

Содержание

1	Исходные данные.....	4
1.1	Исходная блочная структурная схема (БСС).....	4
1.2	Фактическая расчетная БСС.....	5
1.3	Заданные передаточные функции звеньев автоматики. Внешние воздействия.....	6
2	Расчет скалярных передаточных функций.....	8
2.1	Расчет ПФ топологическим способом (по формуле Мейсона).....	8
2.1.1	По задающему воздействию $g(t)$	8
2.1.2	По возмущающему воздействию $f(t)$	11
2.2	Расчет ПФ на компьютере.....	13
2.2.1	По задающему воздействию $g(t)$	13
2.2.2	По возмущающему воздействию $f(t)$	14
3	Расчет нулей и полюсов ПФ.....	15
3.1	По задающему воздействию $g(t)$	15
3.2	По возмущающему воздействию $f(t)$	16
4	Частотный анализ.....	17
4.1	Годограф частотной передаточной функции (ЧПФ) САУ.....	17
4.1.1	По задающему воздействию $g(t)$	17
4.1.2	По возмущающему воздействию $f(t)$	17
4.2	Вещественная частотная передаточная функция (ВЧПФ) САУ.....	18
4.2.1	По задающему воздействию $g(t)$	18
4.2.2	По возмущающему воздействию $f(t)$	18
4.3	Мнимая частотная передаточная функция (МЧПФ) САУ.....	18
4.3.1	По задающему воздействию $g(t)$	18
4.3.2	По возмущающему воздействию $f(t)$	19
4.4	Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) САУ.....	19
4.4.1	По задающему воздействию $g(t)$	19
4.4.2	По возмущающему воздействию $f(t)$	19
4.5	Фазовая частотная характеристика (ФЧХ) САУ.....	20
4.5.1	По задающему воздействию $g(t)$	20
4.5.2	По возмущающему воздействию $f(t)$	20
4.6	Логарифмическая амплитудно-частотная характеристика (ЛАЧХ) САУ.....	20
4.6.1	По задающему воздействию $g(t)$	20
4.6.2	По возмущающему воздействию $f(t)$	20
5	Расчет переходных процессов (ПП).....	21
5.1	Расчет ПП аналитическим способом.....	21

					<i>Курсовой проект</i>			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.					КемТИПП гр. АМ-041			
Провер.		Федосенков Б.А.						
Реценз.								
Н. Контр.								
Утверд.								
					Лит.	Лист	Листов	
						2	49	

5.1.1	По задающему воздействию $g(t)$	21
5.1.2	По возмущающему воздействию $f(t)$	23
5.2	Расчет ПП графическим способом.....	25
5.2.1	По задающему воздействию $g(t)$	25
5.3	Расчет ПП машинным способом.....	28
5.3.1	По задающему воздействию $g(t)$	28
5.3.2	По возмущающему воздействию $f(t)$	29
5.3.3	По обоим воздействиям одновременно	30
6	Оценка устойчивости САУ.....	31
6.1	Оценка устойчивости САУ по корням характеристического полинома ПФ.....	31
6.2	Оценка устойчивости САУ по критерию Гурвица.....	32
6.3	Оценка устойчивости САУ по методу Рауса.....	33
6.4	Оценка устойчивости САУ по Михайлову.....	34
6.4.1	Оценка устойчивости САУ по следствию Михайлова.....	34
6.5	Оценка устойчивости САУ методом D-разбиения.....	35
7	Расчёт САУ по методу переменных состояний(МПС)	37
7.1	Управляемость и Наблюдаемость.....	37
7.2	МПС в реализации по развѐнутой структурной схеме.....	39
7.3	МПС в реализации по Фробениусу с выделением БДЧ и ДЧ.....	42
8	Оценка параметров режима автоколебаний в нелинейной САУ.....	44
	Заключение	49
	Список используемой литературы.....	50

1. Исходные данные

1.1 Исходная блочная структурная схема (БСС)

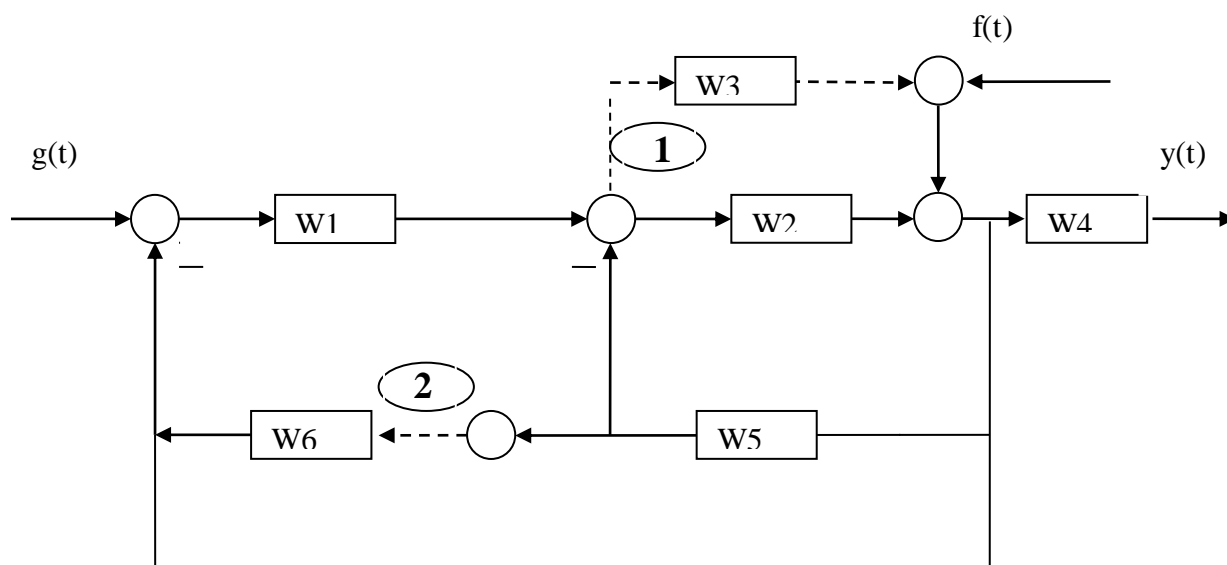


Рисунок 1.1-Исходная БСС.

1.2. Фактическая расчетная БСС.

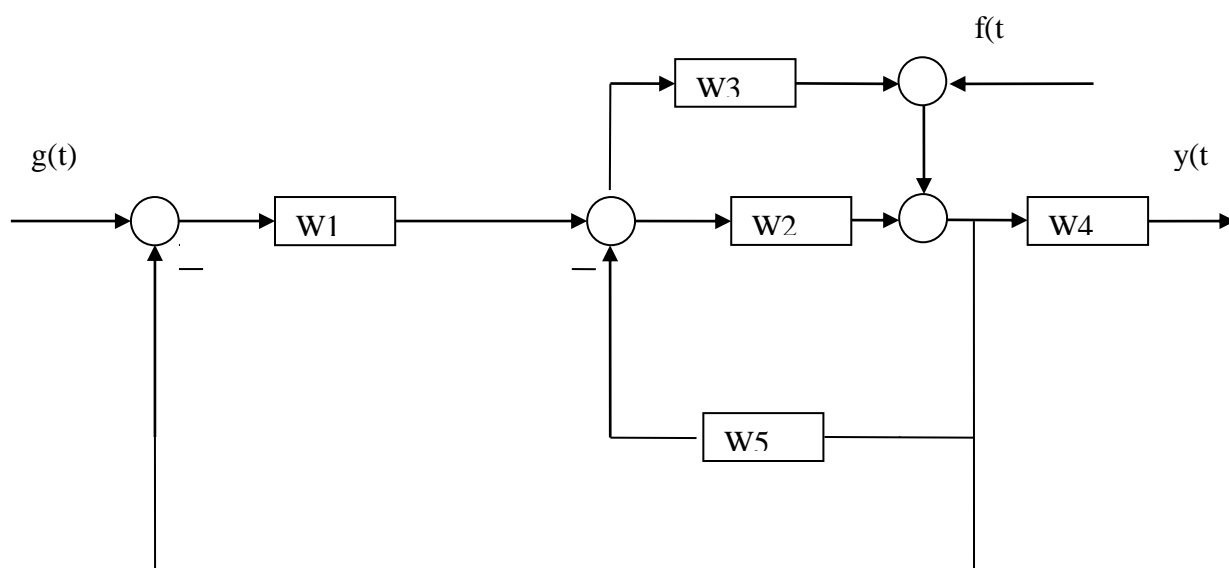


Рисунок 1.2-Расчетная БС

1.3. Передаточные функции звеньев системы.

Таблица 1- Характеристики звеньев

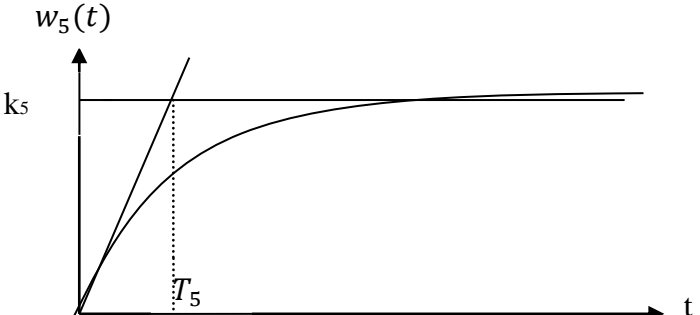
Номер звена	Характеристика звена
1	$T_{12}^2 \frac{d^2 y_1(t)}{dt^2} + T_{11} \frac{dy_1(t)}{dt} + y_1(t) = k_1 * x_1(t)$
2	$(T_2 p + 1) * y_2(t) = k_2 p * x_2(t)$
3	$W_3(s) = k_3$
4	$W_4(s) = \frac{k_4}{T_4 s + 1}$
5	

Таблица 2- Численные значения параметров

Наименование параметра	Значение параметра	Наименование параметра	Значение параметра
k_1	1	k_5	0,2
T_{11}	12	T_5	4
T_{12}	10	X_m	0,8
k_2	0,4	w	6,5
T_2	2	K	0,5
k_3	0,8	y_m	2,0
k_4	1.8	a	1,0
T_4	2		

1.3.1 Заданные передаточные функции звеньев автоматики

1-е звено:

$$T_{12}^2 \frac{d^2 y_1(t)}{dt^2} + T_{11} \frac{dy_1(t)}{dt} + y_1(t) = k_1 * x_1(t)$$

$$(T_{12}^2 \cdot p^2 + T_{11} \cdot p + 1) \cdot y_1(t) = k_1 \cdot x_1(t)$$

$$T_{12}^2 \cdot p^2 \cdot y_1(t) + T_{11} \cdot p \cdot y_1(t) + y_1(t) = k_1 \cdot x_1(t)$$

$$p = \frac{d}{dt}$$

$$T_{12}^2 \cdot S^2 \cdot y_1(S) + T_{11} \cdot S \cdot y_1(S) + y_1(S) = k_1 \cdot x_1(S)$$

$$W_1(S) = \frac{y_1(S)}{x_1(S)} = \frac{k_1}{T_{12}^2 \cdot S^2 + T_{11} \cdot S + 1} = \frac{1}{100 \cdot S^2 + 12 \cdot S + 1}$$

2-е звено :

$$(T_2 p + 1) * y_2(t) = k_2 p * x_2(t)$$

$$\frac{y_2(t)}{x_2(t)} = \frac{k_2 p}{(T_2 p + 1)};$$

$$W_2(S) = \frac{k_2 S}{T_2 S + 1};$$

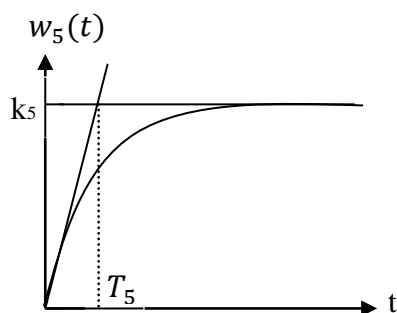
3-е звено:

$$W_3(s) = k_3$$

4-е звено:

$$W_4(S) = \frac{k_4}{T_4 S + 1} \quad \text{АП-1(реальный усилитель)}$$

5-е звено:



$$w_5(t) = k_5 \left(1 - e^{-\frac{t}{T_5}} \right);$$

$$w_5(t) = W_5(S) = \frac{k_5}{S} - \frac{k_5}{S + \frac{1}{T_5}} = \frac{k_5}{S} - \frac{T_5 k_5}{T_5 S + 1} = \frac{T_5 S k_5 + k_5 - T_5 S k_5}{S(T_5 S + 1)} = \frac{k_5}{S(T_5 S + 1)};$$

1.4 Внешние воздействия

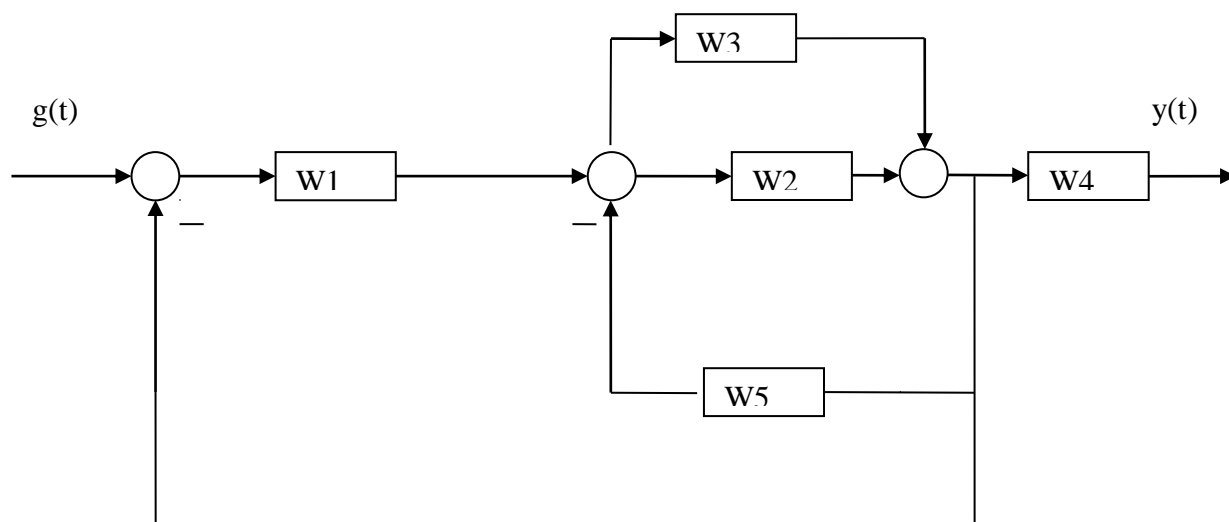
Задающее воздействие: $g(t) = X_m * \cos(\omega t)$ $g(S) = \frac{X_m S}{S^2 + \omega^2} = \frac{0.8 * S}{S^2 + 42.25}$

Возмущающее воздействие: $f(t) = k * t$ $f(S) = \frac{k}{S^2} = \frac{0.5}{S^2}$

					Курсовой проект	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		7

2. Расчет скалярных передаточных функций

2.1 Расчет ПФ топологическим способом (по формуле Мейсона)



Формула Мейсона:
$$W(S)_y = \frac{\sum_{i=1}^r H_i(S) \cdot \Phi_i(S)}{\Phi(S)}$$

где $H_i(S)$ - ПФ разомкнутого одиночного контура;

r - число каналов;

$\Phi_i(S)$ - определитель графа, вырожденный по отношению к i -му каналу;

$$\Phi(S) = 1 - \sum_{i=1}^{r_1} H_{ij}(S)$$

где $H_{ij}(S)$ - ПФ i -го канала;

r_1 - число одиночных контуров.

2.2.1 По задающему воздействию g(t)

1. три одиночных контура (j=1, r₁=2);
2. два канала (i=1, r=2);
3. отсутствуют пары, тройки и т.д. (r₂=r₃=...=0).

ПФ одиночных контуров:

$$j = 1 \quad H_{11}(S) = -W_2(S) * W_5(S)$$

$$j = 2 \quad H_{12}(S) = -W_1(S) * W_2(S) * W_5(S)$$

$$j = 3 \quad H_{13}(S) = -W_1(S) * W_2(S) * W_6(S)$$

$$r_2=0; \text{ значит, } \sum_{k=1}^{r_2} H_{2k} = 0;$$

$$r_3=0; \text{ следовательно, } \sum_{l=1}^{r_3} H_{3k} = 0.$$

$$\hat{O}(S) = 1 - H_{11}(S) - H_{12}(S) - H_{13}(S) = 1 + W_2(S)W_5(S) + W_2(S)W_1(S)W_5(S) + W_1(S)W_2(S)$$

Количество каналов r=2, следовательно:

$$H_1(S) = W_1(S)W_2(S)W_4(S);$$

$$H_{21}(S) = W_1(S)W_3(S)W_4(S).$$

$$\Phi_1(S) = \Phi_2(S) = 1.$$

В итоге получаем ПФ системы:

$$W_{yg}(S) = \frac{W_1(S)W_4(S) \cdot [W_2(S) + W_3(S)]}{1 + W_2(S)W_5(S) + W_1(S)W_2(S)W_5(S) + W_1(S)W_2(S)}.$$

ПФ в виде общих обозначений параметров САУ

$$W_{yg}(S) = f\{k_i; t_i; \tau_i\} = \frac{f_1\{k_i; t_i; \tau_i\}}{f_2\{k_i; t_i; \tau_i\}} = \frac{G(S)}{D(S)}$$

$$\begin{aligned} W_{yg}(S) &= \frac{\frac{k_1}{T^2_{12}S^2 + T_{11}S + 1} \cdot \frac{k_4}{T_4S + 1} \cdot \left[\frac{k_2}{T_2S + 1} + k_3 \right]}{1 + \frac{k_2S}{T_2S + 1} \frac{k_5}{T_5S^2 + S} + \frac{k_1}{T^2_{12}S^2 + T_{11}S + 1} \frac{k_2}{T_2S + 1} \frac{k_5}{T_5S^2 + S} + \frac{k_1}{T^2_{12}S^2 + T_{11}S + 1} \frac{k_2}{T_2S + 1}} = \\ &= \frac{\left[\frac{k_1 \cdot k_4}{(T^2_{12}S^2 + T_{11}S + 1) \cdot (T_4S + 1)} \right] \cdot \left[\frac{k_2 + k_3(T_2S + 1)}{T_2S + 1} \right]}{1 + \frac{k_2S \cdot k_5}{(T_2S + 1)(T_5S^2 + S)} + \frac{k_1 \cdot k_2S \cdot k_5}{(T^2_{12}S^2 + T_{11}S + 1)(T_2S + 1)(T_5S^2 + S)} + \frac{k_1 \cdot k_2S}{(T^2_{12}S^2 + T_{11}S + 1)(T_2S + 1)}} = \\ &= \frac{\frac{k_1 \cdot k_4 \cdot (k_2 + k_3(T_2S + 1))}{(T^2_{12}S^2 + T_{11}S + 1) \cdot (T_4S + 1)(T_2S + 1)}}{(T^2_{12}S^2 + T_{11}S + 1)(T_2S + 1)(T_5S^2 + S) + k_2S \cdot k_5(T^2_{12}S^2 + T_{11}S + 1) + k_1 \cdot k_2S \cdot k_5 + k_1 \cdot k_2S(T_5S^2 + S)} = \\ &= \frac{k_1 \cdot k_4 \cdot (k_2 + k_3(T_2S + 1))(T_5S^2 + S)}{((T^2_{12}S^2 + T_{11}S + 1)(T_2S + 1)(T_5S^2 + S) + k_2S \cdot k_5(T^2_{12}S^2 + T_{11}S + 1) + k_1 \cdot k_2S \cdot k_5 + k_1 \cdot k_2S(T_5S^2 + S)) \cdot (T_4S + 1)} \end{aligned}$$

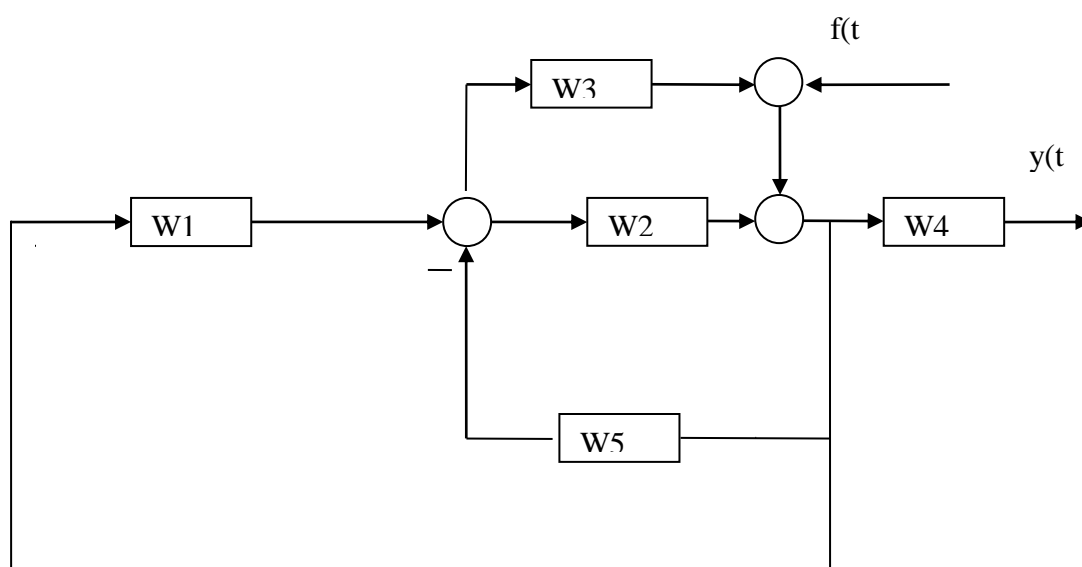
ПФ в параметрической форме:

$$W_{gy}(S) = \frac{k_4 k_1 k_3 T_1 T_5 S^3 + (T_1 + T_5) k_1 k_4 k_3 S^2 + (T_{12}^2 T_4 T_5 T_2) S^6 + (T_{12}^2 (T_2 + T_5) + T_{11} T_2 T_5) T_4 S^5 + T_{12}^2 (k_2 k_3 + k_2 k_3 T_2 + T_5 + T_2 T_5 + T_{11} (T_5 + T_2) + k_5 T_5 + T_5 k_3 T_2) S^4 + k_1 k_4 k_2 S + k_1 k_4 k_3}{(T_{12}^2 k_5 k_3 + T_{12}^2 (k_5 k_2 + k_5 k_2 T_2 + 1) + T_2 + T_5 + k_2 + k_3 T_2 + k_3 T_5) T_4 S^3 + (k_5 k_3 T_{11} + k_5 k_2 + k_5 T_2 + 1 + k_3) T_4 S^2 + k_5 k_3 T_4 S + k_5 k_3}$$

ПФ в числовой форме

$$W_{об}(S) = \frac{14.4 * S^3 + 9.36 * S^2 + 1.44 * S}{1600 * S^6 + 2192 * S^5 + 1152 * S^4 + 316 * S^3 + 52.24 * S^2 + 4.44 * S + 0.16}$$

2.2.2 По возмущающему воздействию f(t)



$$\Phi(s) = 1 - \sum_{j=1}^{r_1} H_{1j}(s) + \sum_{k=1}^{r_2} H_{2k}(s) - \sum_{l=1}^{r_3} H_{3l}(s) + \dots$$

1. три одиночных контура (j=1, r₁=2);
2. один канал (i=1, r=1);
3. отсутствуют пары, тройки и т.д. (r₂=r₃=...=0).

ПФ одиночных контуров:

$$j = 1 \quad H_{11}(S) = -W_2(S) * W_5(S)$$

$$j = 2 \quad H_{12}(S) = -W_1(S) * W_2(S) * W_6(S)$$

$$j = 3 \quad H_{13}(S) = -W_1(S) * W_5(S) * W_6(S)$$

$$r_2=0; \text{ значит, } \sum_{k=1}^{r_2} H_{2k} = 0;$$

$r_3 = 0$; следовательно, $\sum_{l=1}^{r_3} H_{3k} = 0$.

$$\Phi(S) = 1 - H_{11}(S) - H_{12}(S) - H_{13} = 1 + W_2(S) * W_5(S) + W_1(S) * W_2(S) * W_6(S) + W_1(S) * W_5(S) * W_6(S)$$

Количество каналов $r=1$, следовательно:

$$H_1(S) = W_4$$

В итоге получаем ПФ системы:

$$W_{yf}(S) = \frac{W_4(S)}{1 + W_2(S)W_5(S) + W_1(S)W_2(S)W_6(S) + W_1(S)W_5(S)}$$

ПФ в виде общих обозначений параметров САУ

$$W_{yf}(S) = f\{k_i; t_i; \tau_i\} = \frac{f_1\{k_i; t_i; \tau_i\}}{f_2\{k_i; t_i; \tau_i\}} = \frac{G(S)}{D(S)}$$

$$W_{fy}(S) = \frac{\frac{k_4}{T_4 S + 1}}{1 + \frac{k_1}{T_{12}^2 S^2 + T_{11} S + 1} * \frac{k_2 S}{T_2 S + 1} + \frac{k_5}{T_5 S^2 + S} * \frac{k_2 S}{T_2 S + 1} + \frac{k_1}{T_{12}^2 S^2 + T_{11} S + 1} * \frac{k_5}{T_5 S^2 + S}}$$

$$W_{fy}(S) = \frac{((T_{12}^2 S^2 + T_{11} S + 1) * (T_5 S^2 + S) * (T_2 S + 1) + k_2 S k_5 (T_{12}^2 S^2 + T_{11} S + 1)) * k_4}{(T_{12}^2 S^2 + T_{11} S + 1) * (T_5 S^2 + S) * (T_2 S + 1) * (T_4 S + 1)}$$

$$W_{fy}(S) = \frac{T_{12}^2 T_5 T_2 S^5 + (T_{12}^2 T_5 + T_{12}^2 T_2 + T_{12}^2 T_5 T_2) S^4 + (T_{11} T_2 + T_{12}^2 + T_{11} T_2 + T_5 T_2 + T_{12}^2 k_2 k_4 k_5) S^3}{(T_{12}^2 T_4 T_5 T_2) S^6 + (T_{12}^2 (T_2 + T_5) + T_{11} T_2 T_5) T_4 S^5 + T_{12}^2 (k_2 k_3 + k_2 k_3 T_2 + T_5 + T_2 T_5 + T_{11} (T_5 + T_2) + k_5 T_5 + T_5 k_3 T_2) S^4 + (T_{11} + T_5 + T_2 + k_2 k_4 k_5 T_{11}) S^2 + k_2 k_4 k_5 S} + \frac{(T_{12}^2 k_5 k_3 + T_{12}^2 (k_5 k_2 + k_5 k_2 T_2 + T_5) + T_2 + T_5 + k_2 + k_3 T_2 + k_3 T_5) T_4 S^3 + (k_5 k_3 T_{11} + k_5 k_2 + k_5 T_2 + 1 + k_3) T_4 S^2 + k_5 k_3 T_4 S + k_5 k_3}{(T_{12}^2 T_4 T_5 T_2) S^6 + (T_{12}^2 (T_2 + T_5) + T_{11} T_2 T_5) T_4 S^5 + T_{12}^2 (k_2 k_3 + k_2 k_3 T_2 + T_5 + T_2 T_5 + T_{11} (T_5 + T_2) + k_5 T_5 + T_5 k_3 T_2) S^4 + (T_{11} + T_5 + T_2 + k_2 k_4 k_5 T_{11}) S^2 + k_2 k_4 k_5 S}$$

ПФ в числовой форме

$$W_{fy}(S) = \frac{1440 * S^5 + 1252.8 * S^4 + 324 * S^3 + 32.4 * S^2 + 1.8 * S}{1600 * S^6 + 2192 * S^5 + 1132.8 * S^4 + 303.68 * S^3 + 50.72 * S^2 + 4.36 * S + 0.16}$$

					Курсовой проект	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		11

2.2 Расчет ПФ на компьютере

2.2.1 По задающему воздействию $g(t)$

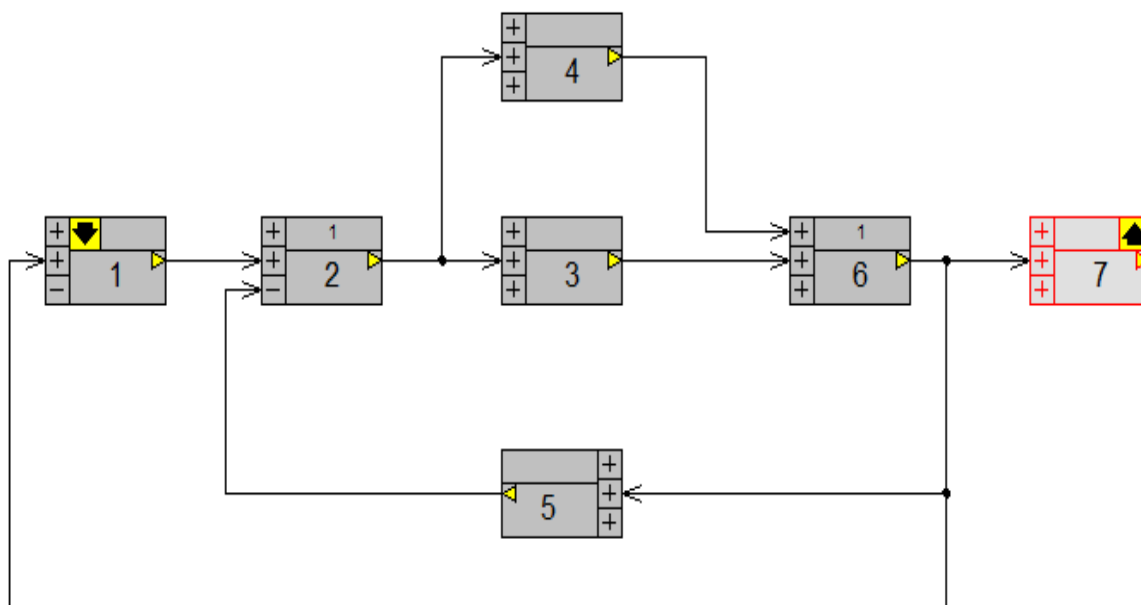
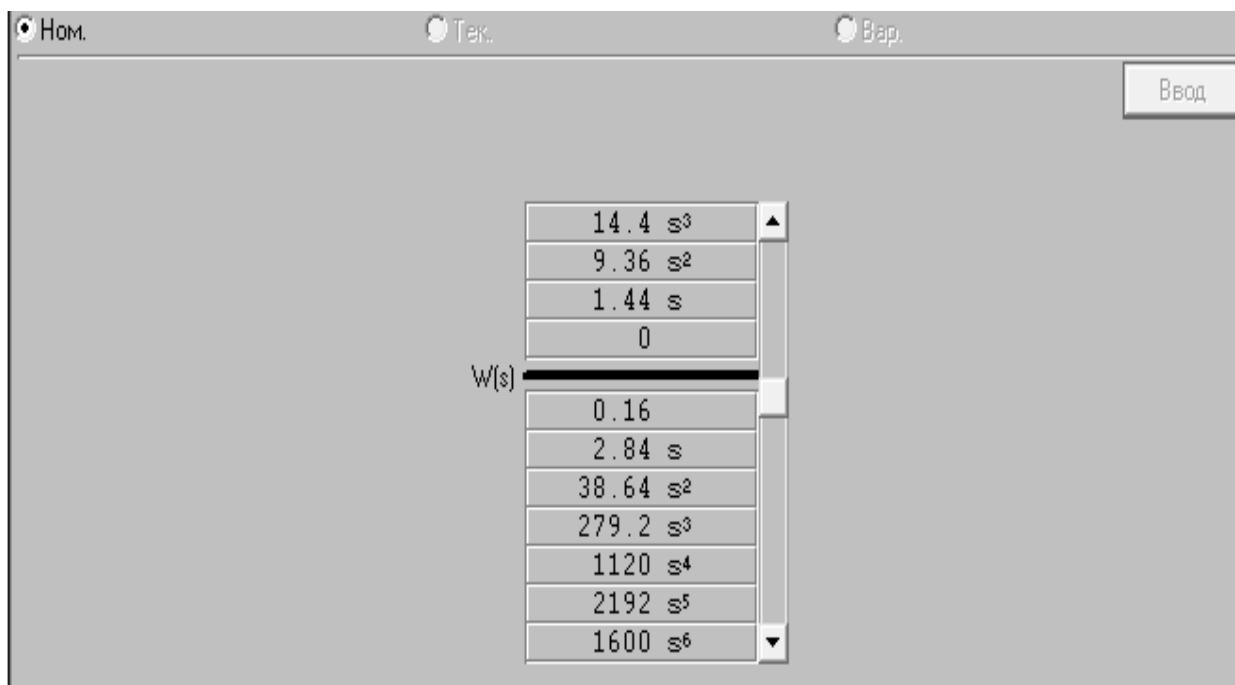


Рисунок 2.3(а)- Модель САУ в Classic



2.2.2 По возмущающему воздействию $f(t)$

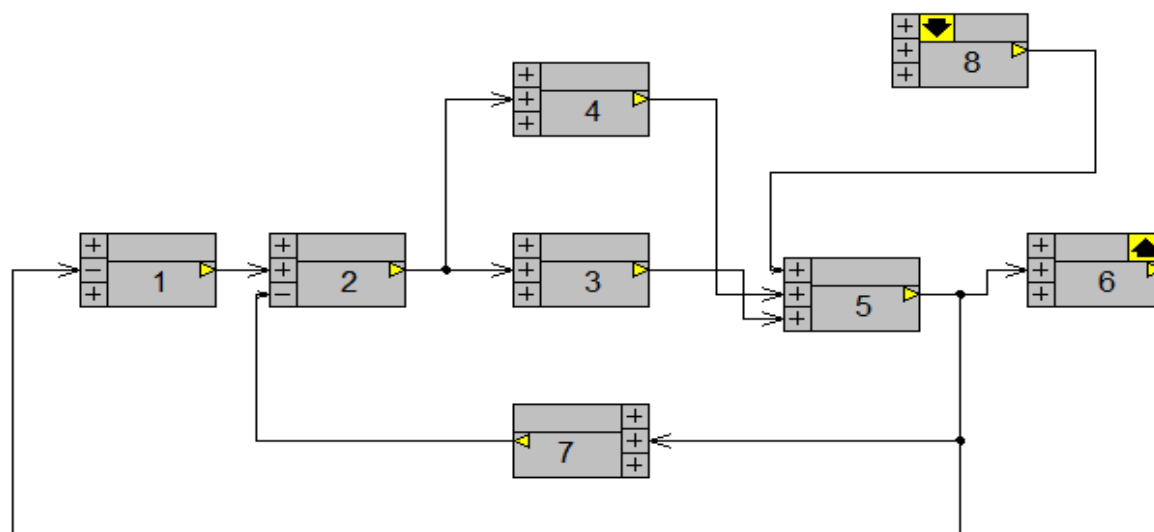
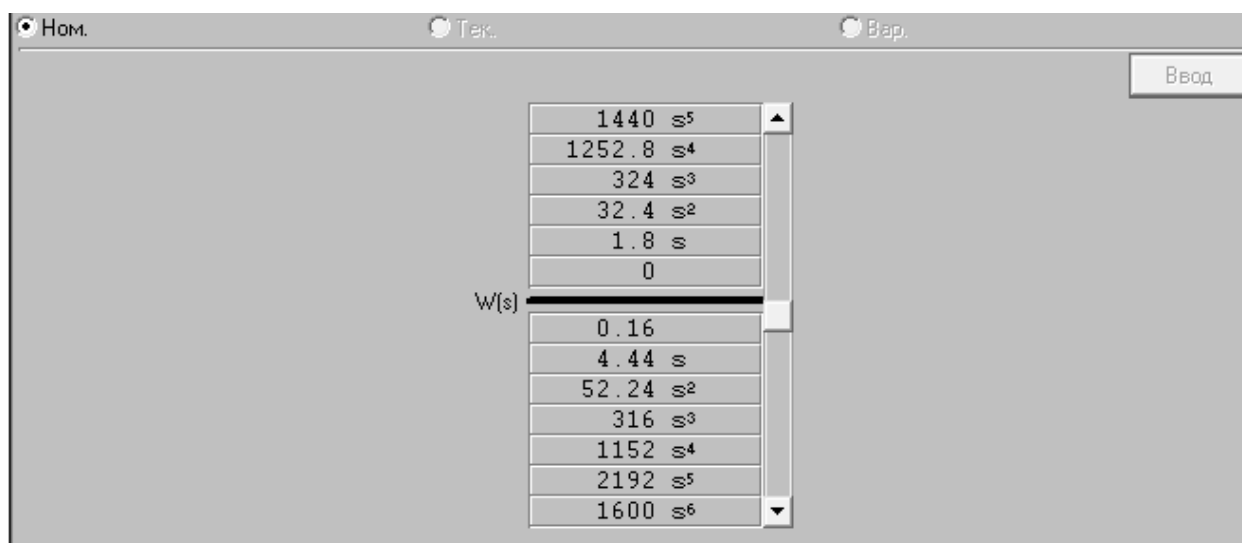


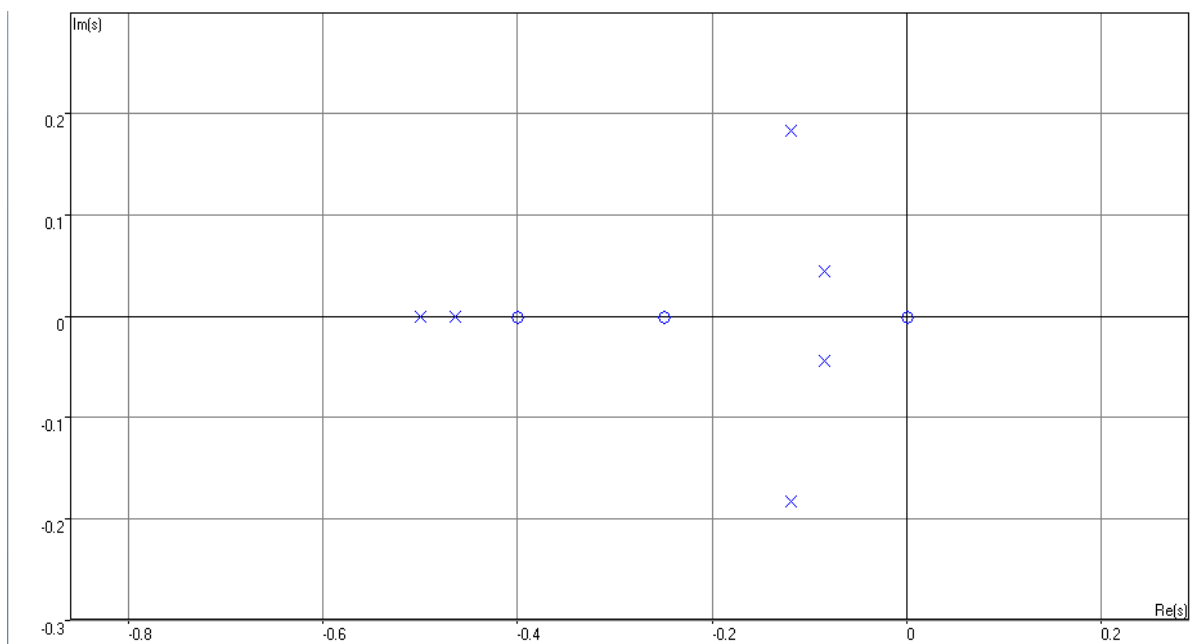
Рисунок 2.3(б)- Модель САУ в Classic



Вывод: ПФ, полученные при расчете на компьютере и топологическим способом, являются идентичными. Вследствие чего можно сделать вывод о том, что ПФ для нашей САУ найдены правильно, как по задающему, так и по возмущающему воздействию.

3. Расчет нулей и полюсов ПФ

3.1 По задающему воздействию $g(t)$



Ном.Система :

Нули:

$$z1 = 0.000000$$

$$z2 = -0.250000$$

$$z3 = -0.400000$$

Полюсы:

$$p1 = -0.084389 + 0.044181j$$

$$p2 = -0.084389 - 0.044181j$$

$$p3 = -0.464000$$

$$p4 = -0.118611 + 0.182855j$$

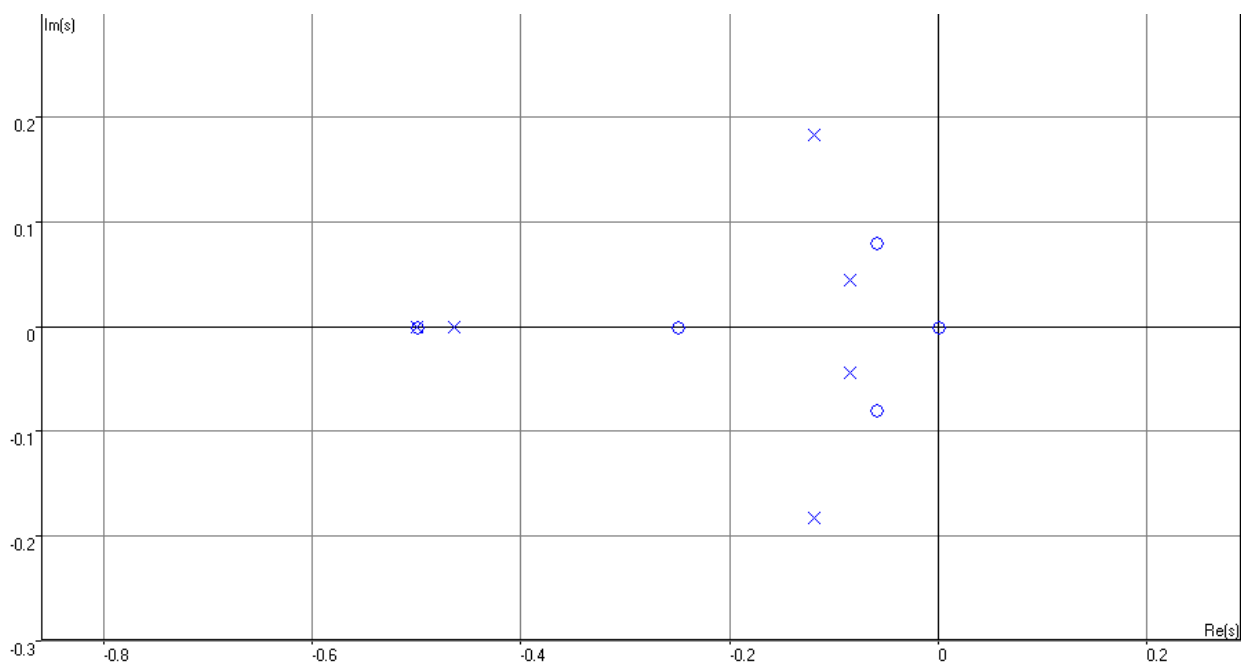
$$p5 = -0.118611 - 0.182855j$$

$$p6 = -0.500000$$

Абсолютное затухание: 0.084

Относительное затухание: 1.542

3.2 По возмущающему воздействию $f(t)$



Ном. Система

Нули:

$$z_1 = 0.000000$$

$$z_2 = -0.250000$$

$$z_3 = -0.060000 + 0.080000j$$

$$z_4 = -0.060000 - 0.080000j$$

$$z_5 = -0.500000$$

Полюсы:

$$p_1 = -0.084389 + 0.044181j$$

$$p_2 = -0.084389 - 0.044181j$$

$$p_3 = -0.464000$$

$$p_4 = -0.118611 + 0.182855j$$

$$p_5 = -0.118611 - 0.182855j$$

$$p_6 = -0.500000$$

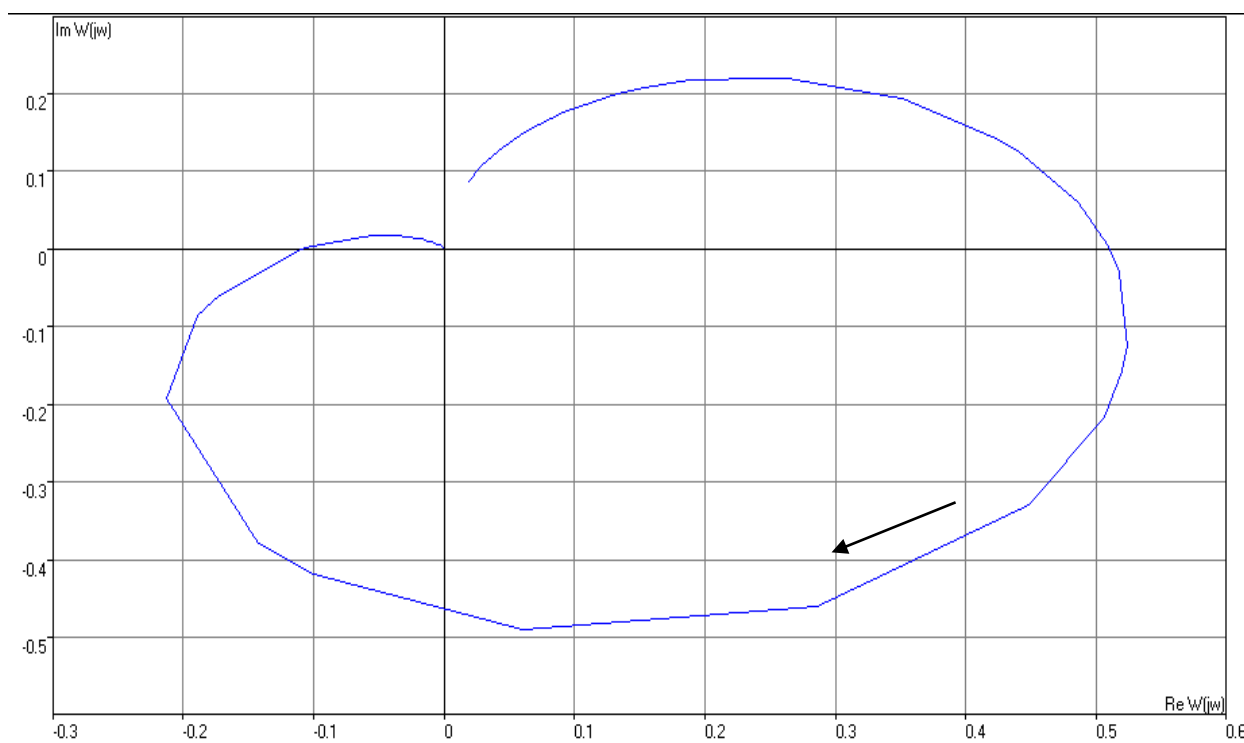
Абсолютное затухание: 0.084

Относительное затухание: 1.542

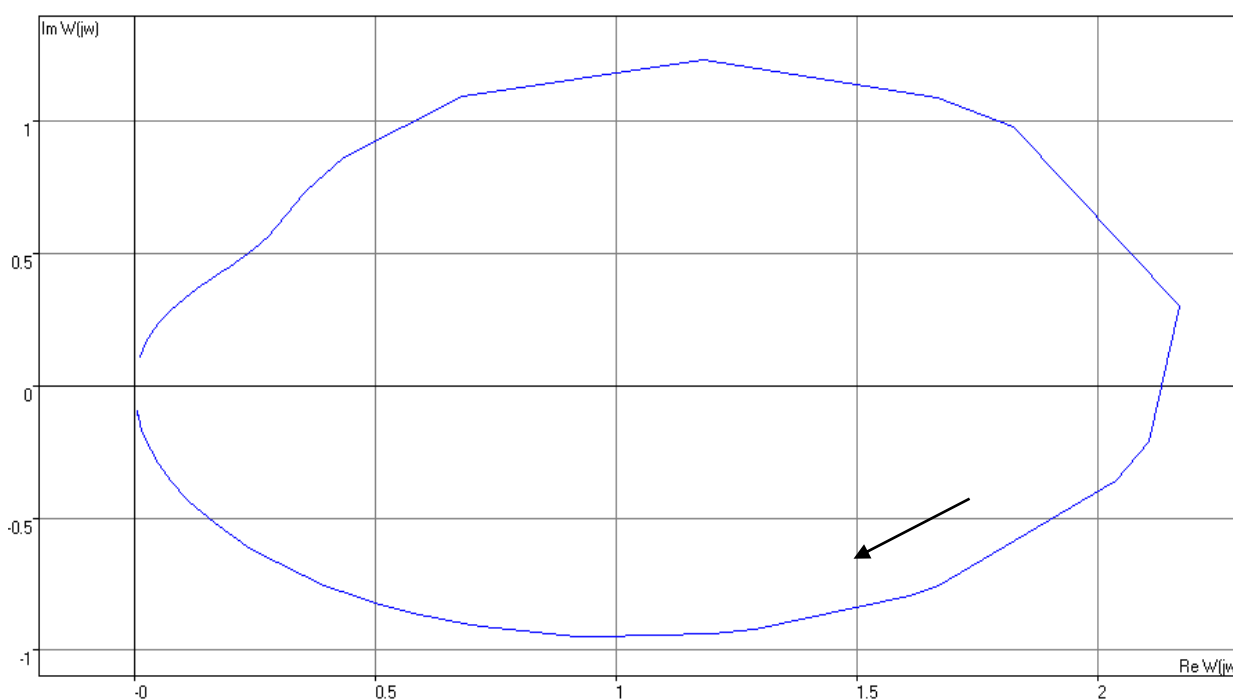
4. Частотный анализ

4.1 Годограф частотной передаточной функции (ЧПФ) САУ

4.1.1 По задающему воздействию $g(t)$

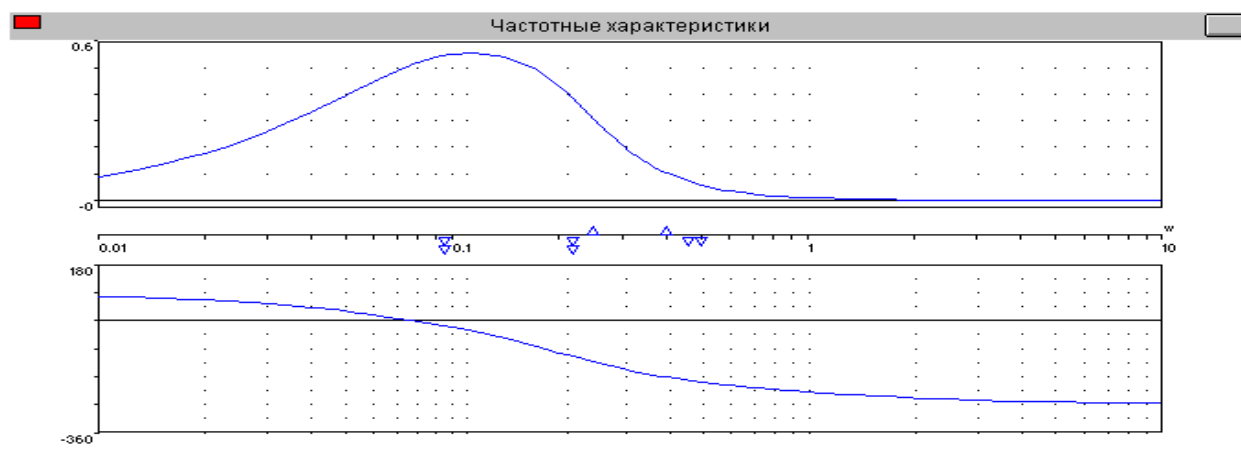


4.1.2 По возмущающему воздействию $f(t)$

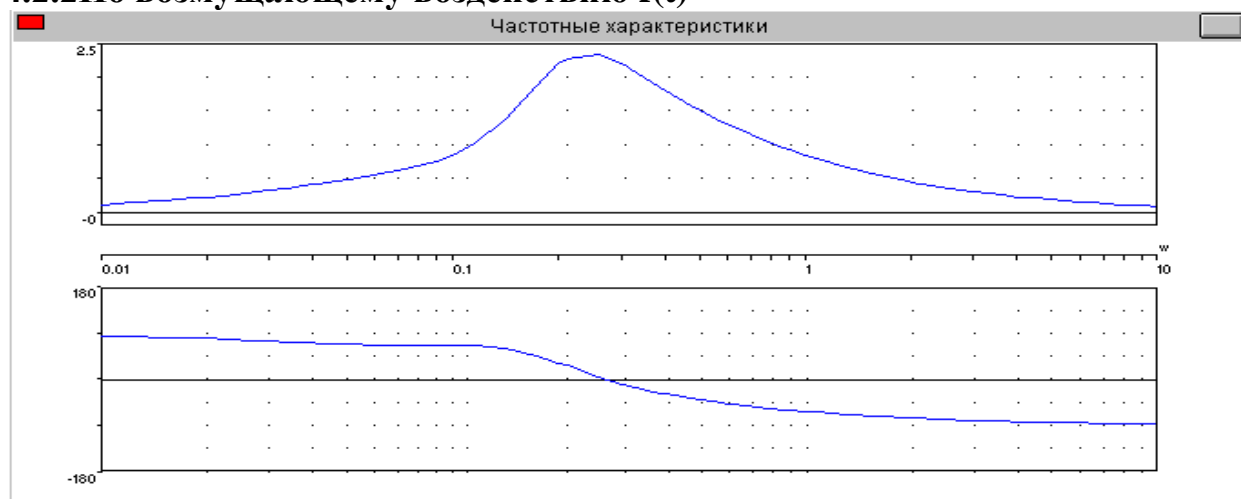


4.2 Фазовая частотная характеристика (ФЧХ) САУ

4.2.1 По задающему воздействию $g(t)$



4.2.2 По возмущающему воздействию $f(t)$

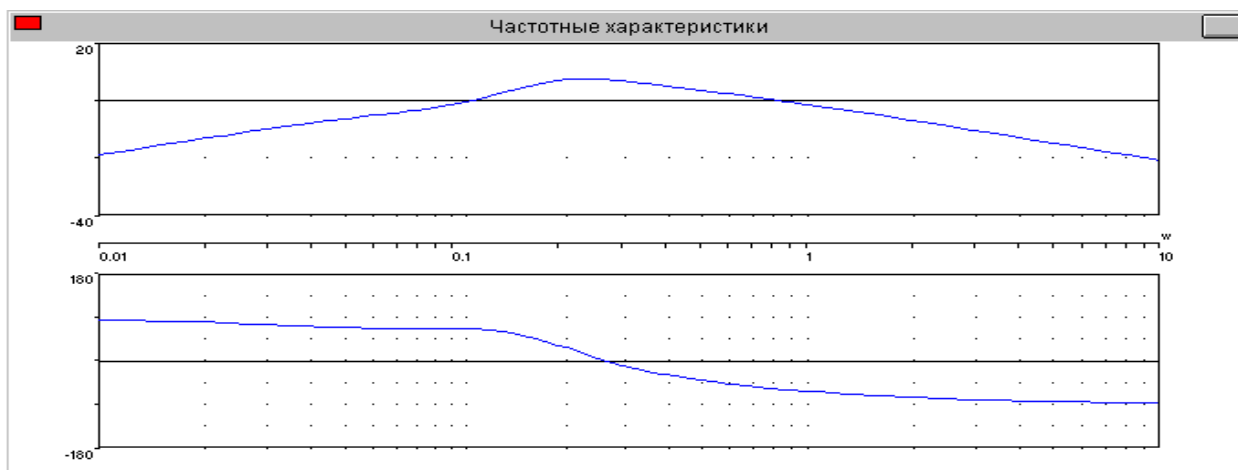


4.3 Логарифмическая амплитудно-частотная характеристика (ЛАЧХ) САУ

4.3.1 По задающему воздействию $g(t)$

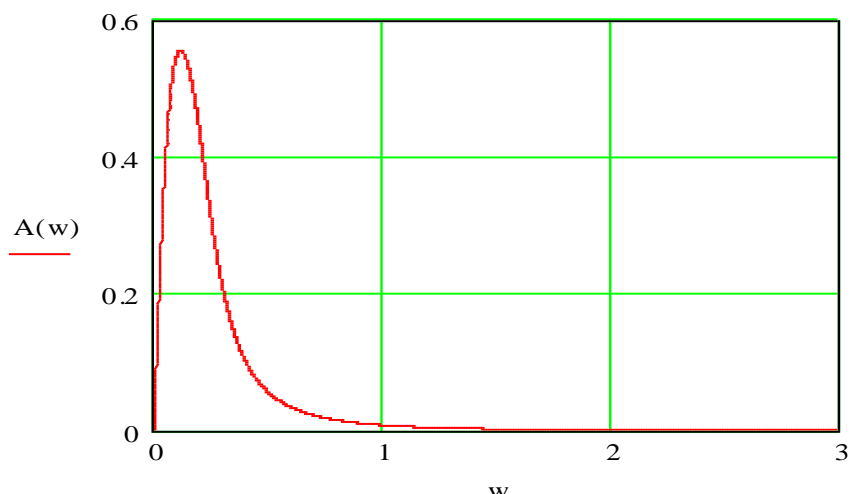


4.3. По возмущающему воздействию $f(t)$

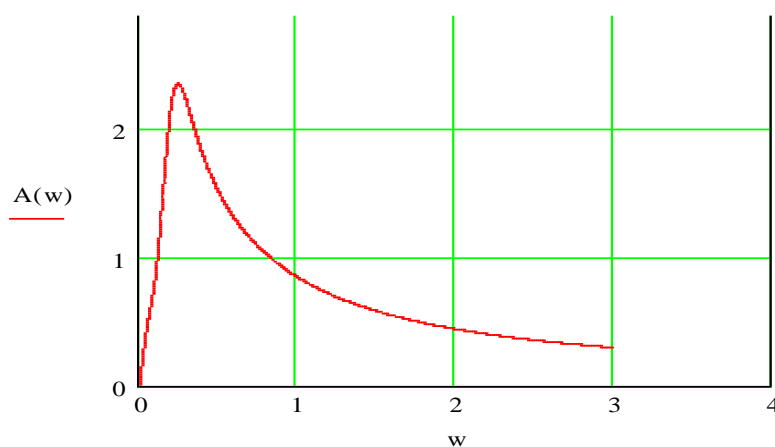


4.4 Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) САУ

5.4.1 По задающему воздействию $g(t)$

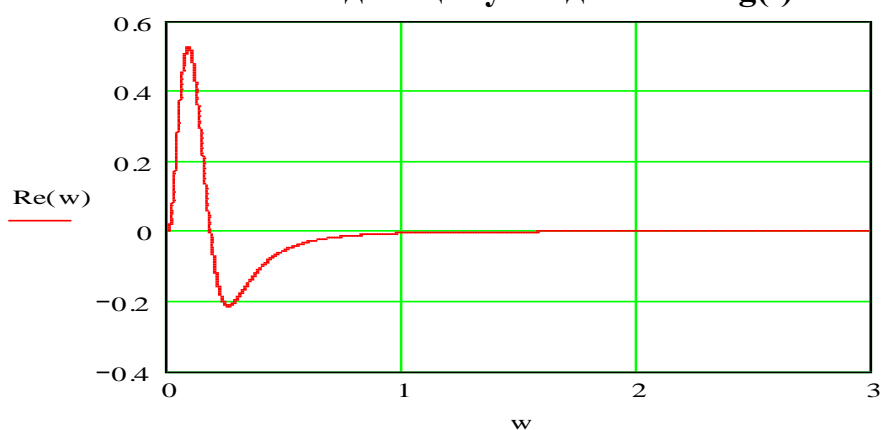


4.4.2. По возмущающему воздействию $f(t)$

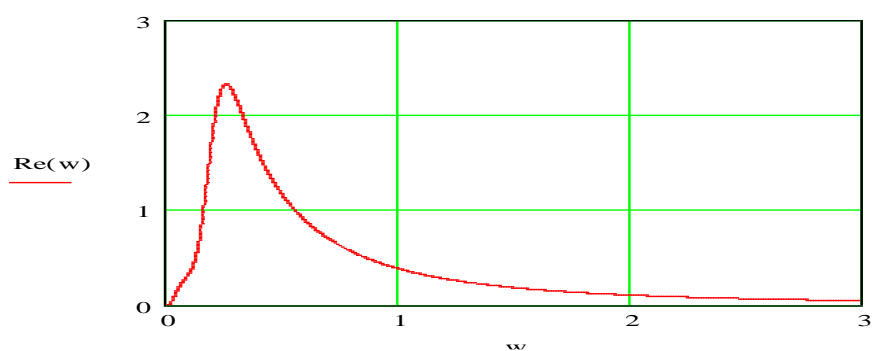


4.5 Вещественная частотная передаточная функция (ВЧПФ) САУ

4.5.1 По задающему воздействию $g(t)$

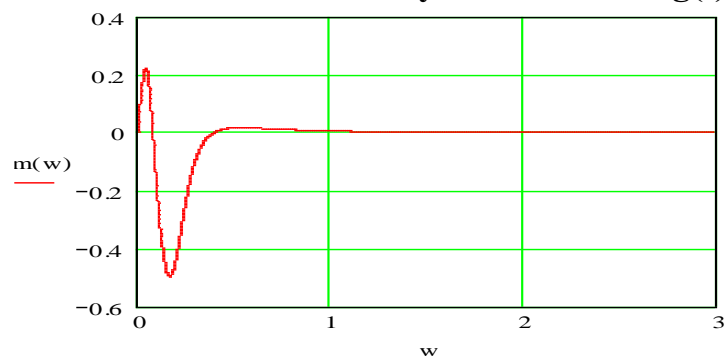


4.5.2 По возмущающему воздействию $f(t)$

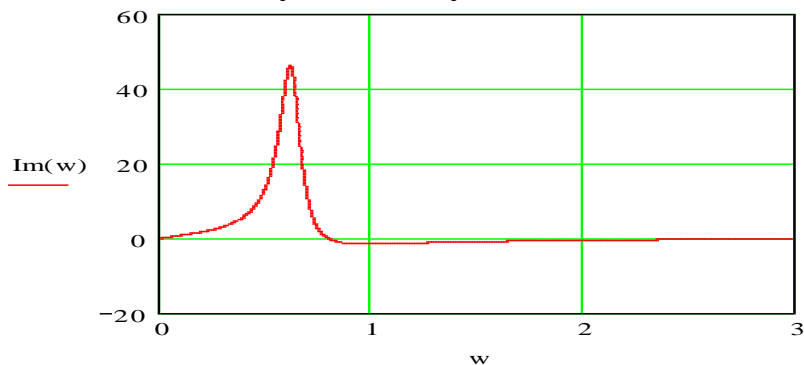


4.6 Мнимая частотная передаточная функция (МЧПФ) САУ

4.6.1 По задающему воздействию $g(t)$



4.6.2 По возмущающему воздействию $f(t)$



4 Расчет переходных процессов (ПП)

4.1 Расчет ПП аналитическим способом

Формула Хэвисайда:
$$h(t) = \sum \frac{1}{(n_k - 1)!} \cdot \lim_{S \rightarrow S_k} \left[(S - S_k)^{n_k} \cdot y(S) \cdot e^{S \cdot t} \right]^{(n_k - 1)}$$

где k – номер полюса;

S_k - k -ые полюсы функции $h(s)$;

n – общее число полюсов;

n_k – количество одинаковых полюсов с номером k ;

q – число разных полюсов изображения.

4.1.1 По задающему воздействию $g(t)$

$$g(s) = \frac{X_m S}{S^2 + \omega^2} = \frac{0.8 \cdot S}{S^2 + 42.25} \quad g(s) = \frac{0.8 \cdot s^2}{s^2 + 42.25}$$

Передаточная функция имеет вид:

$$W_{об}(S) = \frac{14.4 \cdot S^3 + 9.36 \cdot S^2 + 1.44 \cdot S}{1600 \cdot S^6 + 2192 \cdot S^5 + 1152 \cdot S^4 + 316 \cdot S^3 + 52.24 \cdot S^2 + 4.44 \cdot S + 0.16}$$

Переходный процесс: $y(s) = W_{yg}(s) \cdot g(s)$

$$y(s) = \frac{14.4 \cdot S^3 + 9.36 \cdot S^2 + 1.44 \cdot S}{1600 \cdot S^6 + 2192 \cdot S^5 + 1152 \cdot S^4 + 316 \cdot S^3 + 52.24 \cdot S^2 + 4.44 \cdot S + 0.16} \cdot \frac{0.8 \cdot S^2}{S^2 + 42.25}$$

$$y(s) = \frac{11.52 \cdot S^5 + 7.488 \cdot S^4 + 1.152 \cdot S^3}{1600 \cdot S^8 + 2192 \cdot S^7 + 68752 \cdot S^6 + 92928 \cdot S^5 + 48724 \cdot S^4 + 13355 \cdot S^3 + 2207.3 S^2 + 187.59 S + 6.76}$$

Корни ХП имеют вид:

$$\begin{aligned} p_1 &= -0.084389 + 0.044181j \\ p_2 &= -0.084389 - 0.044181j \\ p_3 &= -0.500000 \\ p_4 &= -0.118611 + 0.182855j \\ p_5 &= -0.118611 - 0.182855j \\ p_6 &= -0.464000 \\ p_7 &= 0.000000 + 6.500000j \\ p_8 &= 0.000000 - 6.500000j \end{aligned}$$

Подставляем все данные в формулу Хэвисайда и находим ПП по

$$y(t) := \lim_{S \rightarrow -0.084 + 0.044j} (S + 0.084 - 0.044j) \times \frac{(11.52S^5 + 7.488S^4 + 1.152S^3) \cdot e^{S \cdot t}}{1600(S + 0.084 - 0.044j) \cdot (S + 0.084 + 0.044j)(S + 0.5)(S + 0.1186 - 0.1828j)(S + 0.1186 + 0.1828j)(S + 0.464)(S - 6.5j)(S + 6.5j)}$$

$$+ \lim_{S \rightarrow -0.084 - 0.044j} (S + 0.084 + 0.044j) \times \frac{(11.52S^5 + 7.488S^4 + 1.152S^3) \cdot e^{S \cdot t}}{1600(S + 0.084 - 0.044j) \cdot (S + 0.084 + 0.044j)(S + 0.5)(S + 0.1186 - 0.1828j)(S + 0.1186 + 0.1828j)(S + 0.464)(S - 6.5j)(S + 6.5j)}$$

+

$$\lim_{S \rightarrow -0.5} (S + 0.5) \cdot \frac{(11.52S^5 + 7.488S^4 + 1.152S^3) \cdot e^{S \cdot t}}{1600(S + 0.084 - 0.044j) \cdot (S + 0.084 + 0.044j)(S + 0.5)(S + 0.1186 - 0.1828j)(S + 0.1186 + 0.1828j)(S + 0.464)(S - 6.5j)(S + 6.5j)}$$

					Курсовой проект	Лист
						20
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$\lim_{S \rightarrow -0.1186 \pm 0.1828j} (S + 0.1186 - 0.1828j) \cdot \frac{(11.52S^5 + 7.488S^4 + 1.152S^3)e^{s \cdot t}}{1600(S + 0.084 - 0.044j) \cdot (S + 0.084 + 0.044j)(S + 0.5(S + 0.1186 - 0.1828j)(S + 0.1186 + 0.1828j)(S + 0.464(S - 6.5j)(S + 6.5j))}$$
$$\lim_{S \rightarrow -0.1186-0.1828j} \frac{(S + 0.1186+ 0.1828j) \cdot \frac{(11.52S^5 + 7.488S^4 + 1.152S^3)e^{S \cdot t}}{1600(S + 0.084- 0.044j) \cdot (S + 0.084+ 0.044j)(S + 0.5)(S + 0.1186- 0.1828j)(S + 0.1186+ 0.1828j)(S + 0.464+ 6.5j)(S + 6.5j)}}$$
$$\lim_{S \rightarrow -0.464} (S + 0.464) \cdot \frac{(11.52S^5 + 7.488S^4 + 1.152S^3) \cdot e^{S \cdot t}}{1600(S + 0.084 - 0.044j) \cdot (S + 0.084 + 0.044j)(S + 0.5)(S + 0.1186 - 0.1828j)(S + 0.1186 + 0.1828j)(S + 0.464(S - 6.5j)(S + 6.5j))}$$
$$\lim_{S \rightarrow 6.5 \cdot j} (S - 6.5 \cdot j) \cdot \frac{\left(11.52S^5 + 7.488 \cdot S^4 + 1.152S^3\right) \cdot e^{s \cdot t}}{1600(S + 0.084 - 0.044j) \cdot (S + 0.084 + 0.044j)(S + 0.5)(S + 0.1186 - 0.1828j)(S + 0.1186 + 0.1828j)(S + 0.464(S - 6.5j)(S + 6.5j))}$$
$$\lim_{S \rightarrow -6.5j} (S + 6.5j) \cdot \frac{(11.52S^5 + 7.488 \cdot S^4 + 1.152S^3) \cdot e^{-S}}{1600(S + 0.084 - 0.044j) \cdot (S + 0.084 + 0.044j)(S + 0.5)(S + 0.1186 - 0.1828j)(S + 0.1186 + 0.1828j)(S + 0.464(S - 6.5j)(S + 6.5j))}$$

[illegible]

$$+ 59793210698986302140^{-4} \cdot \exp(-.50000000000000000000)$$

$$+ .1544784724496180692 \cdot 10^{-9} \cdot \exp[(-.118600000000000000 \cdot 1828. \cdot \text{li}) \cdot t] - 4.2829923945424132734 \cdot 10^{-13} \cdot \text{li} \cdot \exp[(-.118600000000000000 \cdot 1828. \cdot \text{li}) \cdot t]$$

$$+ 2.15447847244961806920^{-9} + 4.28299239454241327340^{-13} \cdot i) \cdot \exp[(-.118600000000000000 - 1828 \cdot i) \cdot t] - 38340047200896100900^{-4} \cdot \exp(-.464000000000000000) -$$

[illegible]

$$.4473834578447718313 \cdot 10^{-5} \exp(-6.5000000000000000 i \cdot t) + 9.372117858131236146 \cdot 10^{-6} \cdot i \cdot \exp(-6.5000000000000000 i \cdot t)$$

5.1.2 По возмущающему воздействию $f(t)$

$$f(S) = \frac{k}{S^2} = \frac{0.5}{S^2}$$

					<i>Курсовой проект</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		21

Передаточная функция имеет вид:

$$W_{fy}(S) = \frac{1440 * S^5 + 1252.8 * S^4 + 324 * S^3 + 32.4 * S^2 + 1.8 * S}{1600 * S^6 + 2192 * S^5 + 1132.8 * S^4 + 303.68 * S^3 + 50.72 * S^2 + 4.36 * S + 0.16}$$

Переходный процесс:

$$y(s) = W_{fg}(s) \cdot f(s)$$

$$y(s) = \frac{1440 * S^5 + 1252.8 * S^4 + 324 * S^3 + 32.4 * S^2 + 1.8 * S}{1600 * S^6 + 2192 * S^5 + 1132.8 * S^4 + 303.68 * S^3 + 50.72 * S^2 + 4.36 * S + 0.16} * \frac{0.5}{S}$$

$$y(s) = \frac{720 * S^5 + 626.4 * S^4 + 162 * S^3 + 16.2 * S^2 + 0.9 * S}{1600 * S^7 + 2192 * S^6 + 1132.8 * S^5 + 303.68 * S^4 + 50.72 * S^3 + 4.36 * S^2 + 0.16S}$$

Корни ХП имеют вид:

p1 = 0.000000

$$p_2 = -0.084389 + 0.044181j$$

$$p_3 = -0.084389 - 0.044181j$$

p4 = -0.464000

p5 = -0.118611 +0.182855j

p6 = -0.118611 -0.182855j

p7 = -0.500000

Подставляем все данные в формулу Хэвисайда и находим ПП по задающему каналу:

$$y(t) := \lim_{S \rightarrow 0} (S) \cdot \frac{(720S^5 + 626.4S^4 + 162S^3 + 16.2S^2 + 0.9S) \cdot e^{s \cdot t}}{1600(S) \cdot (S) \cdot (S + 0.084 - 0.04464j) \cdot (S - 0.084 + 0.04464j) \cdot (S + 0.5) \cdot (S + 0.1186 - 0.1828j) \cdot (S + 0.1186 + 0.1828j) \cdot (S + 0.5)}$$

+

$$\lim_{S \rightarrow -0.084+0.04464j} (S + 0.084 - 0.04464j) \cdot \frac{(720S^5 + 626.4S^4 + 162S^3 + 16.2S^2 + 0.9S) \cdot e^{-S}}{1600(S) \cdot (S) \cdot (S + 0.084 - 0.04464j) \cdot (S - 0.084 + 0.04464j) \cdot (S + 0.5) \cdot (S + 0.1186 - 0.1828j) \cdot (S + 0.1186 + 0.1828j) \cdot (S + 0.5)}$$

+

$$\lim_{S \rightarrow -0.084-0.04464j} (S + 0.084 + 0.04464j) \cdot \frac{(720S^5 + 626.4S^4 + 162S^3 + 16.2S^2 + 0.9S) \cdot e^{-S \cdot t}}{1600(S) \cdot (S) \cdot (S + 0.084 - 0.04464j) \cdot (S - 0.084 + 0.04464j) \cdot (S + 0.5) \cdot (S + 0.1186 - 0.1828j) \cdot (S + 0.1186 + 0.1828j) \cdot (S + 0.5)}$$

+

$$\lim_{S \rightarrow -0.464} (S + 0.464) \cdot \frac{(720S^5 + 626.4S^4 + 162S^3 + 16.2S^2 + 0.9S) \cdot e^{-S \cdot t}}{1600(S) \cdot (S) \cdot (S + 0.084 - 0.04464j) \cdot (S - 0.084 + 0.04464j) \cdot (S + 0.5) \cdot (S + 0.1186 - 0.1828j) \cdot (S + 0.1186 + 0.1828j) \cdot (S + 0.5)}$$

$$\lim_{S \rightarrow -0.5} (S + 0.5) \cdot \frac{(720S^5 + 626.4S^4 + 162S^3 + 16.2S^2 + 0.9S) \cdot e^{s \cdot t}}{1600(S) \cdot (S) \cdot (S + 0.084 - 0.04464j) \cdot (S - 0.084 + 0.04464j) \cdot (S + 0.5) \cdot (S + 0.1186 - 0.1828j) \cdot (S + 0.1186 + 0.1828j) \cdot (S + 0.5)}$$

+

$$\lim_{S \rightarrow -0.1186 \pm 0.1828 i} (S + 0.1186 - 0.1828 i) \cdot \frac{(720S^5 + 626.4S^4 + 162S^3 + 16.2S^2 + 0.9S) \cdot e^{-S}}{1600(S) \cdot (S) \cdot (S + 0.084 - 0.04464i) \cdot (S - 0.084 + 0.04464i) \cdot (S + 0.5) \cdot (S + 0.1186 - 0.1828i) \cdot (S + 0.1186 + 0.1828i) \cdot (S + 0.5)}$$

+

$$\lim_{S \rightarrow -0.1186 - 0.1828i} (S + 0.1186 + 0.1828i) \cdot \frac{(720S^5 + 626S^4 + 162S^3 + 16.2S^2 + 0.9S)e^{-S}}{1600(S)(S)(S + 0.084 - 0.04464i)(S - 0.084 + 0.04464i)(S + 0.5)(S + 0.1186 - 0.1828i)(S + 0.1186 + 0.1828i)(S + 0.5)}$$

[illegible]

					<div style="text-align: center;"> <p><i>Курсовой проект</i></p> </div>	Лист
						22
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

ПП по каналу «f-y»:

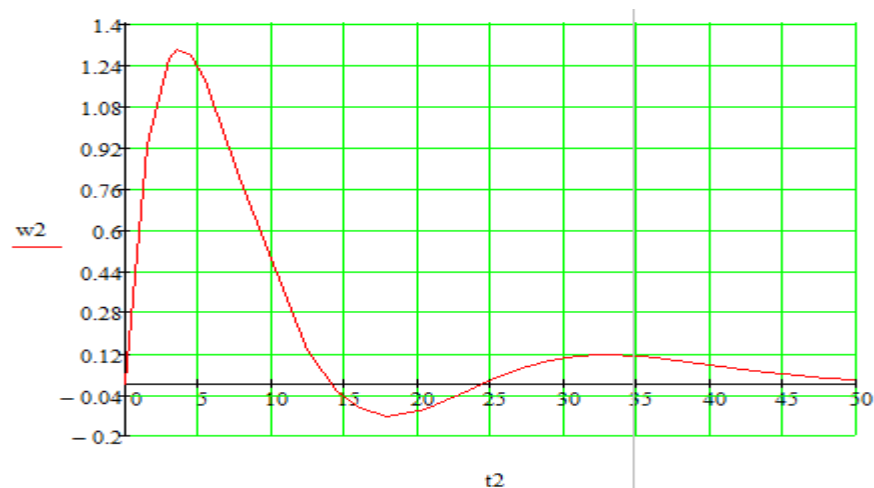
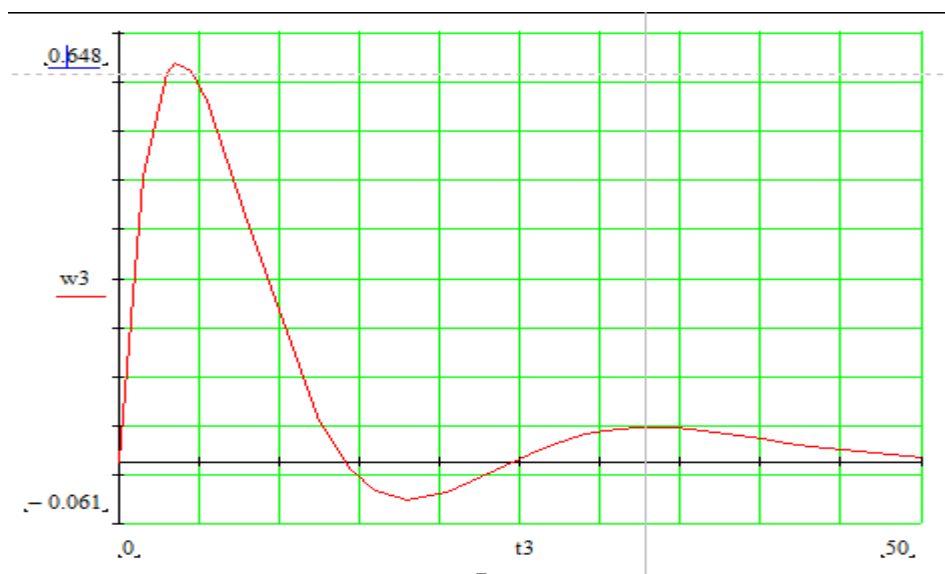


Рисунок 4.1.2- ПП по возмущающему воздействию f(t)

Совместив полученные графики ПП по g(t) и f(t) получим:



4.2 Расчет ПП графическим способом (по методу Солодовникова)

$$W_{gy}(S) = \frac{14.4 * S^3 + 9.36 * S^2 + 1.44 * S}{1600 * S^6 + 2192 * S^5 + 1152 * S^4 + 316 * S^3 + 52.24 * S^2 + 4.44 * S + 0.16}$$

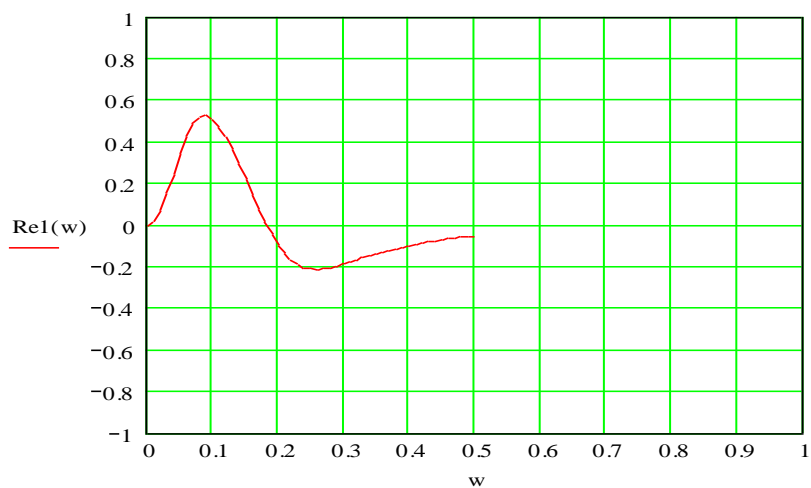


Рисунок 4.2.1(б)-ВЧПФ САУ по задающему воздействию $g(t)$.

Для реализации метода Солодовникова разбиваем ВЧПФ по задающему воздействию на трапеции

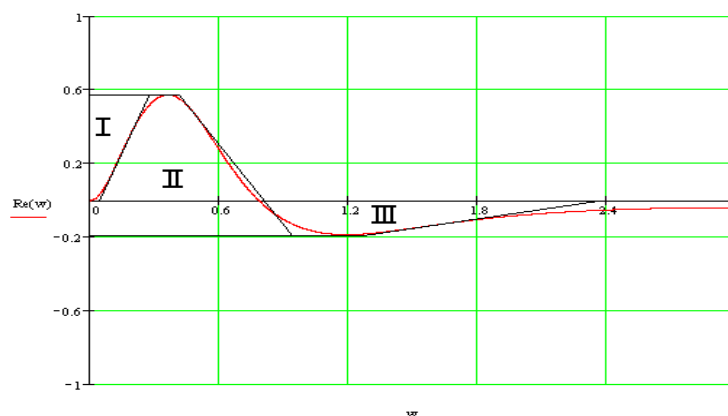


Рисунок 4.2.1(б)-ВЧПФ САУ по задающему воздействию $g(t)$.

$$\chi = \frac{\omega_d}{\omega_n}$$

Данные по трапециям:

№	w1	w2	χ
1	0	0,2	0
2	0,08	0,18	0,44
3	0,18	0,24	0,75
4	0,24	0,55	0,43

Т	h(t)		
	0,2	0,5	0,55
0	0	0	0
0,5	0,192	0,24	0,248
1	0,371	0,461	0,476
1,5	0,538	0,665	0,685
2	0,682	0,831	0,856
2,5	0,802	0,967	0,985
3	0,895	1,061	1,081
3,5	0,963	1,115	1,132
4	1,008	1,141	1,151
4,5	1,029	1,138	1,141
5	1,042	1,117	1,114
5,5	1,042	1,09	1,07
6	1,037	1,051	1,036
6,5	1,029	1,018	1,001
7	1,024	0,992	0,975
7,5	1,021	0,974	0,956
8	1,02	0,966	0,952
8,5	1,021	0,964	0,954
9	1,025	0,968	0,962
9,5	1,028	0,975	0,972
10	1,03	0,982	0,984
10,5	1,031	0,988	0,994
11	1,03	0,993	1,001
11,5	1,028	0,996	1,006
12	1,024	0,997	1,007
12,5	1,019	0,997	1,007
13	1,015	0,997	1,006
13,5	1,011	0,998	1,005
14	1,008	0,999	1,005
14,5	1,008	1,002	1,005
15	1,006	1,005	1,006
15,5	1,006	1,008	1,007
16	1,006	1,01	1,01
16,5	1,005	1,011	1,008
17	1,005	1,012	1,007
17,5	1,003	1,009	1,005
18	1,002	1,008	1,001
18,5	1	1,005	0,999
19	0,998	1,001	0,995
19,5	0,996	0,995	0,992
20	0,995	0,995	0,991
20,5	0,994	0,994	0,991
21	0,994	0,993	0,992
21,5	0,994	0,994	0,995
22	0,994	0,995	0,997
22,5	0,995	0,996	1
23	0,995	0,997	1,002
23,5	0,995	0,998	1,003
24	0,995	0,999	1,003
24,5	0,995	1	1,004
25	0,995	1	1,004
25,5	0,994	1	1,003
26	0,994	1	1,001

т действ1	h1(t)	т действ2	h2(t)	тдейств3	h3(t)	h sum
0	0	0	0	0	0	0
9,615384615	-0,10829	1,128668	0,18048	0,208333	-0,04662	0,025568
19,23076923	-0,20924	2,257336	0,346672	0,416667	-0,08949	0,04794
28,84615385	-0,30343	3,386005	0,50008	0,625	-0,12878	0,067868
38,46153846	-0,38465	4,514673	0,624912	0,833333	-0,16093	0,079336
48,07692308	-0,45233	5,643341	0,727184	1,041667	-0,18518	0,089676
57,69230769	-0,50478	6,772009	0,797872	1,25	-0,20323	0,089864
67,30769231	-0,54313	7,900677	0,83848	1,458333	-0,21282	0,082532
76,92307692	-0,56851	9,029345	0,858032	1,666667	-0,21639	0,073132
86,53846154	-0,58036	10,15801	0,855776	1,875	-0,21451	0,060912
96,15384615	-0,58769	11,28668	0,839984	2,083333	-0,20943	0,042864
105,7692308	-0,58769	12,41535	0,81968	2,291667	-0,20116	0,030832
115,3846154	-0,58487	13,54402	0,790352	2,5	-0,19477	0,010716
125	-0,58036	14,67269	0,765536	2,708333	-0,18819	-0,00301
134,6153846	-0,57754	15,80135	0,745984	2,916667	-0,1833	-0,01485
144,2307692	-0,57584	16,93002	0,732448	3,125	-0,17973	-0,02312
153,8461538	-0,57528	18,05869	0,726432	3,333333	-0,17898	-0,02782
163,4615385	-0,57584	19,18736	0,724928	3,541667	-0,17935	-0,03027
173,0769231	-0,5781	20,31603	0,727936	3,75	-0,18086	-0,03102
182,6923077	-0,57979	21,4447	0,7332	3,958333	-0,18274	-0,02933
192,3076923	-0,58092	22,57336	0,738464	4,166667	-0,18499	-0,02745
201,9230769	-0,58148	23,70203	0,742976	4,375	-0,18687	-0,02538
211,5384615	-0,58092	24,8307	0,746736	4,583333	-0,18819	-0,02237
221,1538462	-0,57979	25,95937	0,748992	4,791667	-0,18913	-0,01993
230,7692308	-0,57754	27,08804	0,749744	5	-0,18932	-0,01711
240,3846154	-0,57472	28,2167	0,749744	5,208333	-0,18932	-0,01429
250	-0,57246	29,34537	0,749744	5,416667	-0,18913	-0,01184
259,6153846	-0,5702	30,47404	0,750496	5,625	-0,18894	-0,00865
269,2307692	-0,56851	31,60271	0,751248	5,833333	-0,18894	-0,0062
278,8461538	-0,56851	32,73138	0,753504	6,041667	-0,18894	-0,00395
288,4615385	-0,56738	33,86005	0,75576	6,25	-0,18913	-0,00075
298,0769231	-0,56738	34,98871	0,758016	6,458333	-0,18932	0,001316
307,6923077	-0,56738	36,11738	0,75952	6,666667	-0,18988	0,002256
317,3076923	-0,56682	37,24605	0,760272	6,875	-0,1895	0,003948
326,9230769	-0,56682	38,37472	0,761024	7,083333	-0,18932	0,004888
336,5384615	-0,56569	39,50339	0,758768	7,291667	-0,18894	0,004136
346,1538462	-0,56513	40,63205	0,758016	7,5	-0,18819	0,0047
355,7692308	-0,564	41,76072	0,75576	7,708333	-0,18781	0,003948
365,3846154	-0,56287	42,88939	0,752752	7,916667	-0,18706	0,00282
375	-0,56174	44,01806	0,74824	8,125	-0,1865	0
384,6153846	-0,56118	45,14673	0,74824	8,333333	-0,18631	0,000752
394,2307692	-0,56062	46,2754	0,747488	8,541667	-0,18631	0,000564
403,8461538	-0,56062	47,40406	0,746736	8,75	-0,1865	-0,00038
413,4615385	-0,56062	48,53273	0,747488	8,958333	-0,18706	-0,00019
423,0769231	-0,56062	49,6614	0,74824	9,166667	-0,18744	0,000188
432,6923077	-0,56118	50,79007	0,748992	9,375	-0,188	-0,00019
442,3076923	-0,56118	51,91874	0,749744	9,583333	-0,18838	0,000188
451,9230769	-0,56118	53,0474	0,750496	9,791667	-0,18856	0,000752
461,5384615	-0,56118	54,17607	0,751248	10	-0,18856	0,001504
471,1538462	-0,56118	55,30474	0,752	10,20833	-0,18875	0,002068
480,7692308	-0,56118	56,43341	0,752	10,41667	-0,18875	0,002068
490,3846154	-0,56062	57,56208	0,752	10,625	-0,18856	0,00282
500	-0,56062	58,69074	0,752	10,83333	-0,18819	0,003196

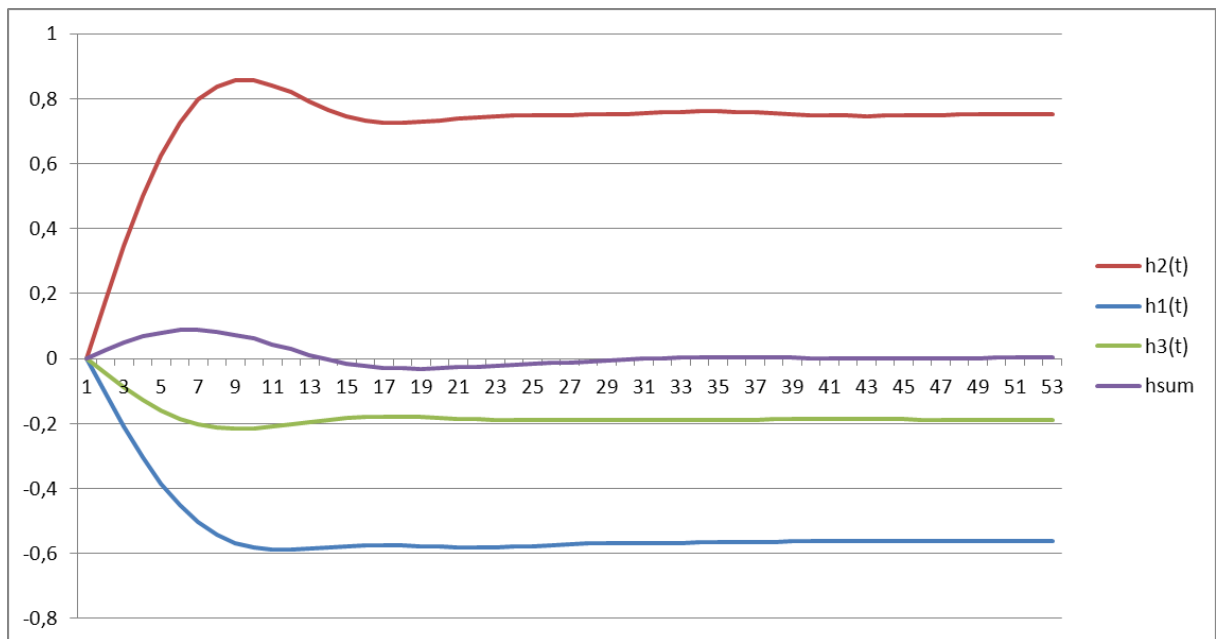


Рисунок 4.2.1(в)- График ПП полученный по методу Солодовникова.

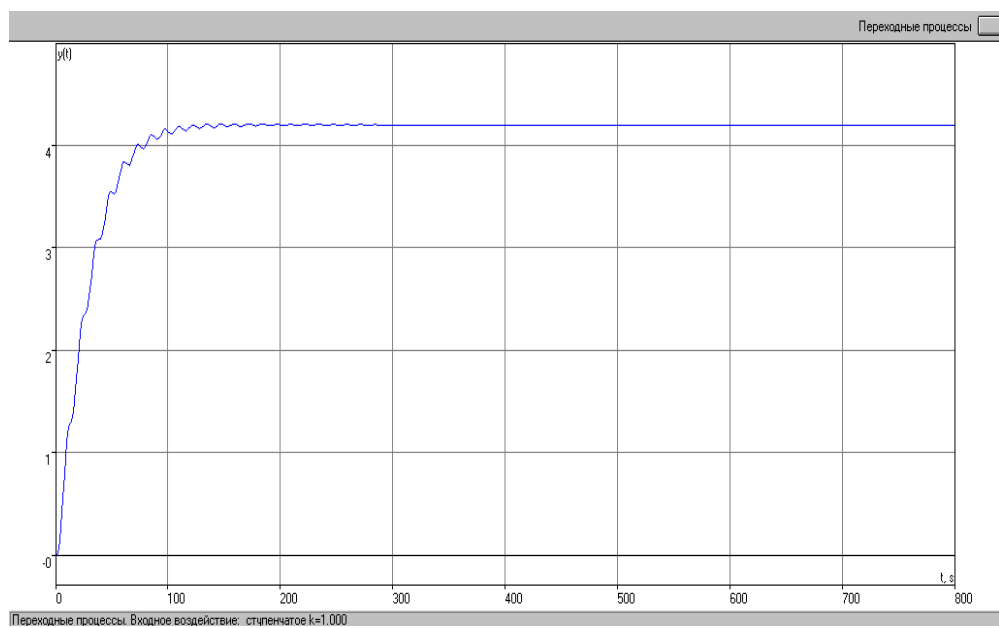


Рисунок 4.2.1(г) График единично-ступенчатая функция из Classic

5.3 Расчет ПП машинным способом

5.3.1 По задающему воздействию $g(t)$

Блок 1 является формирующим фильтром:

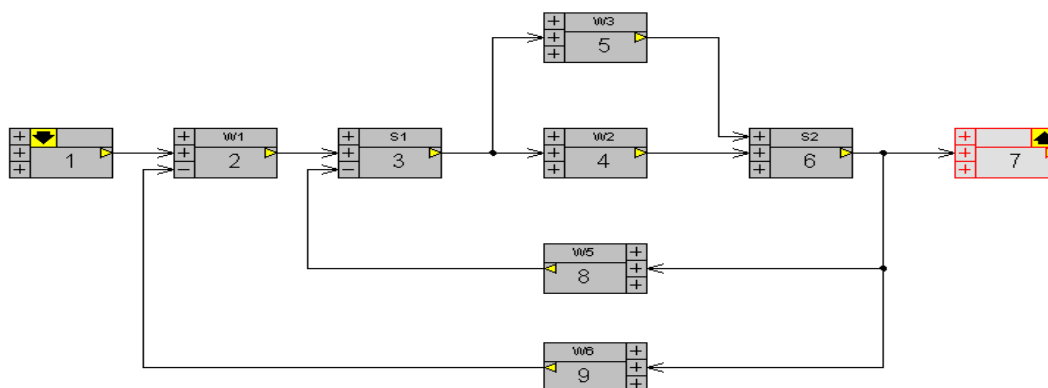
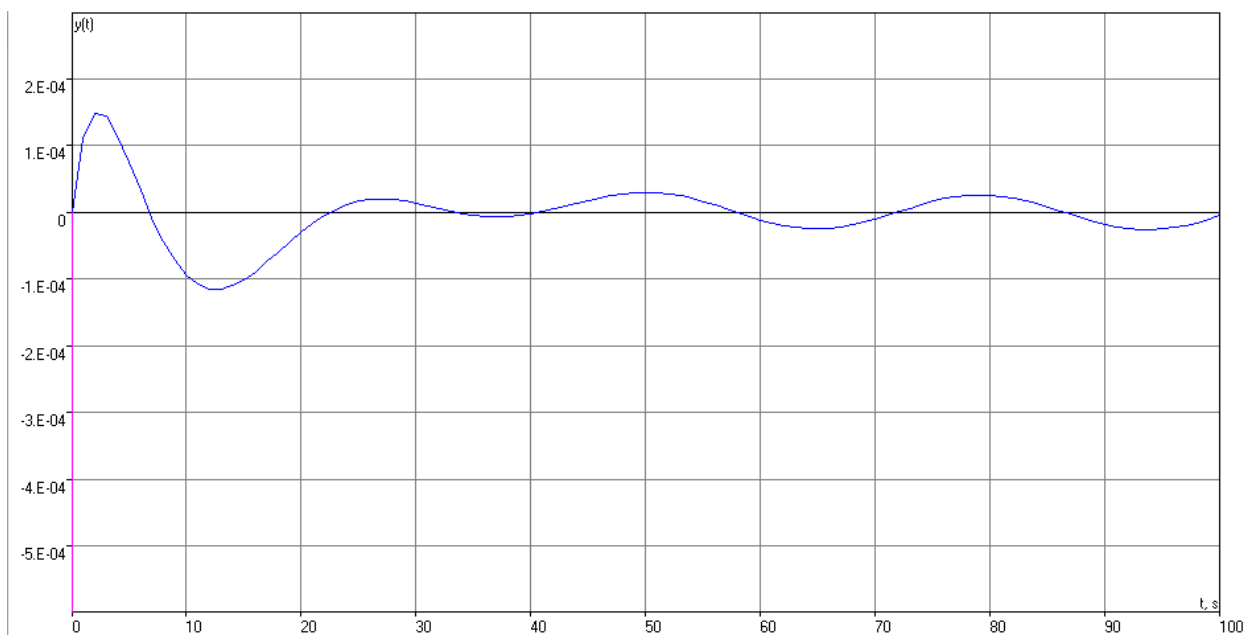


Рисунок 4.2.1(a)- Модель САУ в Classic



5.3.2 По возмущающему воздействию $f(t)$

Блок 8 является формирующим фильтром:

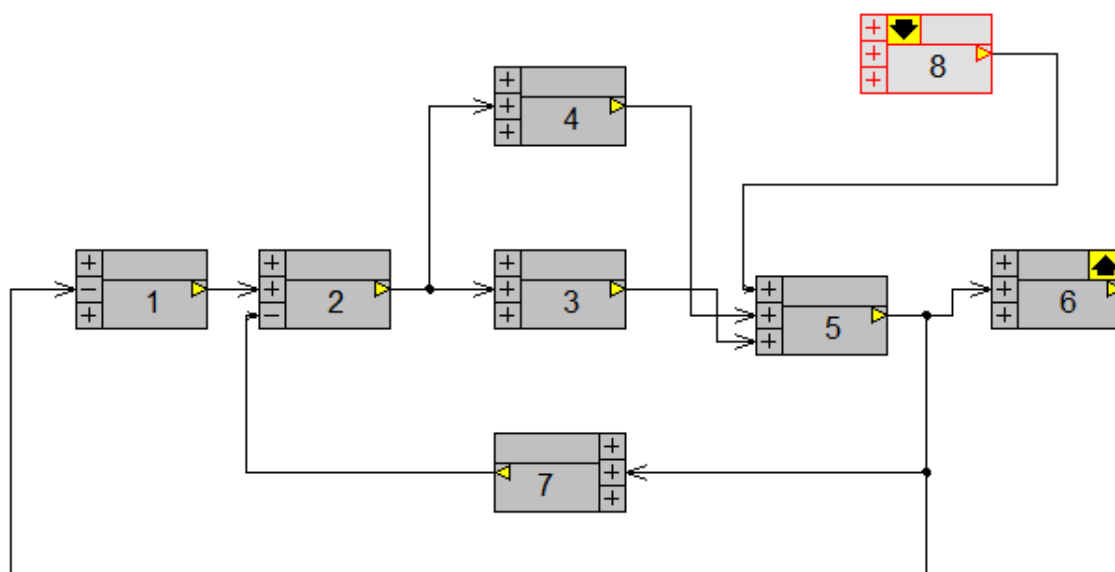
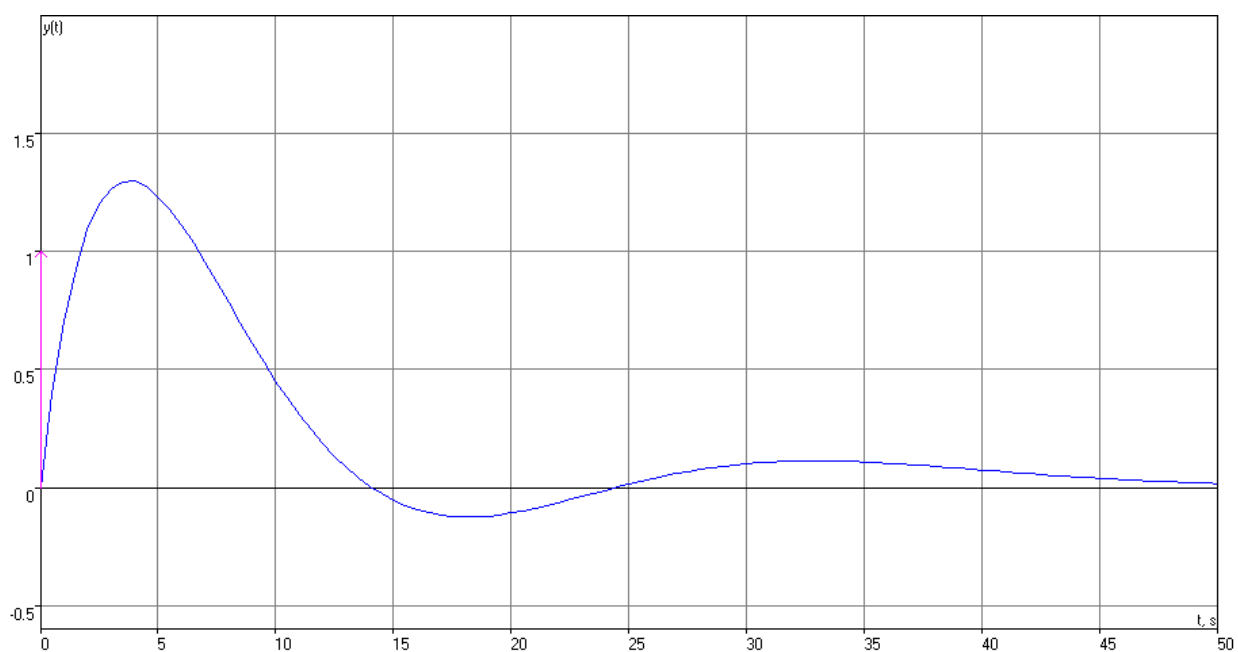
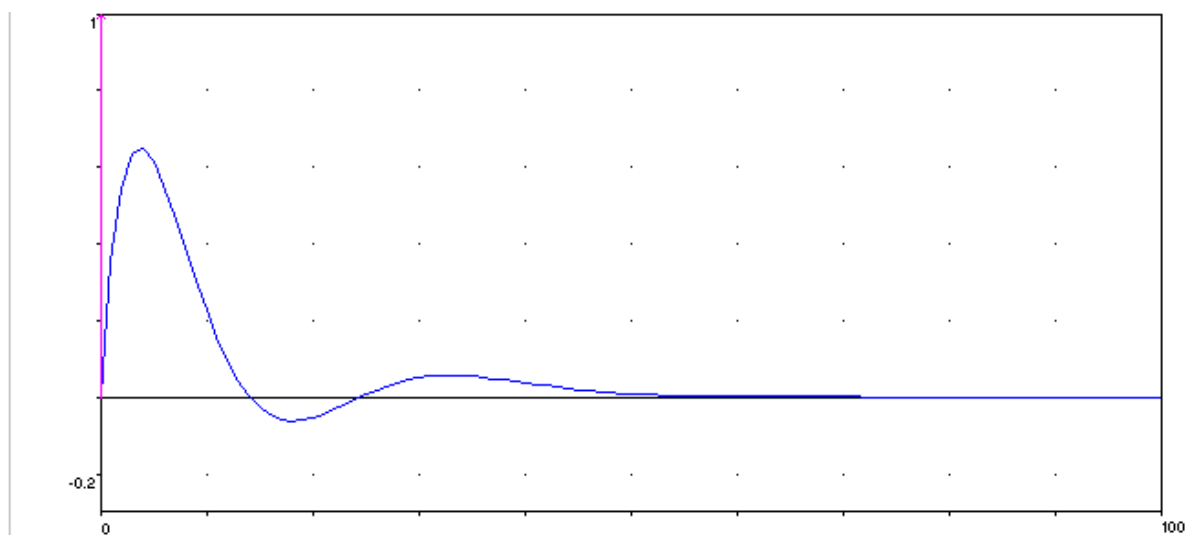
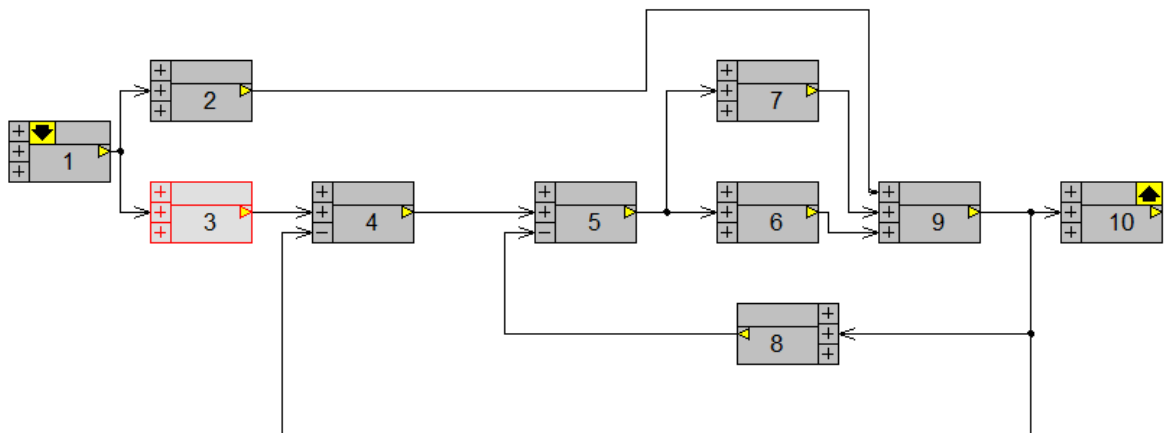


Рисунок 4.2.1(а)- Модель САУ в Classic



5.3.3 По обоим воздействиям одновременно

Блоки 2 и 3 являются формирующими фильтрами:



6. Оценка устойчивости САУ

Т.к по задающему $g(t)$ и по возмущающему воздействию $f(t)$ ХП является одинаковым, то для расчета устойчивости САУ достаточно одного канала.

6.1 Оценка устойчивости САУ по корням характеристического полинома ПФ

ПФ САУ по задающему воздействию $g(t)$:

$$W_{об}(S) = \frac{14.4 * S^3 + 9.36 * S^2 + 1.44 * S}{1600 * S^6 + 2192 * S^5 + 1152 * S^4 + 316 * S^3 + 52.24 * S^2 + 4.44 * S + 0.16}$$

ХП системы имеет вид:

$$D(S) = 1600 * S^6 + 2192 * S^5 + 1152 * S^4 + 316 * S^3 + 52.24 * S^2 + 4.44 * S + 0.16$$

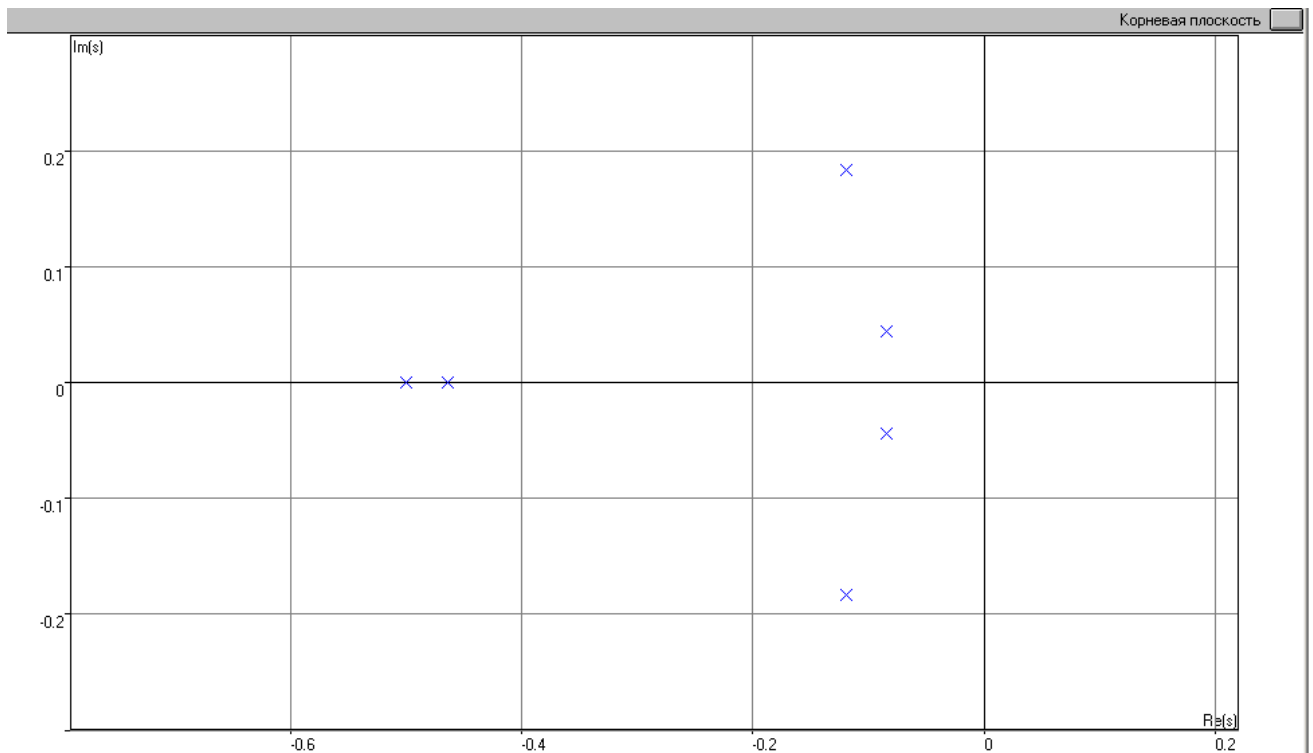


Рисунок 6.1-Корневая плоскость САУ

Полюсы системы:

$$p_1 = -0.084 + 0.044j$$

$$p_2 = -0.084 - 0.044j$$

$$p_3 = -0.1186 - 0.1828j$$

$$-0.1186 + 0.1828j$$

$$p_5 = -0.46400$$

$$p_6 = -0.50000$$

$p_4 =$

Корни ХП ПФ САУ называются полюсами ПФ.

Вывод: График распределения полюсов ПФ (корневая плоскость) показывают, что корни ХП ПФ расположены слева, следовательно данная САУ устойчива.

6.2 Оценка устойчивости САУ по критерию Гурвица

ПФ САУ по задающему воздействию $g(t)$:

$$W_{об}(S) = \frac{14.4 * S^3 + 9.36 * S^2 + 1.44 * S}{1600 * S^6 + 2192 * S^5 + 1152 * S^4 + 316 * S^3 + 52.24 * S^2 + 4.44 * S + 0.16}$$

Оценка устойчивости САУ по критерию Гурвица осуществляется с помощью матрицы Гурвица, которая составляется на основе ХП.

$$d_0 s^n + d_1 s^{n-1} + \dots + d_{n-1} s + d_n$$

$$D(S) = 1600 * S^6 + 2192 * S^5 + 1152 * S^4 + 316 * S^3 + 52.24 * S^2 + 4.44 * S + 0.16$$

$$\begin{aligned} d_0 &:= 1600 & d_4 &:= 52.24 \\ d_1 &:= 2192 & d_5 &:= 4.44 \\ d_2 &:= 1152 & d_6 &:= 0.16 \\ d_3 &:= 316 \end{aligned}$$

$$H_6 := \begin{pmatrix} d_1 & d_3 & d_5 & 0 & 0 & 0 \\ d_0 & d_2 & d_4 & d_6 & 0 & 0 \\ 0 & d_1 & d_3 & d_5 & 0 & 0 \\ 0 & d_0 & d_2 & d_4 & d_6 & 0 \\ 0 & 0 & d_1 & d_3 & d_5 & 0 \\ 0 & 0 & d_0 & d_2 & d_4 & d_6 \end{pmatrix} \quad |H_6| = 5.856 \times 10^9$$

$$\begin{aligned} H_1 &:= d_1 & H_1 &= 2.192 \times 10^3 \\ H_2 &:= \begin{pmatrix} d_1 & d_3 \\ d_0 & d_2 \end{pmatrix} & |H_2| &= 2.02 \times 10^6 \\ H_3 &:= \begin{pmatrix} d_1 & d_3 & d_5 \\ d_0 & d_2 & d_4 \\ 0 & d_1 & d_3 \end{pmatrix} & |H_3| &= 4.028 \times 10^8 \\ H_4 &:= \begin{pmatrix} d_1 & d_3 & d_5 & 0 \\ d_0 & d_2 & d_4 & d_6 \\ 0 & d_1 & d_3 & d_5 \\ 0 & d_0 & d_2 & d_4 \end{pmatrix} & |H_4| &= 1.218 \times 10^{10} \\ H_5 &:= \frac{|H_6|}{d_6} & H_5 &= 3.66 \times 10^{10} \end{aligned}$$

Вывод: Т.к. все коэффициенты ХП ПФ являются положительными, а также все определители матрицы Гурвица в результате расчетов были получены положительными, то данная система согласно критерию является устойчивой.

6.3 Оценка устойчивости САУ по методу Рауса

Оценка устойчивости САУ по методу Рауса осуществляется с помощью R – таблицы.

ПФ САУ по задающему воздействию $g(t)$:

$$W_{06}(S) = \frac{14.4 * S^3 + 9.36 * S^2 + 1.44 * S}{1600 * S^6 + 2192 * S^5 + 1152 * S^4 + 316 * S^3 + 52.24 * S^2 + 4.44 * S + 0.16}$$

ХП передаточной функции:

$$D(S) = 1600 * S^6 + 2192 * S^5 + 1152 * S^4 + 316 * S^3 + 52.24 * S^2 + 4.44 * S + 0.16$$

Применение этого критерия требует формирования специальной таблицы – таблицы Рауса (R-таблицы), состоящей из $(n+1)$ строк, где n – порядок системы.

Элементы первой строки ($i=1$) R-таблицы – коэффициенты d_j ХП, имеющие четные индексы, т.е. d_0, d_2, d_4 и т.д. Элементами второй строки являются коэффициенты d_j с нечетными индексами, т.е. d_1, d_3, \dots . Начиная с третьей строки ($i=3$) R-таблицы, ее элементы определяются с помощью вспомогательных коэффициентов (для каждой i -той строки используется свой коэффициент) $a_i = r_{i-2,1}/r_{i-1,1}$, рассчитываемых как отношение двух элементов 1-го столбца R-таблицы. Значение произвольного элемента R-таблицы, стоящего в i -й строке и k -м столбце, рассчитывается по формуле:

$$r_{ik} = r_{i-2,k+1} - a_i r_{i-1,k+1}.$$

Составим таблицу Рауса (R-таблицу) и сделаем анализ устойчивости САУ.

Строки	Вспомогательные коэффициенты, a_i , $i \geq 3$	Столбцы			
		1	2	3	4
1	–	1600	1152	52.24	0.16
2	–	2192	316	4.44	0
3	$a_3 \approx 0.08$	1126.72	51.88	0.16	0
4	$a_4 \approx 0.5$	290.16	4.36	0	0
5	$a_5 \approx 1.72$	44.38	0.16		
6	$a_6 \approx 1.51$	0	0		

Вывод: Так как $r_{n+1,1}=0$, а все остальные члены 1-ого столбца R-таблицы, а также все коэффициенты ХП положительны, то данная САУ является устойчивой.

6.4 Оценка устойчивости САУ по Михайлову

$$W_{об}(S) = \frac{14.4 * S^3 + 9.36 * S^2 + 1.44 * S}{1600 * S^6 + 2192 * S^5 + 1152 * S^4 + 316 * S^3 + 52.24 * S^2 + 4.44 * S + 0.16}$$

$$D(s) := 1600 \cdot s^6 + 2192 \cdot s^5 + 1152 \cdot s^4 + 316 \cdot s^3 + 52.24 \cdot s^2 + 4.44 \cdot s + 0.16$$

$$D(j \cdot \omega)_M = 1600 \cdot \omega^6 - 2192 \cdot j \cdot \omega^5 + 1152 \cdot \omega^4 - 316 \cdot j \cdot \omega^3 - 52.24 \cdot \omega^2 + 4.44 \cdot j \cdot \omega + 0.16$$

$$\operatorname{Re}(j \cdot \omega)_M = 1600 \cdot \omega^6 - 1152 \cdot \omega^4 - 52.24 \cdot \omega^2 + 0.16$$

$$\operatorname{Im}(j \cdot \omega)_M = -2192 \cdot j \cdot \omega^3 - 316 \cdot j \cdot \omega + 4.44 \cdot j \cdot \omega$$

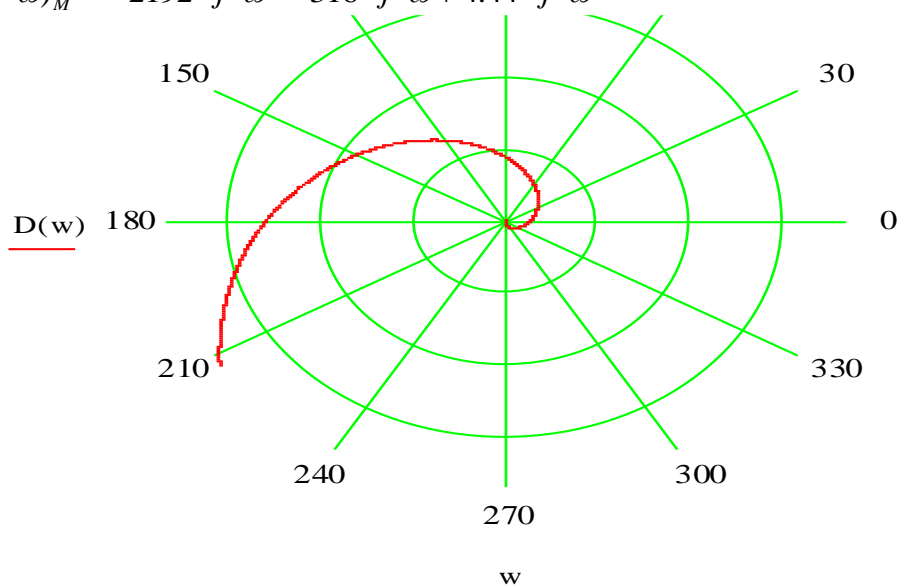


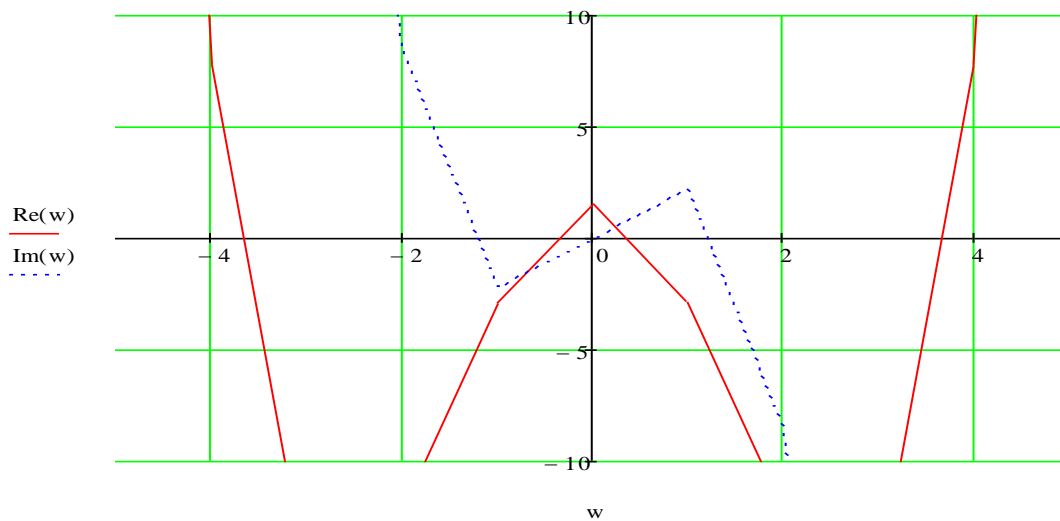
Рисунок 6.4 - Годограф Михайлова САУ в полярной системе координат

Вывод: САУ – устойчива, поскольку все коэффициенты ее характеристического уравнения положительны и вектор годограф Михайлова при изменении частоты от нуля до бесконечности, начинает свое движение против часовой стрелки из точки $(1;0j)$, нигде не принимает нулевого значения.

6.4.1. Оценка устойчивости САУ по следствию Михайлова

Построим зависимости вещественной и мнимой частотной характеристик.

Вещественная и мнимая составляющие годографа Михайлова САУ:



Вывод: анализ вещественной и мнимой частотных характеристик годографа Михайлова дает эффект чередования корней, а именно на $\omega = 0$ первым идет корень мнимой составляющей. Следовательно, данная САУ - устойчива.

6.5. Оценка устойчивости САУ методом D-разбиения

ХП ПФ:

$$D(s) := 1600 \cdot s^6 + 2192 \cdot s^5 + 1152 \cdot s^4 + 316 \cdot s^3 + 52.24 \cdot s^2 + 4.44 \cdot s + 0.16$$

$$D(s) = (T_{12}^2 T_4 T_5 T_2) s^6 + (T_{12}^2 (T_2 + T_5) + T_{11} T_2 T_5) T_4 s^5 + T_{12}^2 (k_2 k_5 + k_5 k_3 T_2 + 1 + T_5 T_2 + T_{11} (T_5 + T_2) + k_5 T_5 + k_3 T_5 T_2) s^4 + \\ + (T_{12}^2 k_5 k_3 + T_{12}^2 (k_5 k_2 + k_5 k_2 T_2 + 1) + T_2 + T_5 + k_2 + k_3 T_2 + k_3 T_5) T_4 s^3 + (k_5 k_3 T_{11} + k_5 k_2 + k_5 T_2 + 1 + k_3) T_4 s^2 + k_5 k_3 T_4 s + k_5 k_3$$

В качестве параметра μ берем параметр T_5 :

$$(T_{12}^2 T_4 T_5 T_2) s^6 + (T_{12}^2 (T_2 + T_5) + T_{11} T_2 T_5) T_4 s^5 + T_{12}^2 (k_2 k_5 + k_5 k_3 T_2 + 1 + T_5 T_2 + T_{11} (T_5 + T_2) + k_5 T_5 + k_3 T_5 T_2) s^4 + \\ + (T_{12}^2 k_5 k_3 + T_{12}^2 (k_5 k_2 + k_5 k_2 T_2 + 1) + T_2 + T_5 + k_2 + k_3 T_2 + k_3 T_5) T_4 s^3 + (k_5 k_3 T_{11} + k_5 k_2 + k_5 T_2 + 1 + k_3) T_4 s^2 + k_5 k_3 T_4 s + k_5 k_3 = 0$$

$$\mu = \frac{-(T_{12}^2 T_4 s^4 + T_{12}^2 s^3 - (T_{11} + T_2 + k_1 T_2) s^2 + (1 + k_1 + k_1 k_2 + k_2 k_5 + k_3 k_5 T_3) s + k_3 k_5)}{T_{12}^2 T_2 s^5 + (T_{12}^2 + T_{11} T_2) s^4 (T_{11} + T_2 + k_1 T_2) s^3 + (k_1 + 1) s^2}$$

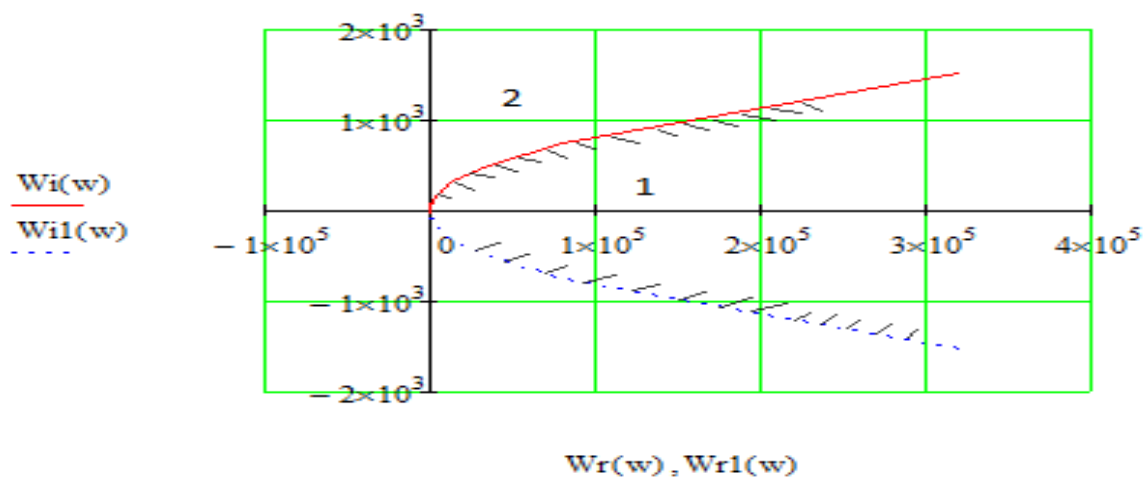


Рисунок 6.5-Кривая D-разбиения.

Вывод: плоскость разделена на две области, из которых наиболее устойчивой является область 1, так как штриховка направлена внутрь этой области. Для того чтобы проверить устойчивость системы, в качестве параметра D-разбиения нами был взят коэффициент $T_5 = 1.25$, при котором система является устойчивой, т. о. область 1 является областью устойчивости. Параметр T_5 может изменяться в пределах $T_5 = (0; +\infty)$

6.6.Оценка устойчивости САУ по критерию Найквиста

По задающему воздействию $g(t)$:

Частотный критерий Найквиста дает возможность определить устойчивость замкнутой системы автоматического регулирования (САР) по амплитудно-фазовой частотной характеристике ее разомкнутой цепи. Данный критерий применим к системам, у которых степень числителя передаточной функции разомкнутой цепи не выше степени ее знаменателя. Предварительно должна быть определена устойчивость исследуемой системы в ее разомкнутом состоянии.

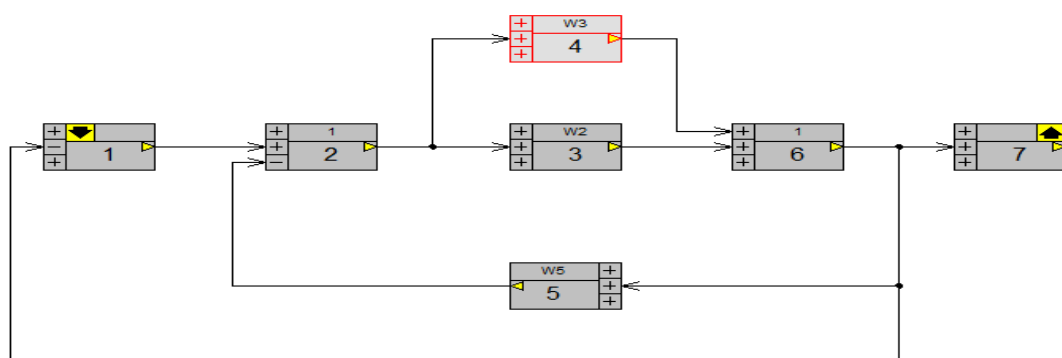


Рисунок 6.6(a) - Модель ЗСАУ в Classic.

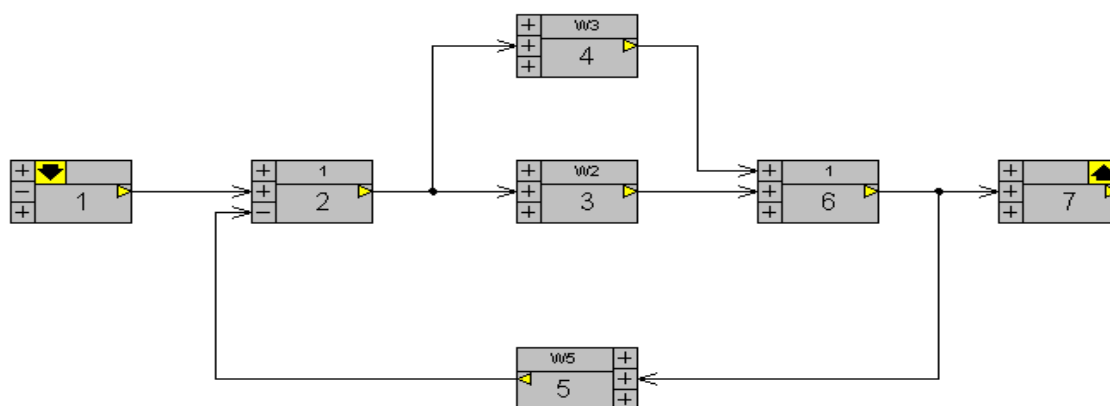


Рисунок 6.6(б) - Модель РСАУ по задающему воздействию $g(t)$ в Classic.

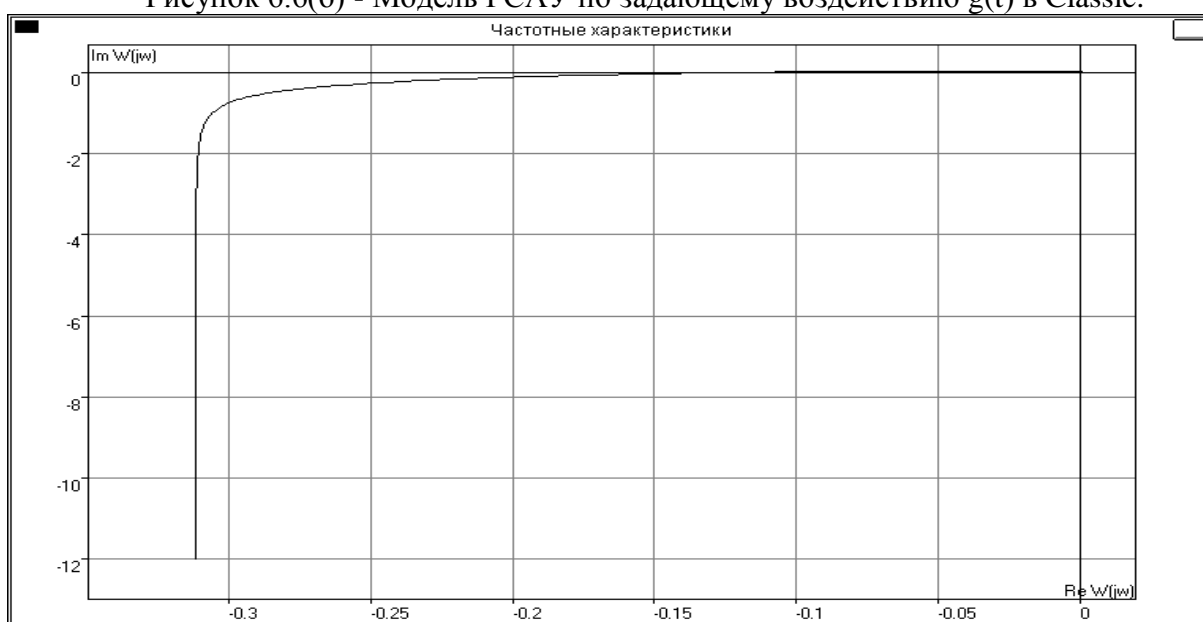


Рисунок 6.6(в) - Голограф РСАУ(масштаб 1).

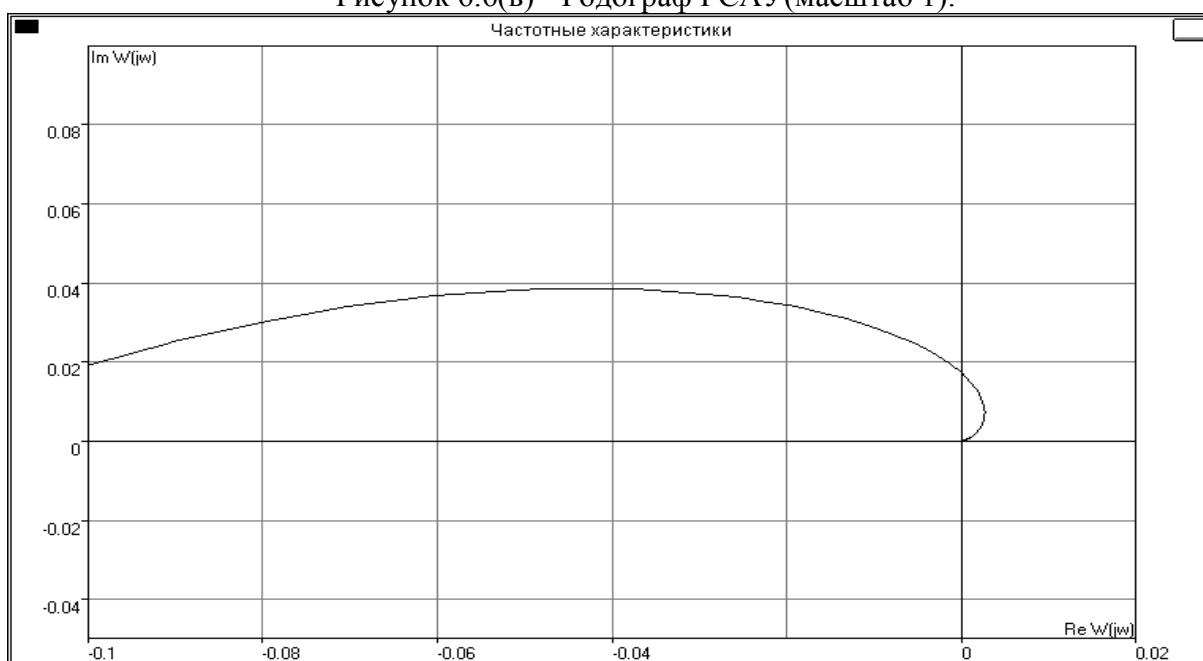


Рисунок 6.6(г) - Голограф РСАУ(масштаб 2)

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Курсовой проект

Лист

36

Нули:

$$z_1 = 0$$

$$z_1 = -0.25$$

$$z_1 = -0.4$$

Полюса:

$$p_1 = -0.06 + 0.08 * j$$

$$p_2 = -0.06 - 0.08 * j$$

$$p_3 = -0.5$$

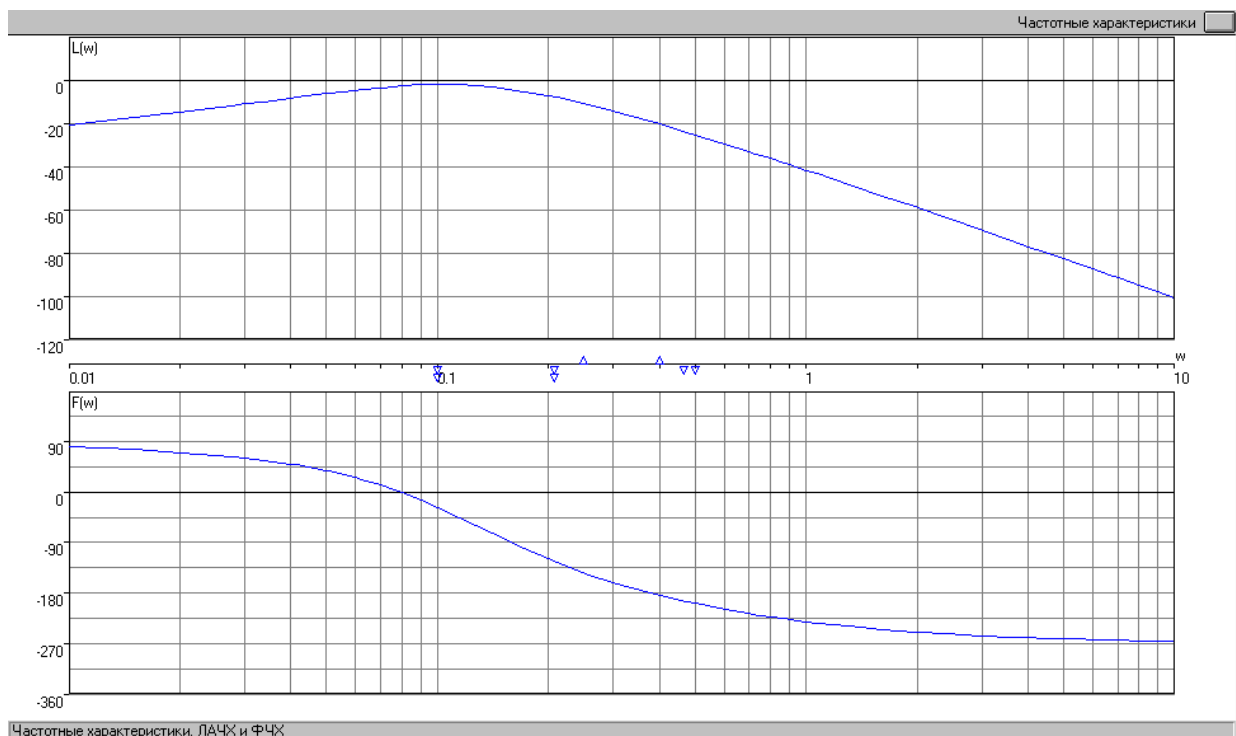
$$p_4 = -0.4669$$

$$p_5 = -1415 + 0.151 * j$$

$$p_6 = -1415 - 0.151 * j$$

Вывод: РСАУ лежит на апериодической границе устойчивости. Для устойчивости ЗСАУ необходимо и достаточно, чтобы годограф РСАР при изменении частоты от нуля до бесконечности, дополненный на участках разрыва дугой бесконечно большого радиуса, не охватывал точку с координатами $[-1, j0]$. Следовательно ЗСАУ устойчива.

6.6.1 Оценка устойчивости САУ по следствию Найквиста



Вывод: Для устойчивости ЗСАУ необходимо и достаточно, чтобы число переходов ФЧХ через уровень -180° при положительных значениях ЛАЧХ было четным (в частном случае равным нулю).

7. Расчет САУ методом переменных состояний

7. Расчет САУ по методу

7.1 Расчет САУ по методу переменных состояний

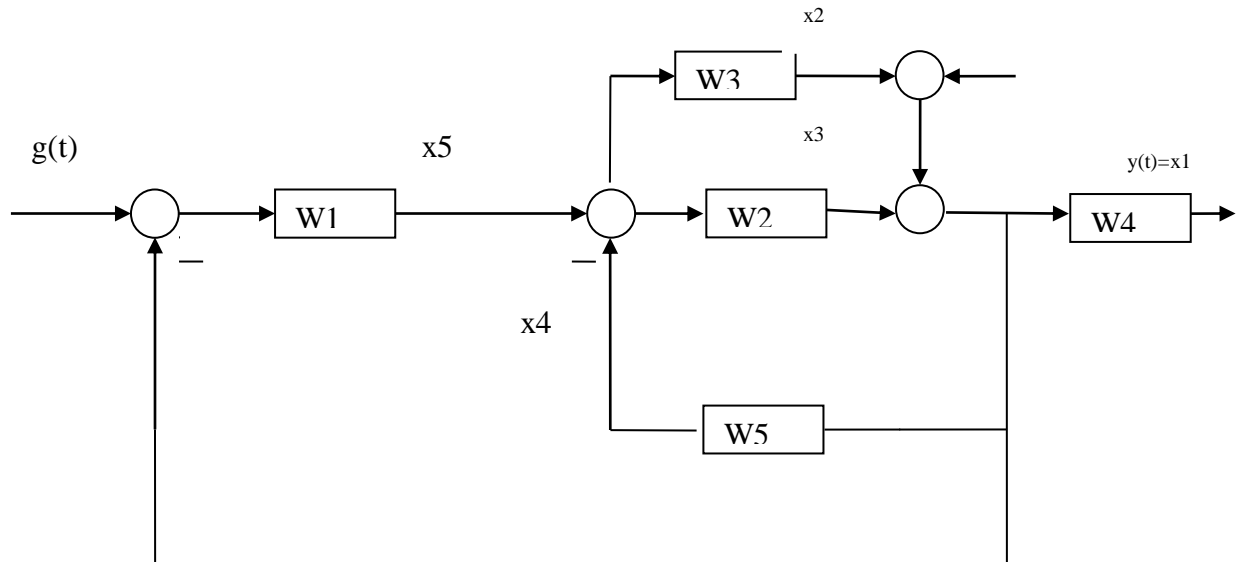


Рисунок 8 (а) – Исходная БСС САУ.

Модель системы в МПС состоит из двух векторно-матричных уравнений (ВМУ): дифференциального уравнения состояния 1-го порядка и алгебраического уравнения выхода, т.е.

$$\begin{cases} \dot{\bar{x}}_j(t) = A \cdot \bar{x}_j(t) + B \cdot \bar{u}_i(t) \\ \bar{y}_k(t) = C \cdot \bar{x}_j(t) + D \cdot \bar{u}_i(t) \end{cases}$$

$$\text{где } \bar{y} = y; \quad \bar{u} = g; \quad D = 0;$$

вычислим ПС уравнений:

$$1) \quad W_1(s) = \frac{x_2}{u - x_6}; \quad \frac{k_1}{T_{12}^2 p^2 + T_{11} p + 1} = \frac{x_2}{k_1 \cdot x_4}; \quad x_2 \cdot (T_{12}^2 p^2 + T_{11} p + 1) = k_1 u - k_1 x_6;$$

$$\dot{x}_3 = 0 \cdot x_1 - T_{12}^{-2} x_2 - T_{11} \cdot T_{12}^{-2} \cdot x_3 + 0 \cdot x_4 + 0 \cdot x_5 - k_1 \cdot x_6 + k_1 \cdot u$$

$$2) \quad W_3(s) = \frac{x_3}{x_2 + x_5}; \quad k_3 = \frac{x_3}{x_2 + x_5}; \quad x_3 = k_3 \cdot (x_2 + x_5);$$

$$\dot{x}_2 = 0 \cdot x_1 + k_3 \cdot x_2 - 0 \cdot x_3 + 0 \cdot x_4 - 1 \cdot x_5 + 0 \cdot x_6 + 0 \cdot u$$

					Курсовой проект	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		38

$$3) \quad W_2(s) = \frac{x_4}{x_2 + x_5}; \quad \frac{k_2 \cdot p}{(T_2 \cdot p + 1)} = \frac{x_4}{x_2 + x_5}; \quad x_4 \cdot (T_2 \cdot p + 1) = k_2 \cdot p \cdot (x_2 + x_5);$$

$$\dot{x}_4 = 0 \cdot x_1 + 0 \cdot x_2 + k_2 \cdot T_2^{-1} \cdot x_3 - T_2^{-1} \cdot x_4 + 0 \cdot x_5 + k_2 \cdot T_2^{-1} \cdot x_6 + 0 \cdot u$$

$$4) \quad W_5(s) = \frac{x_5}{x_3 + x_4}; \quad \frac{k_5}{(T_5 \cdot p^2 + p)} = \frac{x_5}{x_3 + x_4}; \quad x_5 \cdot (T_5 \cdot p^2 + p) = k_5 \cdot (x_3 + x_4);$$

$$\dot{x}_6 = 0 \cdot x_1 + 0 \cdot x_2 + k_5 \cdot T_5^{-1} \cdot x_3 + k_5 \cdot T_5^{-1} \cdot x_4 + 0 \cdot x_5 + 0 \cdot x_6 + 0 \cdot u$$

$$5) \quad W_4(s) = \frac{x_1}{x_3 + x_4}; \quad \frac{k_4}{(T_4 \cdot p + 1)} = \frac{x_1}{x_3 + x_4}; \quad x_1 \cdot (T_4 \cdot p + 1) = k_4 \cdot (x_3 + x_4);$$

$$\dot{x}_1 = -T_4^{-1} \cdot x_1 + 0 \cdot x_2 + k_4 \cdot T_4^{-1} \cdot x_3 + k_4 \cdot T_4^{-1} \cdot x_4 + 0 \cdot x_5 + 0 \cdot x_6 + 0 \cdot u$$

$$6) \quad W_6(s) = \frac{x_6}{x_3 + x_4}; \quad \dot{x}_5 = 0 \cdot x_1 + x_2 + x_3 + 0 \cdot x_4 + 0 \cdot x_5 + 0 \cdot x_6 + 0 \cdot u$$

запишем все ПС в систему:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = -T_4^{-1} \cdot x_1 + 0 \cdot x_2 + k_4 \cdot T_4^{-1} \cdot x_3 + k_4 \cdot T_4^{-1} \cdot x_4 + 0 \cdot x_5 + 0 \cdot x_6 + 0 \cdot u \\ \dot{x}_2 = 0 \cdot x_1 + k_3 \cdot x_2 - 0 \cdot x_3 - 0 \cdot x_4 + x_5 + 0 \cdot x_6 + 0 \cdot u \\ \dot{x}_3 = 0 \cdot x_1 - T_{12}^{-2} \cdot x_2 - T_{11} \cdot T_{12}^{-2} \cdot x_3 - 0 \cdot x_4 + 0 \cdot x_5 + k_1 \cdot x_6 + k_1 \cdot u \\ \dot{x}_4 = 0 \cdot x_1 + 0 \cdot x_2 - k_2 \cdot T_2^{-1} \cdot x_3 - T_2^{-1} \cdot x_4 + 0 \cdot x_5 + k_2 \cdot T_2^{-1} \cdot x_6 + 0 \cdot u \\ \dot{x}_5 = 0 \cdot x_1 + x_2 + x_3 + 0 \cdot x_4 + 0 \cdot x_5 + 0 \cdot x_6 + 0 \cdot u \\ \dot{x}_6 = 0 \cdot x_1 + 0 \cdot x_2 + k_5 \cdot T_5^{-1} \cdot x_3 + k_5 \cdot T_5^{-1} \cdot x_4 + 0 \cdot x_5 + 0 \cdot x_6 + 0 \cdot u \end{cases}$$

$$\dot{x} = A \cdot x + B \cdot g \quad \text{и} \quad y = C \cdot x$$

Заполняем матрицу А и В:

$$A := \begin{pmatrix} -T_4^{-1} & 0 & k_4 T_4^{-1} & k_4 T_4^{-1} & 0 & 0 \\ 0 & k_3 & 0 & 0 & k_3 & 0 \\ 0 & -T_{12}^{-2} & -T_{11} \cdot T_{12}^{-2} & 0 & 0 & k_1 \cdot T_{12}^{-2} \\ 0 & 0 & k_2 T_2^{-1} & -T_2^{-1} & 0 & k_2 \cdot T_2^{-1} \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & k_5 T_5^{-1} & 0 & -T_5^{-1} & k_5 T_5^{-1} & 0 \end{pmatrix}; \quad B := \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ k_1 \cdot T_{12}^{-2} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

где $\dim A = [6 \times 6]$
 $\dim B = [6 \times 2]$
 $\dim C = [6 \times 1]$

$\dim \dot{x} = [6 \times 1]$
 $\dim x = [6 \times 1]$
 $\dim g = [1 \times 1]$

При помощи MathCAD рассчитываем ПС САУ:

					Курсовой проект	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		39

Задающее воздействие:

$$g(t) := 0.8 \cdot \sin(6.5 \cdot t)$$

Возмущающее воздействие:

$$f(t) := 0.5 \cdot t$$

а) по задающему воздействию

Записываем систему дифференциальных уравне

$$dxdt(t, x) := A \cdot x + B \cdot \begin{pmatrix} g(t) \\ 0 \end{pmatrix}$$

Задаём решение:

$$X := rkfixed(x, 0, 20, 2000, dxdt)$$

Задаём изменение индекса

$$j := 0..2000$$

$$t_j := X_{j,0} \quad y_j := X_{j,2}$$

По $g(t)$:

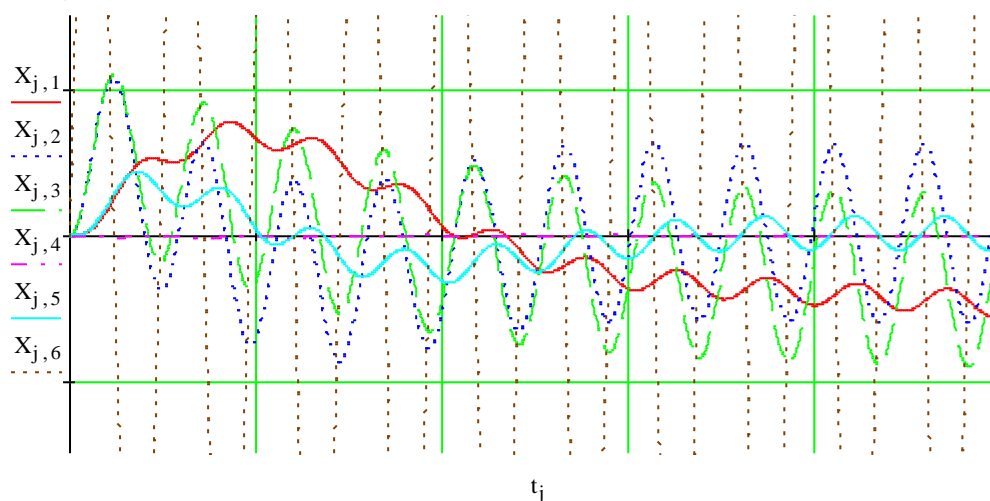
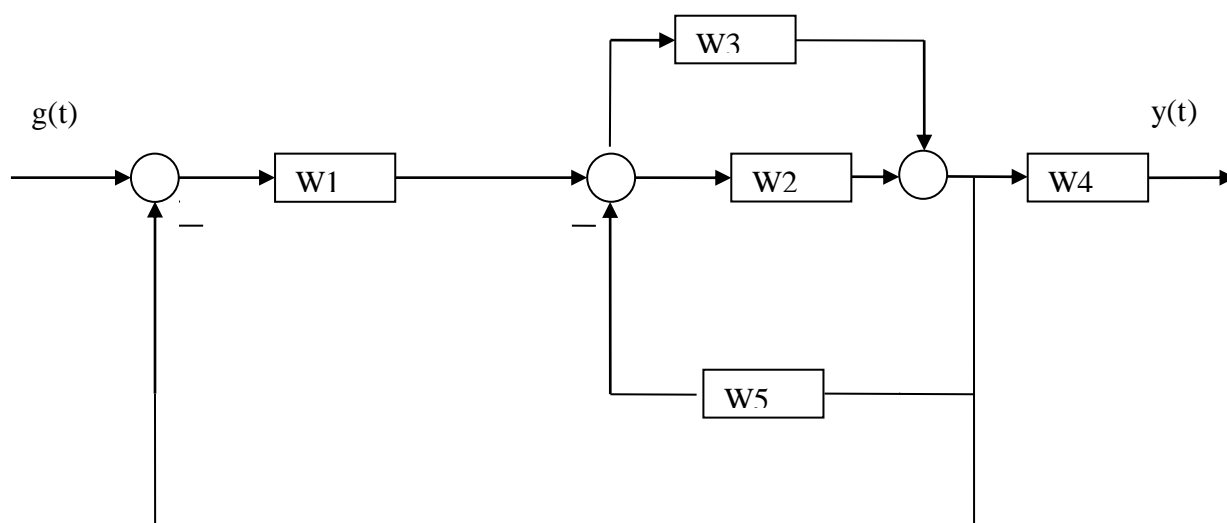


Рисунок 8 (б) – Расчет ПС в Mathcad

Вывод: Выходная характеристика по задающему воздействию совпадает с ПП по задающему воздействию.

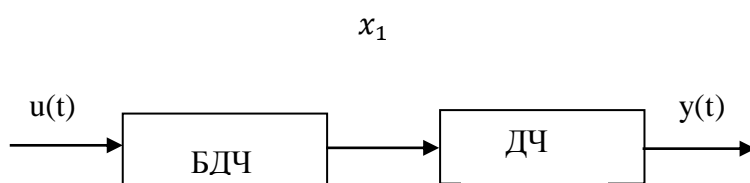
7.2 Расчет САУ по методу Фробениуса



Модель системы в МПС состоит из двух векторно-матричных уравнений (ВМУ): дифференциального уравнения состояния 1-го порядка и алгебраического уравнения выхода, т.е.

$$\begin{cases} \dot{\overline{x}}_j(t) = A \cdot \overline{x}_j(t) + B \cdot \overline{u}_i(t) \\ \overline{y}_k(t) = C \cdot \overline{x}_j(t) + D \cdot \overline{u}_i(t) \end{cases}$$

Наша ПФ состоит из БДЧ и ДЧ



В параметрическом форме:

$$W_{БДЧ}(S) = \frac{1}{((T_{12}^2 S^2 + T_{11} S + 1)(T_2 S + 1)(T_5 S^2 + S) + k_2 S \cdot k_5 (T_{12}^2 S^2 + T_{11} S + 1) + k_1 \cdot k_2 S \cdot k_5 + k_1 \cdot k_2 S (T_5 S^2 + S)) \cdot (T_4 S + 1)}$$

$$W_{ДЧ}(S) = \frac{k_1 \cdot k_4 \cdot (k_2 + k_3 (T_1 S + 1))(T_5 S^2 + S)}{1}$$

В числовом виде:

$$W_{БДЧ}(S) = \frac{1}{1600 * S^6 + 2192 * S^5 + 1152 * S^4 + 316 * S^3 + 52.24 * S^2 + 4.44 * S + 0.16}$$

$$W_{\text{ДЧ}}(S) = 14.4 * S^3 + 9.36 * S^2 + 1.44 * S$$

$$\frac{1}{1600 * p^6 + 2192 * p^5 + 1152 * p^4 + 316 * p^3 + 52.24 * p^2 + 4.44 * p + 0.16} = \frac{x_1}{u}$$

$$(1600 * p^6 + 2192 * p^5 + 1152 * p^4 + 316 * p^3 + 52.24 * p^2 + 4.44 * p + 0.16)x_1 = u$$

$$\dot{x}_6 = -\frac{0.16}{1600} \cdot x_1 - \frac{4.44}{1600} \cdot x_2 - \frac{52.24}{1600} \cdot x_3 - \frac{316}{1600} \cdot x_4 - \frac{1152}{1600} \cdot x_5 - \frac{2192}{1600} \cdot x_6 + \frac{u}{1600}$$

Сформируем матрицу состояния А и матрицу управления В исходя из системы уравнений(БДЧ):

$$A := \begin{pmatrix} -0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ -\frac{0.16}{1600} & -\frac{4.44}{1600} & -\frac{52.24}{1600} & -\frac{316}{1600} & -\frac{1152}{1600} & -\frac{2192}{1600} \end{pmatrix}$$

Найдем матрицу выхода.

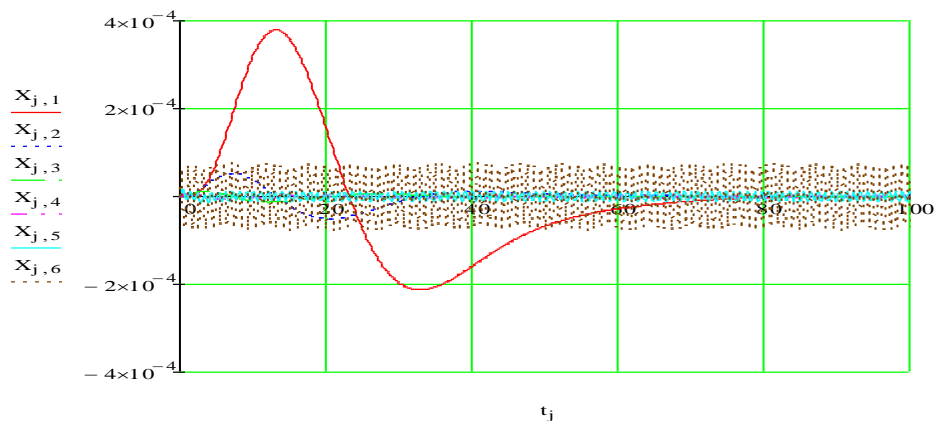
$$W_{\text{ДЧ}}(p) = 14.4 * p^3 + 9.36 * p^2 + 1.44 * p = \frac{y}{x_2}$$

$$(14.4 * p^3 + 9.36 * p^2 + 1.44 * p)x_2 = y$$

$$y(t) = 0 * x_1 + 0 * x_2 + 1.44 * x_3 + 0 * x_4 + 9.36 * x_5 + 14.4 * x_6$$

$$C := (0 \ 0 \ 1.44 \ 0 \ 9.36 \ 14.4)$$

$$D=0$$



8. Оценка параметров режима автоколебаний в нелинейной САУ

Спектр нефазированных гармоник в виде

ряда Фурье имеет вид:

$$y(t) := \frac{A_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} (A_k \cdot \cos(\omega_k) \cdot t + B_k \cdot \sin(\omega_k) \cdot t)$$

A_0 – удвоенное значение постоянной составляющей сигнала за период т.е. среднее значение сигнала;

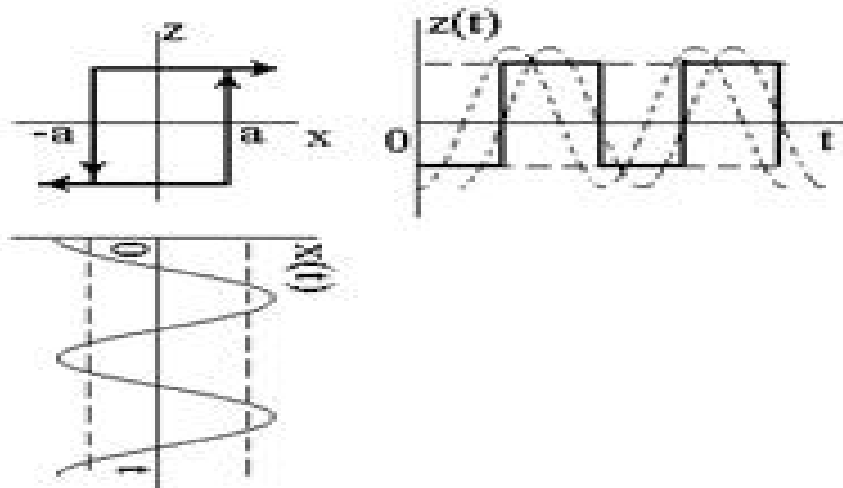
A_k, B_k – амплитуды косинусоидальных и синусоидальных гармоник

В реальных НЭ их статическая характеристика такова, что постоянная составляющая равна нулю и если статическая характеристика – однозначная (без гистерезиса), то в переменной составляющей остаются только синусоидальные гармоники, т.е. $b(X_m) := C$.

По методу гармонической линеаризации в составе сигнала $y(t)$ содержится только первая синусоидальная гармоника:

Исходные данные для оценки параметров режима автоколебаний в нелинейной САУ:

$y_H = f(x_H)$	$g(X_m)$	$b(X_m)$
	$\frac{4Y_m}{\pi X_m} \sqrt{X_m^2 - a^2}$ при $X_m > a$	$-\frac{4Y_m a}{\pi X_m}$ при $X_m > a$



$a=1$;

$Y_m=2$;

$W_{лч}(j\omega) \cdot I_{нэ}(X_m) = -1$ - условие, при котором в системе устанавливаются АК.

$$W_{лч}(j\omega) = -\frac{1}{I_{нэ}(X_m)} = I_{нэ}(X_m)_n^*$$

$$I_{нэ}(X_m) = g(X_m) + j \cdot b(X_m)$$

$$I_{нэ}(X_m)_n^* = -\frac{g(X_m) - j \cdot b(X_m)}{g(X_m)^2 + b(X_m)^2}$$

$$\operatorname{Re}(X_m)_n^* = -\frac{g(X_m)}{g(X_m)^2 + b(X_m)^2}$$

$$\operatorname{Im}(X_m)_n^* = \frac{b(X_m)}{g(X_m)^2 + b(X_m)^2}$$

Запишем КГЛ:

$$g(X_m) = \frac{4 \cdot y_m}{\pi \cdot X_m} \cdot \sqrt{X_m^2 - a^2}$$

$$b(X_m) := \frac{-8}{\pi \cdot X_m^2}$$

Построим графики КГЛ:

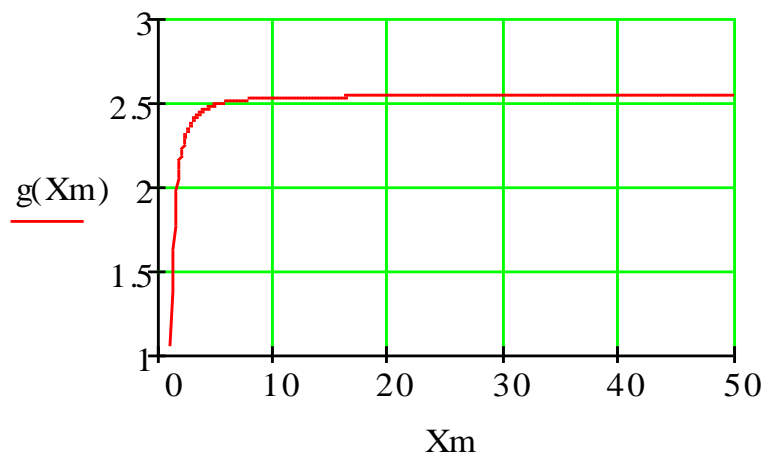


Рисунок 8(а) - График КГЛ по $g(X_m)$.

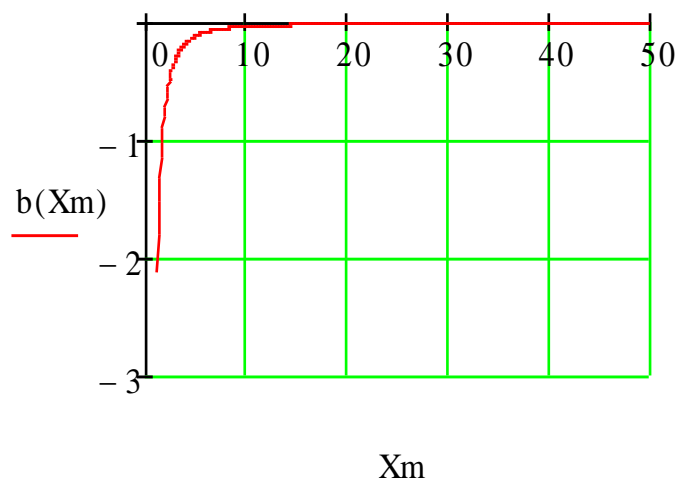


Рисунок 8(б) - График КГЛ по $b(X_m)$.

Построим годограф НЭ $I_{НЭ}^*(X_m)_n$:

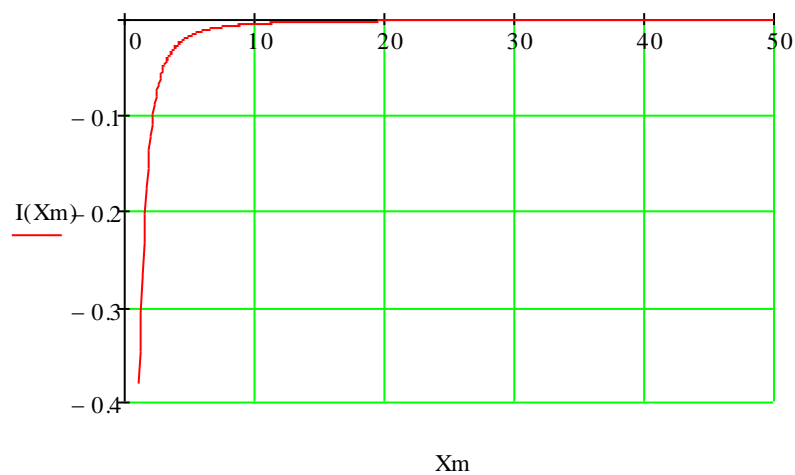


Рисунок 8(в) - График КГЛ по $g(X_m)$ инверсный.

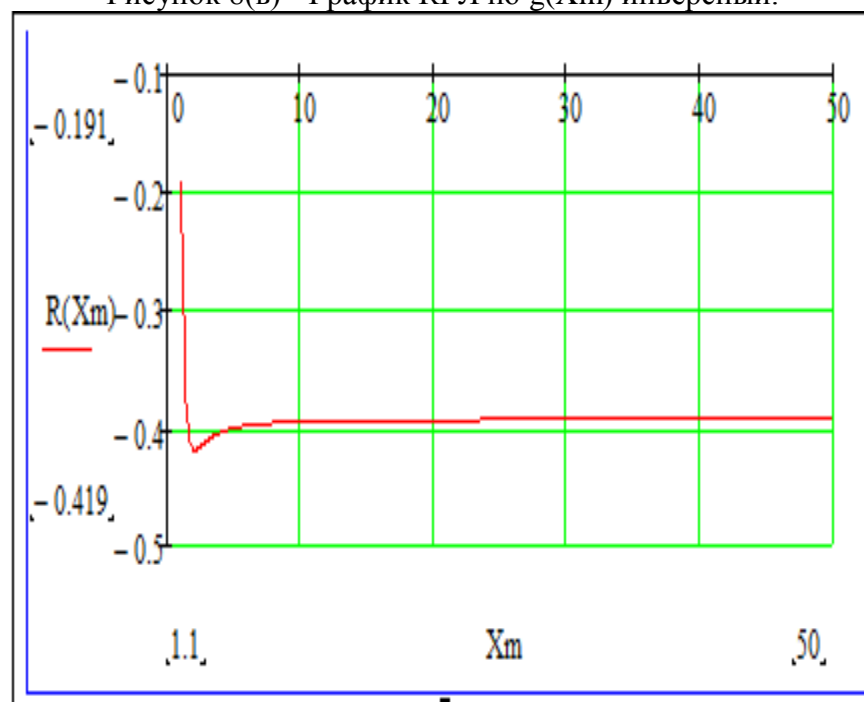


Рисунок 8(г) - График КГЛ по $b(X_m)$ инверсный.

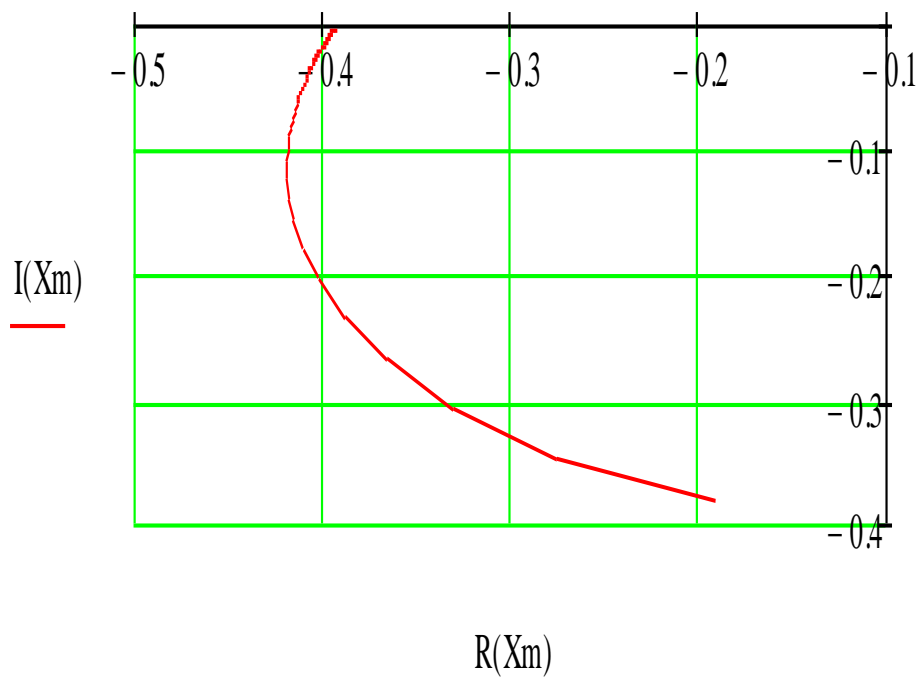


Рисунок 8(д) - Годограф НЭ $I_{HЭ}^*(Xm)_n$

Определение режима АК находится графически на основании двух годографов: годографа ЛЧ $W(j\omega)$ и инверсного отрицательного годографа НЧ $I_{HЭ}^*(Xm)_n$

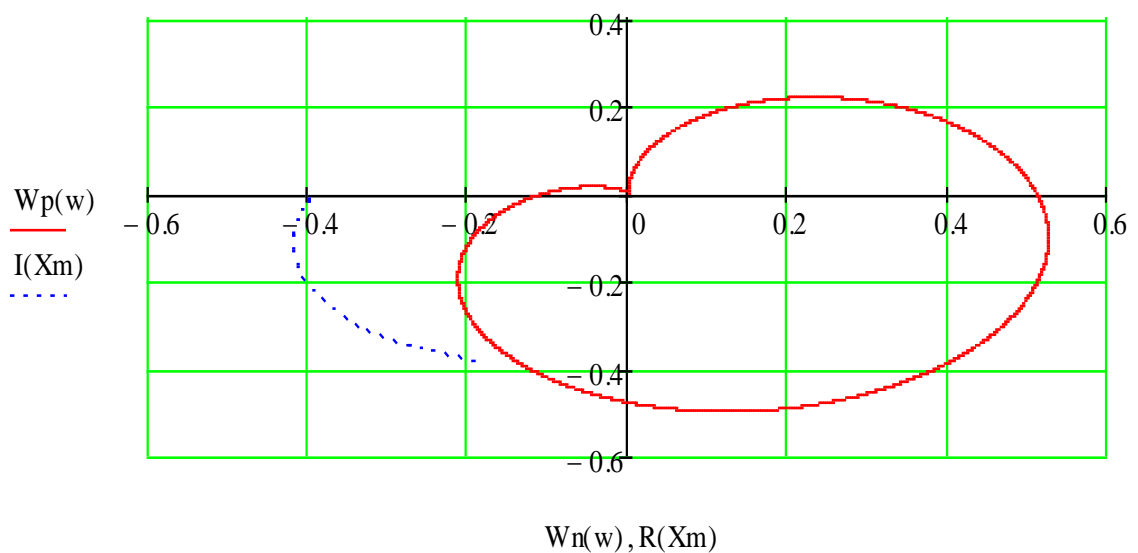


Рисунок 8(е) - Общий график двух годографов: годографа ЛЧ $W(j\omega)$ и инверсного отрицательного годографа НЧ $I_{HЭ}^*(Xm)_n$ (Масштаб 1).

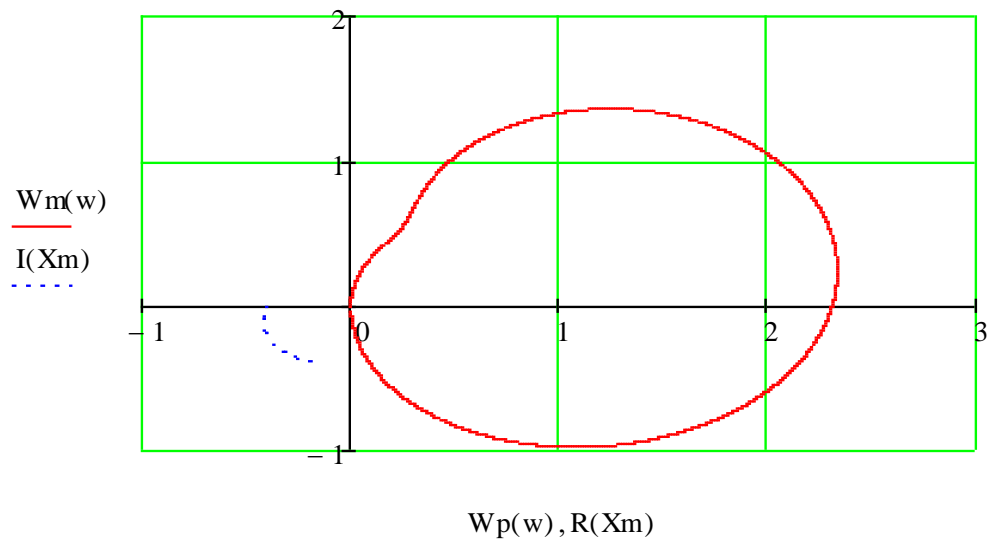


Рисунок 8(ж) - Общий график двух годографов: годографа ЛЧ $W(j\omega)$ и инверсного отрицательного годографа НЧ $I_{нэ}^*(Xm)_n$ (Масштаб 2).

Вывод: при построении данных двух годографов, как по задающему так и по возмущающему воздействию в одной плоскости и в одинаковом масштабе мы не имеем точку пересечения, следовательно автоколебания в САУ не возникают.

Заключение

Для выполнения данной курсового проекта были применены все теоретические и практические навыки, которые были приобретены при изучении курса ТАУ. В данной курсовой проекте была рассчитана и исследована САУ более сложная, чем САУ изучаемые на лабораторном практикуме. Заданная САУ исследовалась с помощью временного и частотного анализа, а также система была рассчитана на устойчивость к внешним воздействиям по разным критериям и методам (по корням ХП, по критерию Гурвица, по методу Раусса, по Михайлову и методом $D - \text{разбиений}$). Расчет САУ происходил с помощью расчетного пакета CLASSIC и математического пакета MathCAD. При выполнении курсового проекта были укреплены теоретические знания и практические навыки по курсу ТАУ, которые в дальнейшем помогут при написании дипломной работы.

					Курсовой проект	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		48

Список используемой литературы

1. Михайловский Е.А. Автоматизация производственных процессов – Кемерово: Высшая школа, 1982г.
2. Солодовников В.В. Теория автоматического регулирования
3. Лурье Б.Я. Классические методы автоматического управления – СПб.: БХВ-Петербург, 2004г.

					Курсовой проект	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		49