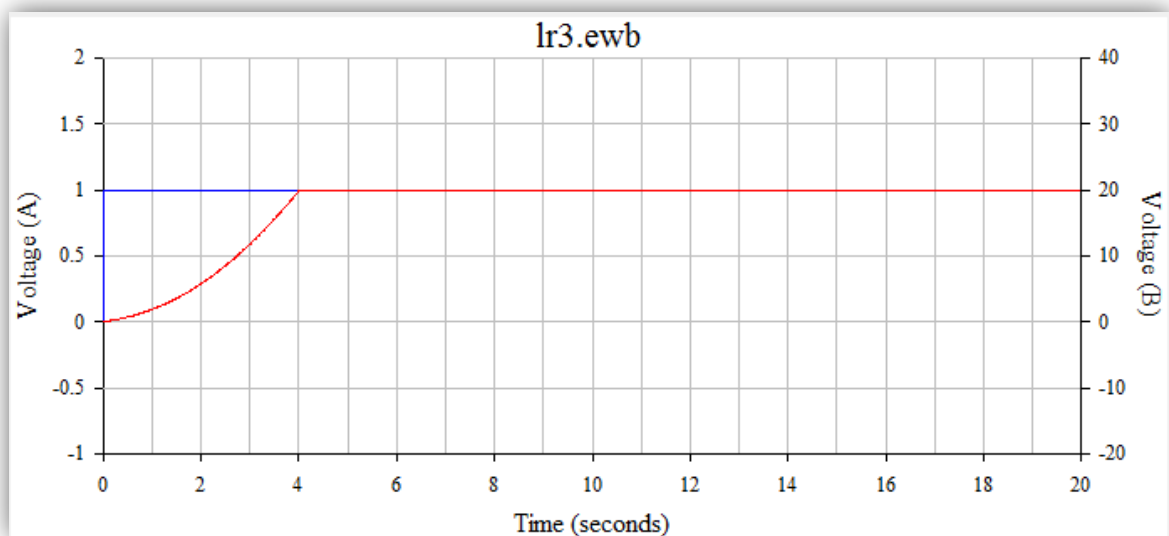
2.2. График ЛФЧХ, построенный в Mathcad, принимает наименьшее значение $= -173^\circ$ при $\omega = 0,67 \frac{\text{рад}}{\text{с}} \approx 0.1 \text{ ГЦ}$, построенный в WorkBench - при $\omega = 1,06 \text{ ГЦ}$.

4 Оценка переходной характеристики

$$W(s) = \frac{20 + 22s + 10s^2}{s + 7s^2 + 10s^3}$$

1. Начальное значение $h(0) = W(s \rightarrow \infty) = \frac{0}{10} = 0$.
2. Установившееся значение $h(t \rightarrow \infty) = W(0) = \frac{20}{0} = \infty$. У системы нет установившегося состояния.
3. На ЛАЧХ отсутствует резонансный пик, значит $h(t)$ не будет колебаться.

Построим переходную характеристику в WorkBench и Mathcad.



ПХ в WorkBench ограничена 20В. Это связано с напряжением питания операционного усилителя, которое равно 20В.

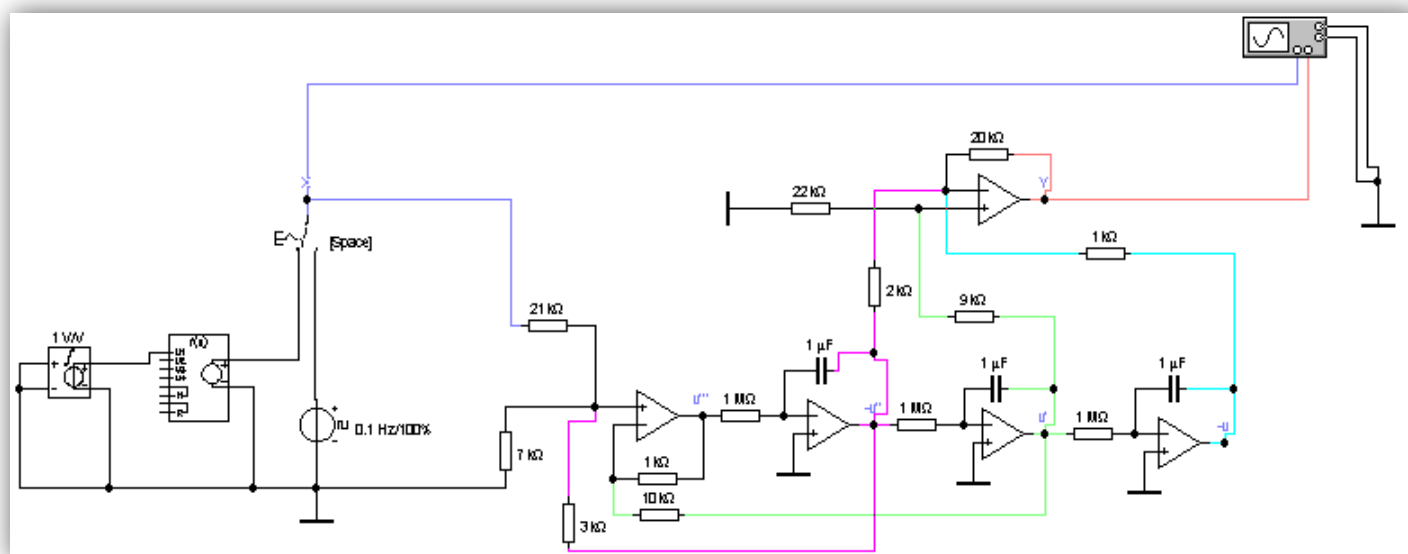
5 Моделирование системы при произвольном входном воздействии

Воздействие для 6 варианта:

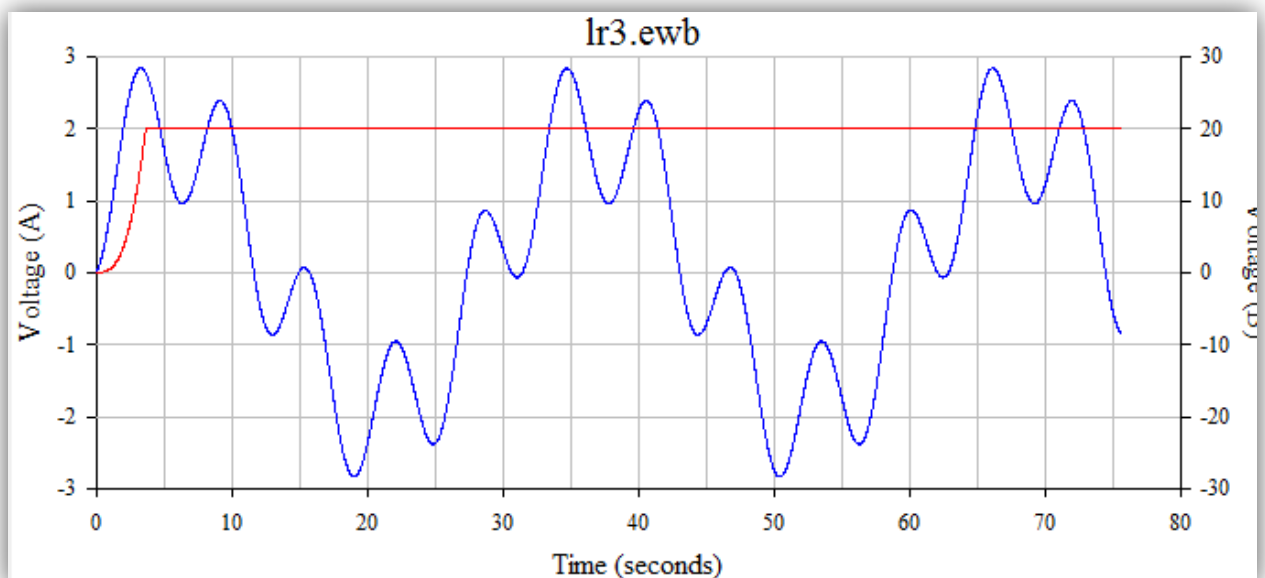
Входное воздействие	Номер варианта
$2\sin(0.2t+30^\circ)-\cos(t)$	$\text{mod}(N_{\text{вар}}, 6)=0$

Библиотека источников EWB содержит генератор Nonlinear Dependent Source (NDS), в окне редактирования которого записывается формула выходного сигнала (напряжения либо тока), зависящего от входных напряжений и токов. Поскольку переменной времени в синтаксисе формулы не предусмотрено, то с помощью интегратора создадим напряжение, равное времени и подадим его на первый вход NDS v1.

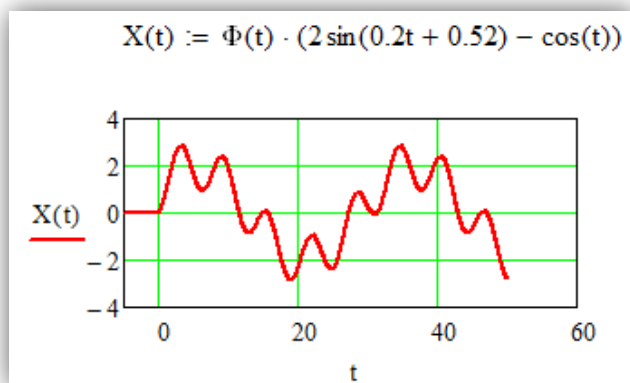
В настройках интегратора установим «Input offset voltage» равным 1В. Тогда при интегрировании данного значения по времени напряжение на выходе будет равно времени.



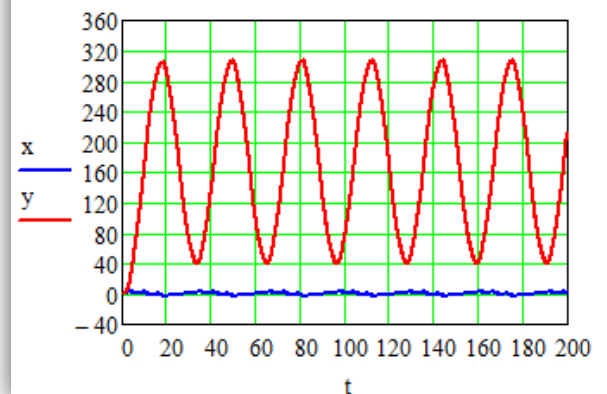
Запишем в генератор формулу: $v=2*\sin(0.2*v(1)+0.52)-\cos(v(1))$ так, как $30^\circ=0,52\text{рад}$.



Сверим график с Mathcad.



$$\begin{aligned} \underline{\underline{dt}} &:= 0.1 \quad \underline{\underline{N}} := 2000 \\ i &:= 0..N \quad t_i := dt \cdot i \quad x_i := X(t_i) \quad \underline{\underline{h_i}} := h(t_i) \\ y_i &:= x_0 \cdot h_i + \text{if } i, \sum_{k=1}^i [(x_k - x_{k-1}) \cdot h_{i-k}], 0 \end{aligned}$$



Теоретический график выходного сигнала имеет амплитуду колебания $\approx 140\text{В}$ и наименьшее, после $t=5\text{с}$, значение 40В . Поэтому на реальном графике строится прямая линия равная 20В после $t=5\text{с}$. Колебания являются незатухающими и не расходящимися из-за того, что система находится на границе устойчивости.