

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ УКРАЇНИ
Кафедра автоматичних систем безпеки та інформаційних технологій

методичні вказівки
до лабораторних робіт з дисципліни
"АВТОМАТИКА РАННЬОГО ВИЯВЛЕННЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ"

Харків
2023

Автоматика раннього виявлення надзвичайних ситуацій. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни **«АВТОМАТИКА РАННЬОГО ВИЯВЛЕННЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ»**. Бондаренко С.М., Дурєєв В.О.

У методичних вказівках узагальнений підхід до рішення задачі синтезу систем раннього виявлення надзвичайних ситуацій об'єктів різного призначення. Складені варіанти індивідуальних завдань орієнтовані на комплексне рішення задачі синтезу. У вказівках наведено частину загальних вимог до проектування систем раннього виявлення надзвичайних ситуацій і деякі відомі методики розрахунків.

Методичні вказівки призначені для курсантів і слухачів вищих навчальних закладів ДСНС України, що вивчають дисципліну «Автоматика раннього виявлення надзвичайних ситуацій» за освітньо-професійною програмою пожежна безпека підготовки бакалавра у галузі знань 26 «Цивільна безпека» за спеціальністю 261 «Пожежна безпека».

Іл.- 8, табл.- 18

ЗМІСТ

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1	4
ДОСЛІДЖЕННЯ ЧАСОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМ РАНЬОГО ВИЯВЛЕННЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ.	4
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2	22
ДОСЛІДЖЕННЯ СТІЙКОСТІ СИСТЕМ РАНЬОГО ВИЯВЛЕННЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ.	22
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3	39
ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ ПРОЦЕСУ УПРАВЛІННЯ СИСТЕМАМИ РАНЬОГО ВИЯВЛЕННЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ	39
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4	62
СИНТЕЗ СИСТЕМ РАНЬОГО ВИЯВЛЕННЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ....	62

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

ДОСЛІДЖЕННЯ ЧАСОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМ РАННЬОГО ВИЯВЛЕННЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ.

Мета роботи – _____

Теоретичні основи роботи.

Система управління – _____

Управління – _____

Існують такі принципи управління _____

Сталий режим роботи системи автоматичного управління це _____

Динамічні характеристики системи автоматичного управління це _____

Зовнішній сигнал системи управління

Внутрішній сигнал системи управління

Передаточна функція –

Одинична перехідна функція –

Імпульсна перехідна функція –

Основне рівняння:

$$h(t) = L^{-1} \left\{ \frac{W(p)}{p} \right\}, \quad (1)$$

де $h(t)$ –

$W(p)$ –

p –

Передаточна функція аперіодичної ланки:

$$W(p) = \frac{k}{T \cdot p + 1}, \quad (2)$$

де k –

T –

Передаточна функція коливальної ланки:

$$W(p) = \frac{k}{T^2 \cdot p^2 + 2 \cdot \zeta \cdot T \cdot p + 1}, \quad (3)$$

де k –

T –

ζ –

Призначення елементів програми VisSim 5.0

Елемент **Step block** призначений для

.....

Елемент **ramp** призначений для

.....

Елемент **plot** призначений для

.....

Елемент **TransferFunction** призначений для

.....

Елемент **export** призначений для

.....

За допомогою меню **Симуляція** → **Налаштування симуляції** виконується.....

.....

Кнопка **Go (F5)** призначена

.....

Вихідні данні до лабораторної роботи.

Таблиця А. Значення параметрів елементарних динамічних ланок відповідно до індивідуального завдання № .

Тип ланки	аперіодична		аперіодична		аперіодична		коливальна			коливальна		
Параметри ланок	k_1	$T_{1,c}$	k_2	$T_{2,c}$	k_3	$T_{2,c}$	k_4	$T_{4,c}$	ξ	k_5	$T_{5,c}$	ξ
Значення параметру												

Хід роботи.

1. Записати вирази передаточних функцій ланок у стандартній формі.

Передаточна функція першої ланки:

$$W_1(s) = \dots\dots\dots$$

Передаточна функція другої ланки:

$$W_2(s) = \dots\dots\dots$$

Передаточна функція третьої ланки:

$$W_3(s) = \dots\dots\dots$$

Передаточна функція четвертої ланки:

$$W_4(s) = \dots\dots\dots$$

Передаточна функція п'ятої ланки:

$$W_5(s) = \dots\dots\dots$$

2. Побудувати структурно-динамічну схему в програмі VisSim.
3. Отримати одиничні перехідні функції (ОПФ) ланок, що досліджуються.
4. Результати моделювання занести до таблиць 1.1-1.5.
5. Побудувати графіки ОПФ.
6. По графікам визначити: коефіцієнт передачі, сталу часу, тривалість перехідного процесу.
7. Зробити висновки.

Таблиця 1.1. Значення одиничної перехідної функції для першої ланки з передаточною функцією $W_1(s) = \dots\dots\dots$

t,с	0									∞
h(t)										

Таблиця 1.2.

t,с	0									∞
h(t)										

Таблиця 1.3.

t,с	0									∞
h(t)										

Таблиця 1.4.

t,с	0									∞
h(t)										

Таблиця 1.5.

t,с	0									∞
h(t)										

Висновки:

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

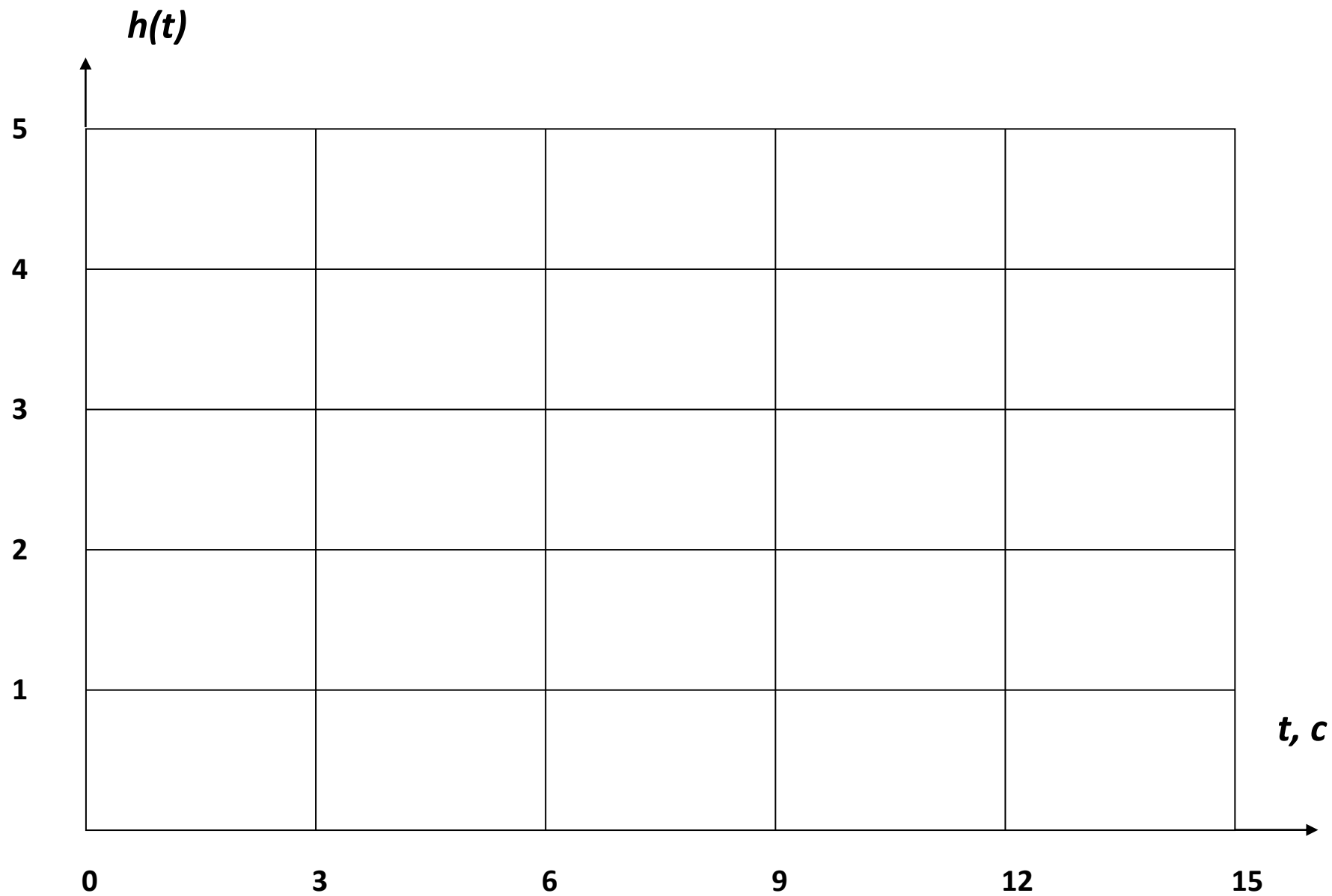


Рисунок 1.1. Графік одиничної перехідної функції ланки з передаточною функцією $W_1(s) = \dots\dots\dots$

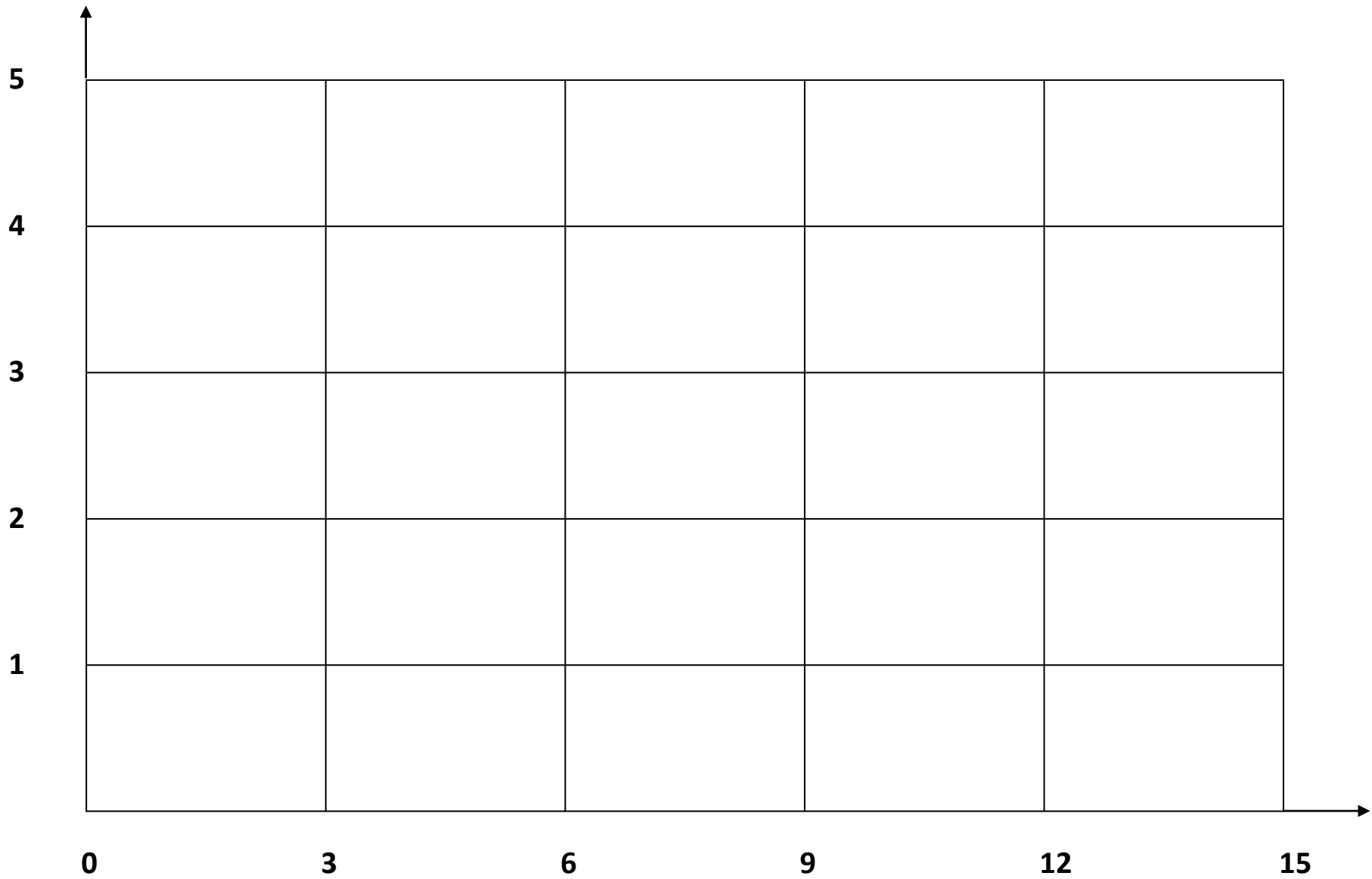


Рисунок 1.2. Графік одиничної перехідної функції ланки з передаточною функцією $W_2(s) = \dots\dots\dots$

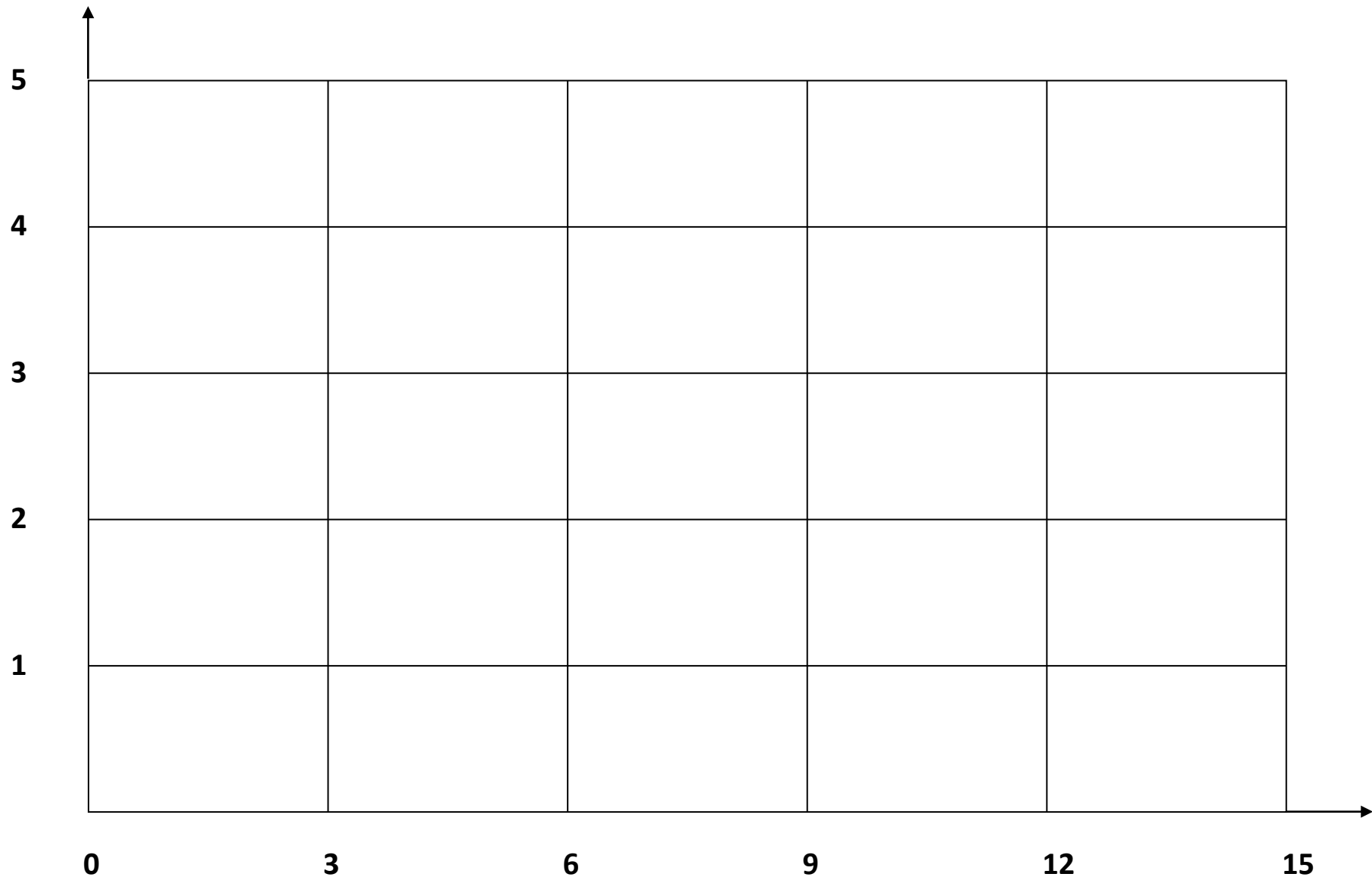


Рисунок 1.3. Графік одиничної перехідної функції ланки з передаточною функцією $W_3(s) = \dots\dots\dots$

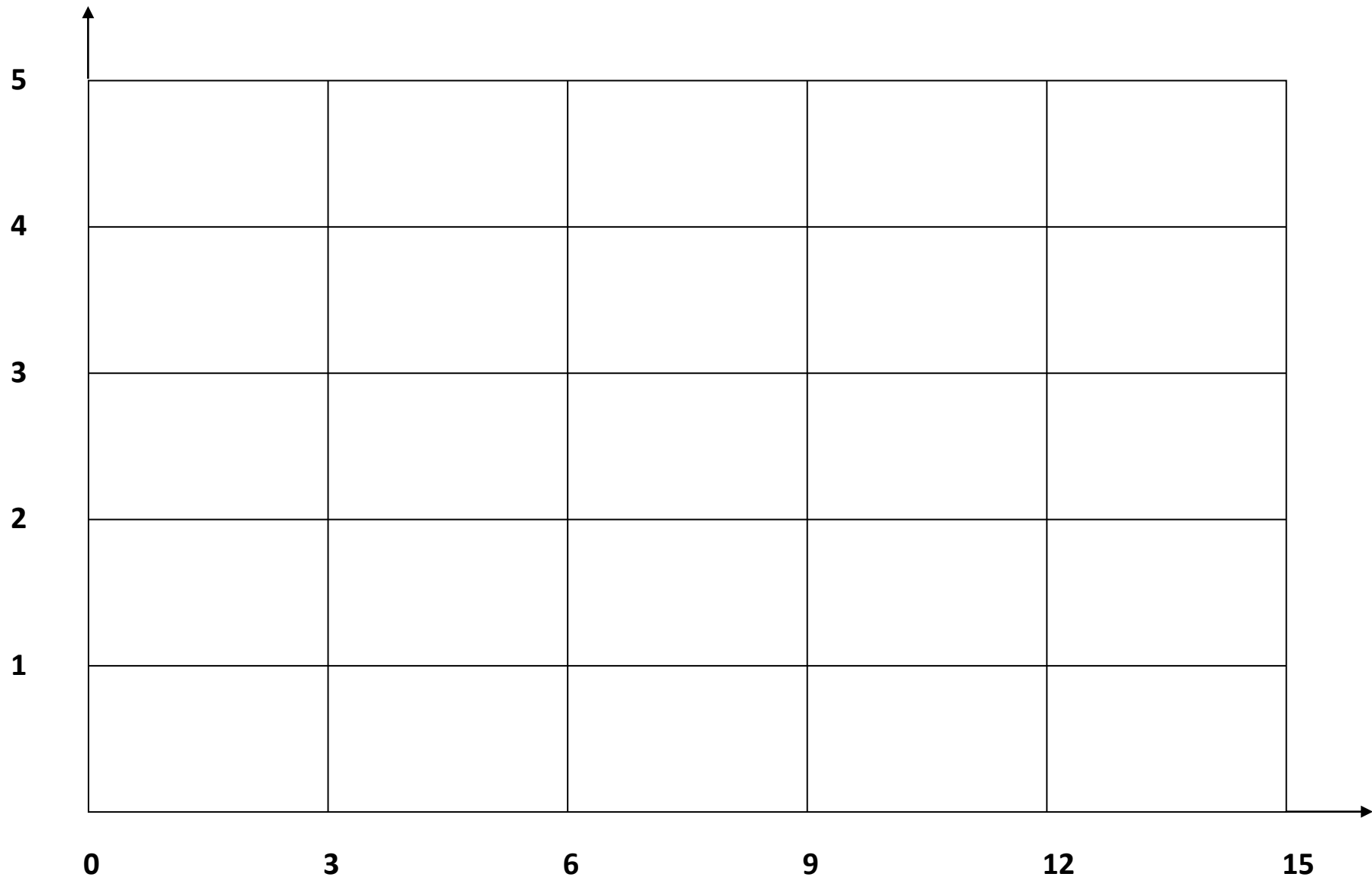


Рисунок 1.4. Графік одиничної перехідної функції ланки з передаточною функцією $W_4(s) = \dots\dots\dots$

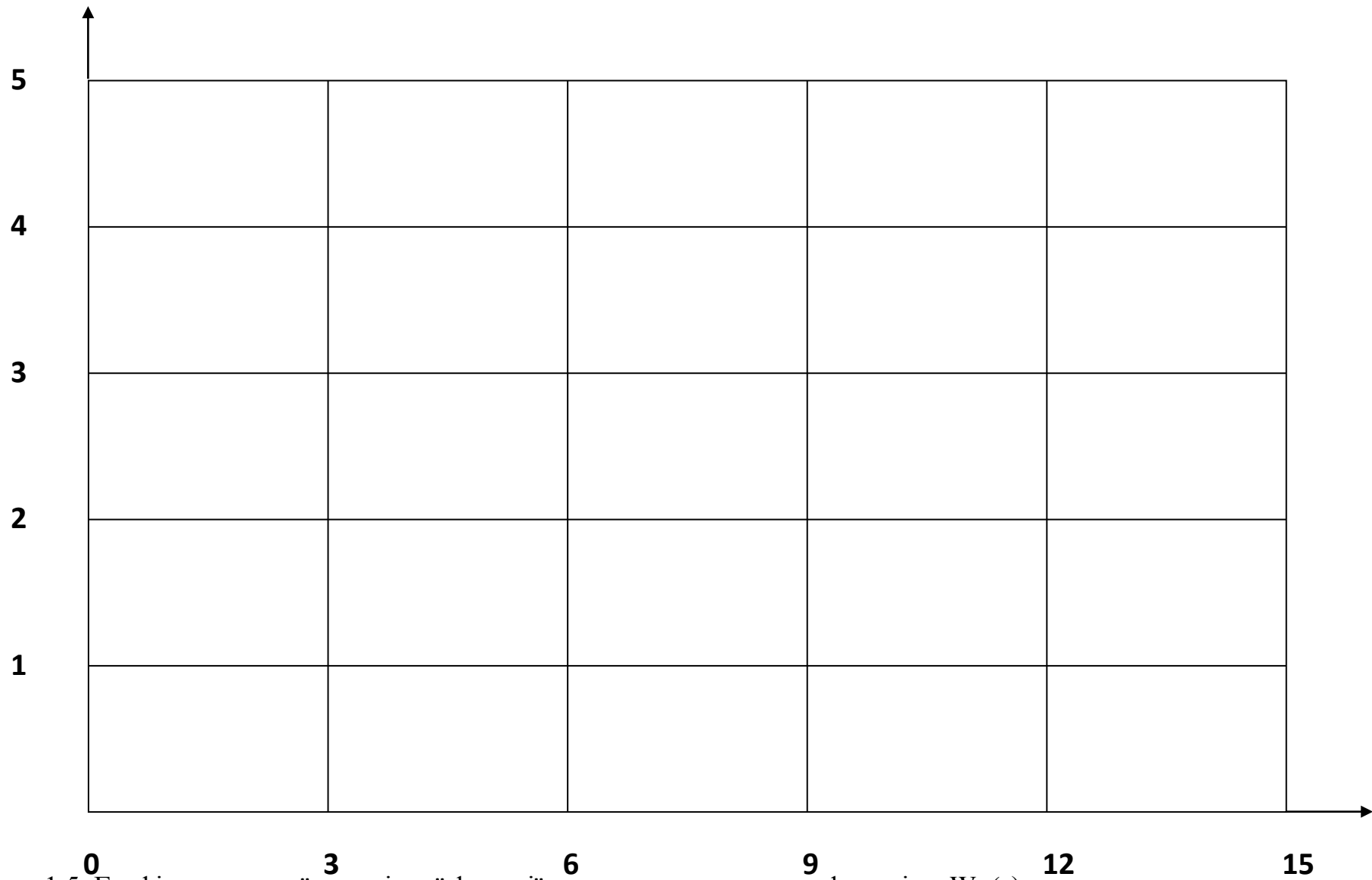
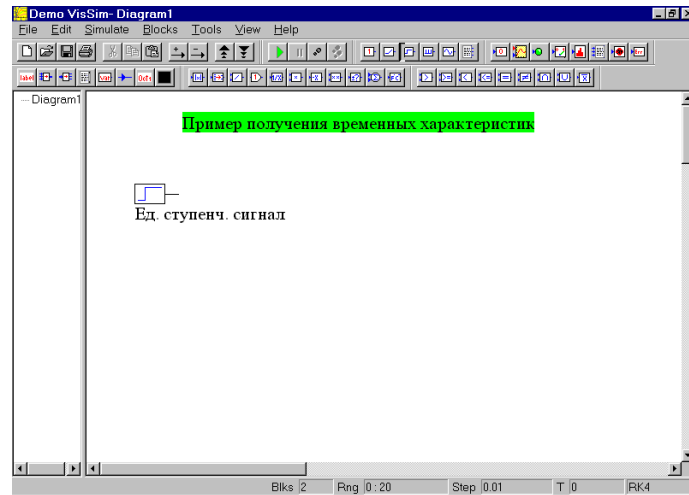


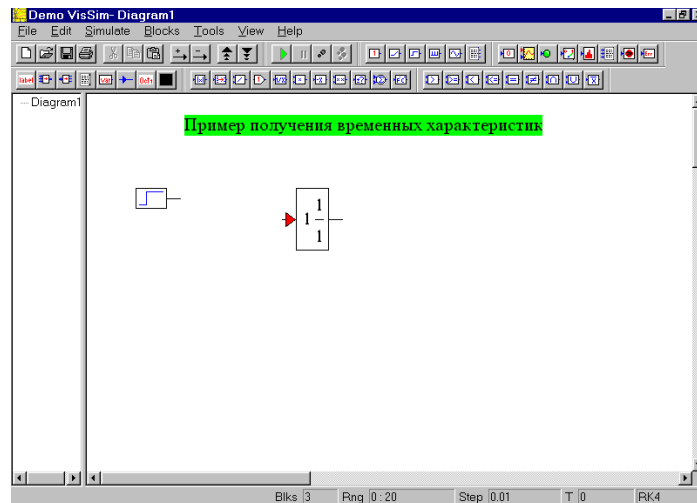
Рисунок 1.5. Графік одиничної перехідної функції ланки з передаточною функцією $W_5(s) = \dots\dots\dots$

Побудова часових характеристик елементів систем автоматичного управління в програмі VisSim 5.0

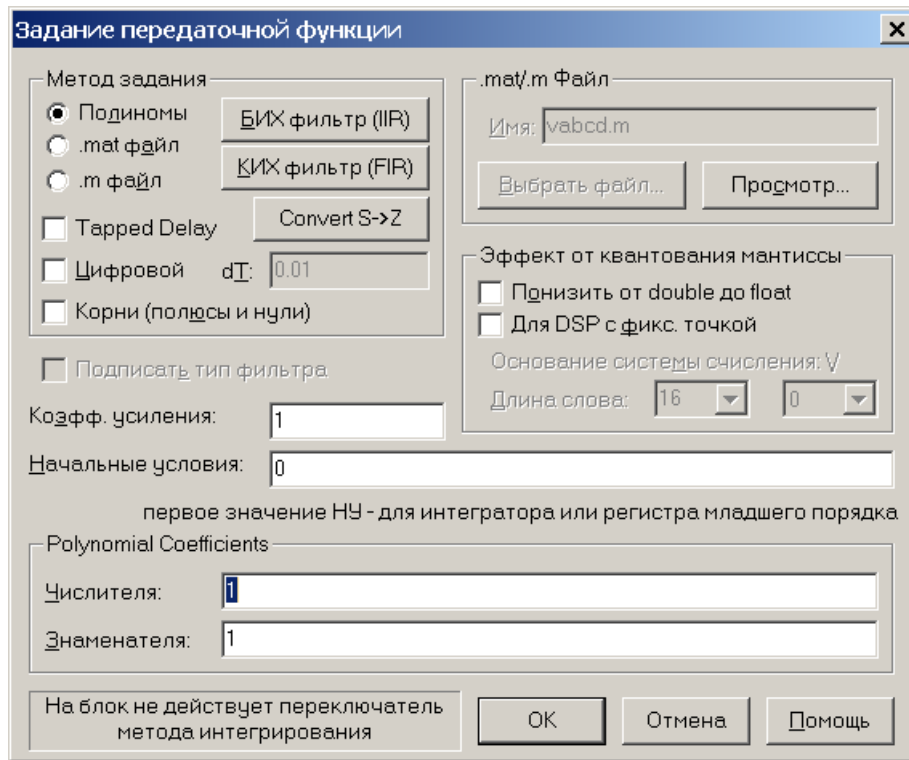
1. В операційній системі Windows знайти на робочому столі ярлик програми **VisSim** та активізувати його подвійним кліком миші.
2. На робочому полі програми **VisSim** встановити піктограму одиничного ступінчастого сигналу **Step block** (див. рис.)



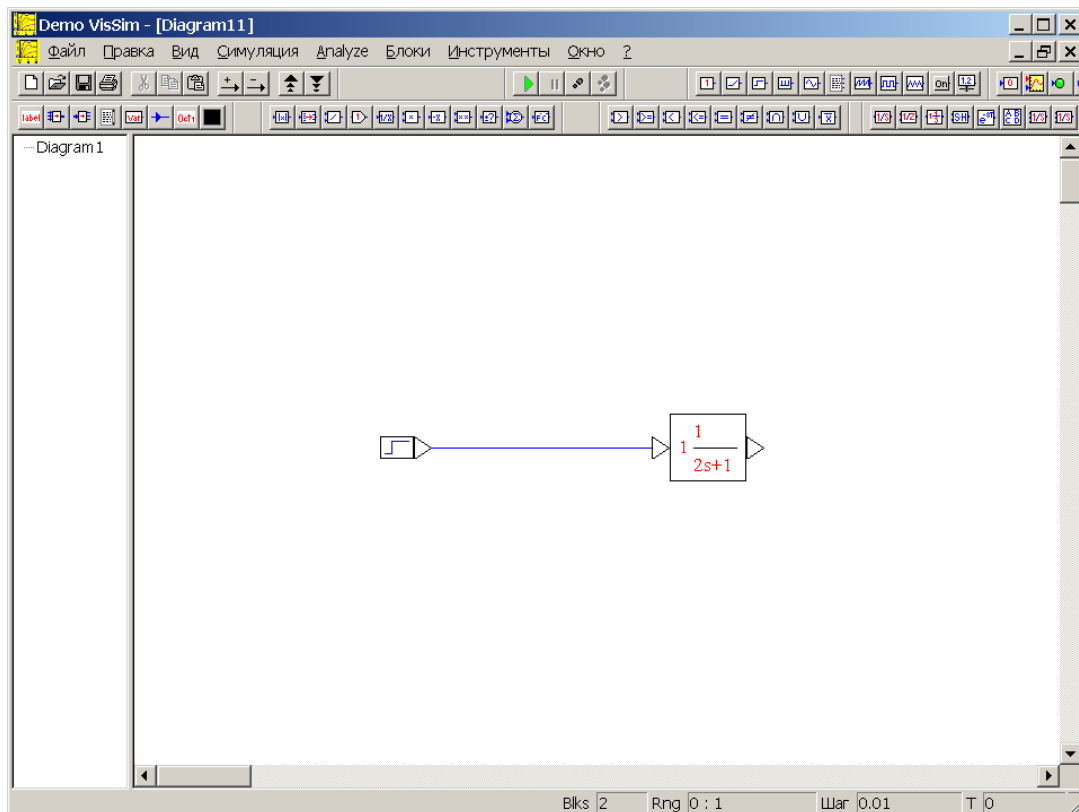
Праворуч встановити піктограму передаточної функції **transferFunction** .3



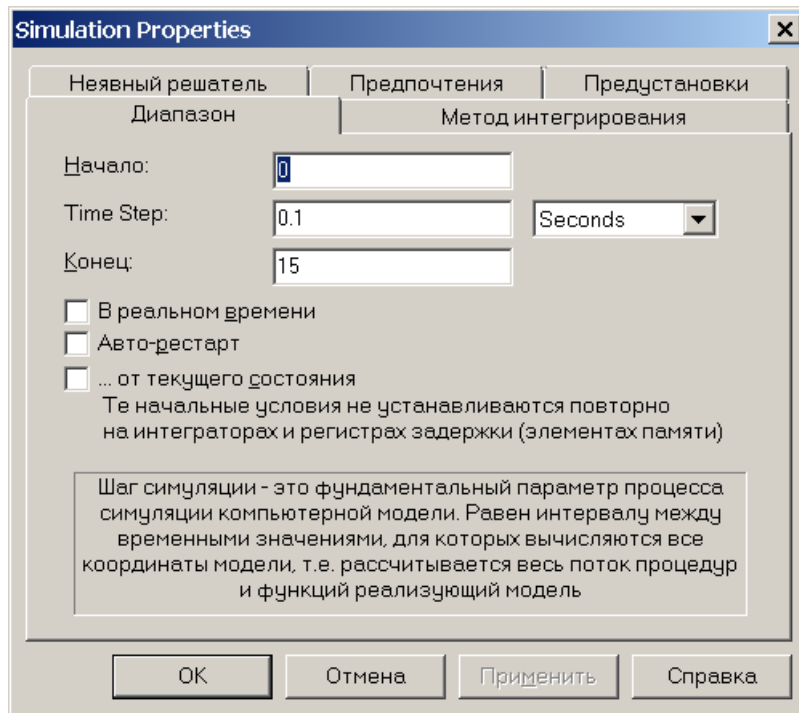
4. Вказати значення полінома чисельника та знаменника. Для цього підводимо курсор до піктограми **transferFunction** і натискаємо праву клавішу миші



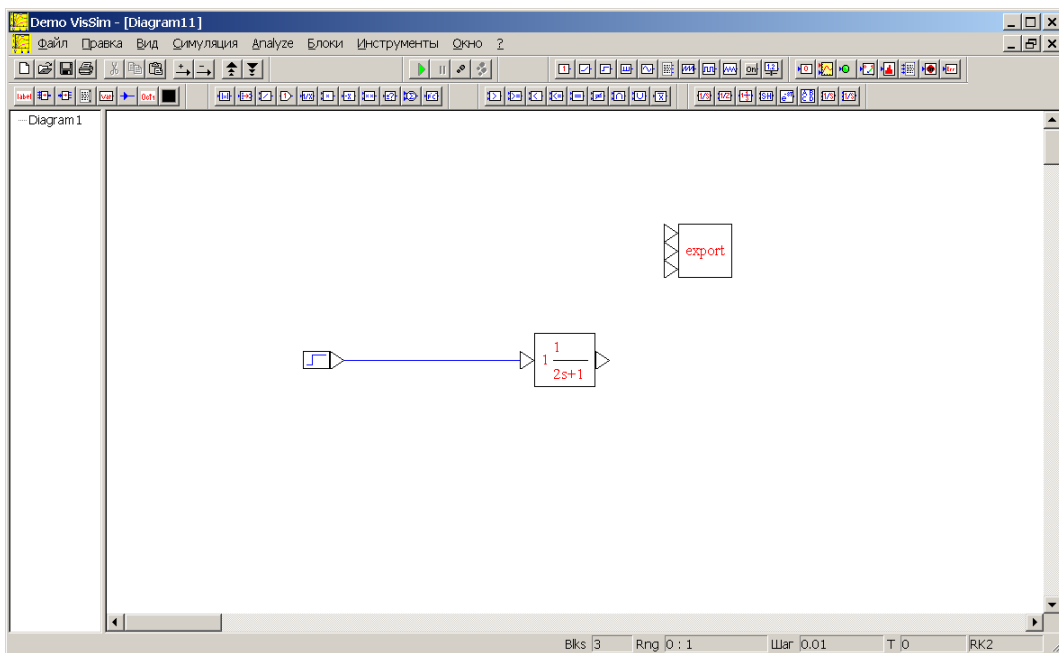
У вікні **Polynomial Coefficient** задаємо значення коефіцієнтів чисельника та знаменника передаточної функції відповідно до індивідуального завдання 4. Поєднати вихід генератора одиничного сигналу з входом передаточної функції



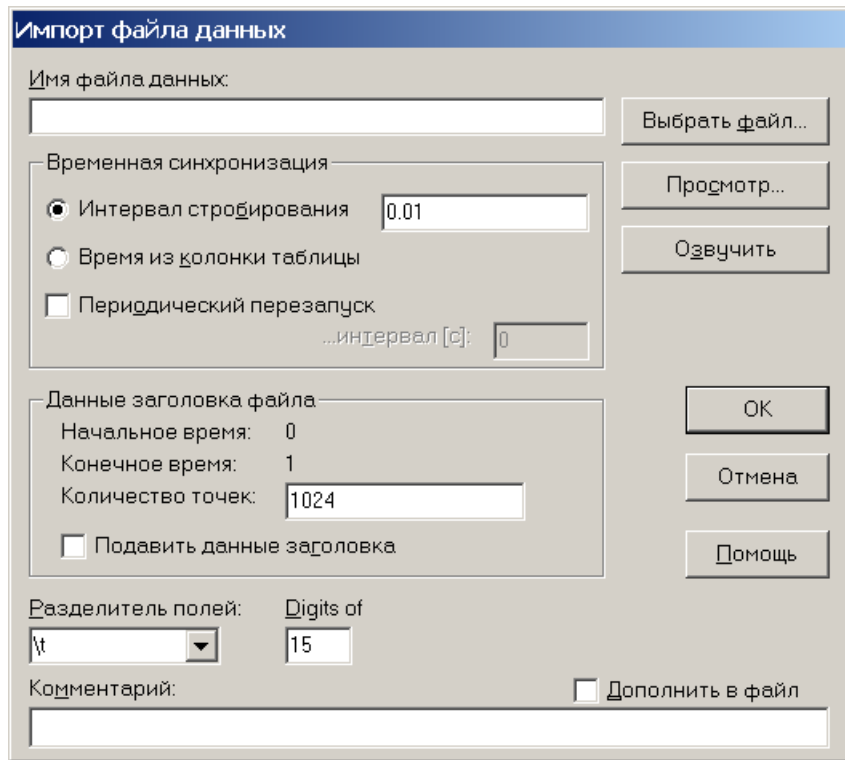
5. Задати параметри режиму моделювання. Обравши пункт меню **Симуляция** → **Настройки симуляции**. Задати значення параметрів, як вказано у вікні.



6. Встановити піктограму вихідного сигналу типу **export** (натискаючи третю справа кнопку у верхньому ряду)

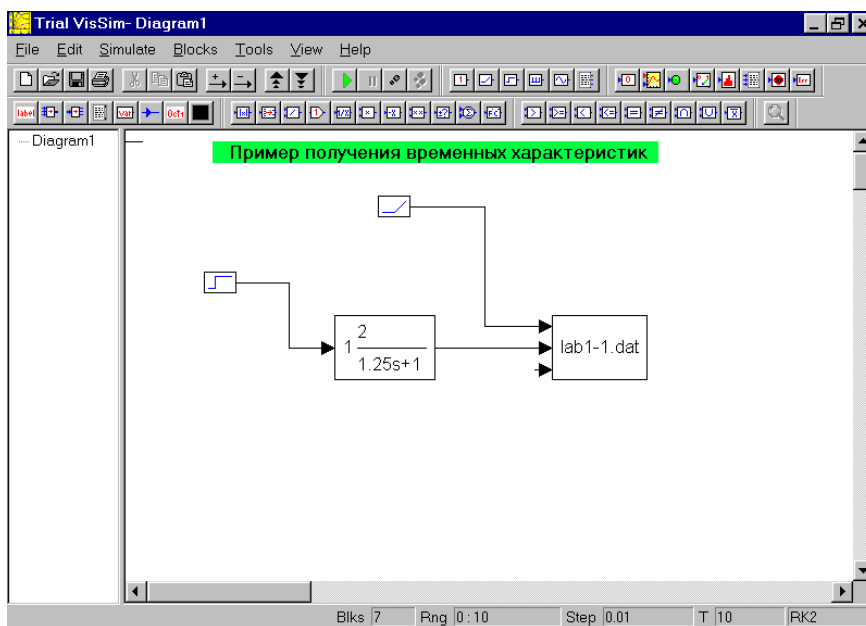


7. Задати властивості блоку **export**, для цього навести курсор на піктограму **export** і натиснути праву клавішу миші



натиснути кнопку **Выбрать файл...** та вказати місце на жорсткому диску де буде розташовано файл результатів розрахунку **lab-1- .dat** в полі **Имя файла данных** повинно з'явитись путь та ім'я файлу, в якому будуть зберігатись результати розрахунків. В полі **Временная синхронизация** записати значення шагу виводу даних **Интервал стробирования 0.5** Завершити редагування натиснувши кнопку **ОК**.

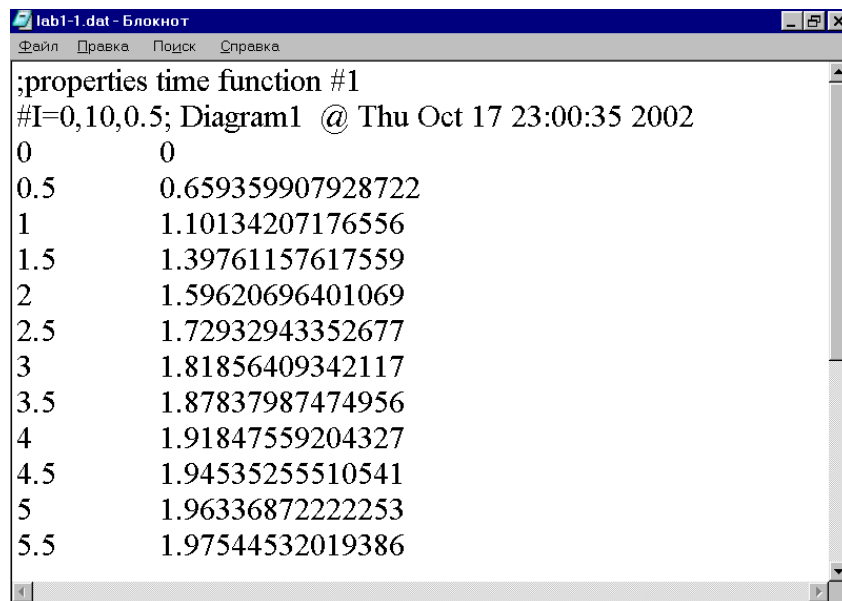
8. Над піктограмою передаточної функції встановити піктограму **ramp** (вхідного сигналу що змінюється лінійно)



Поєднати перший вхід піктограми **export** з виходом піктограми сигналу що лінійно змінюється, а другий вхід з виходом передаточної функції.

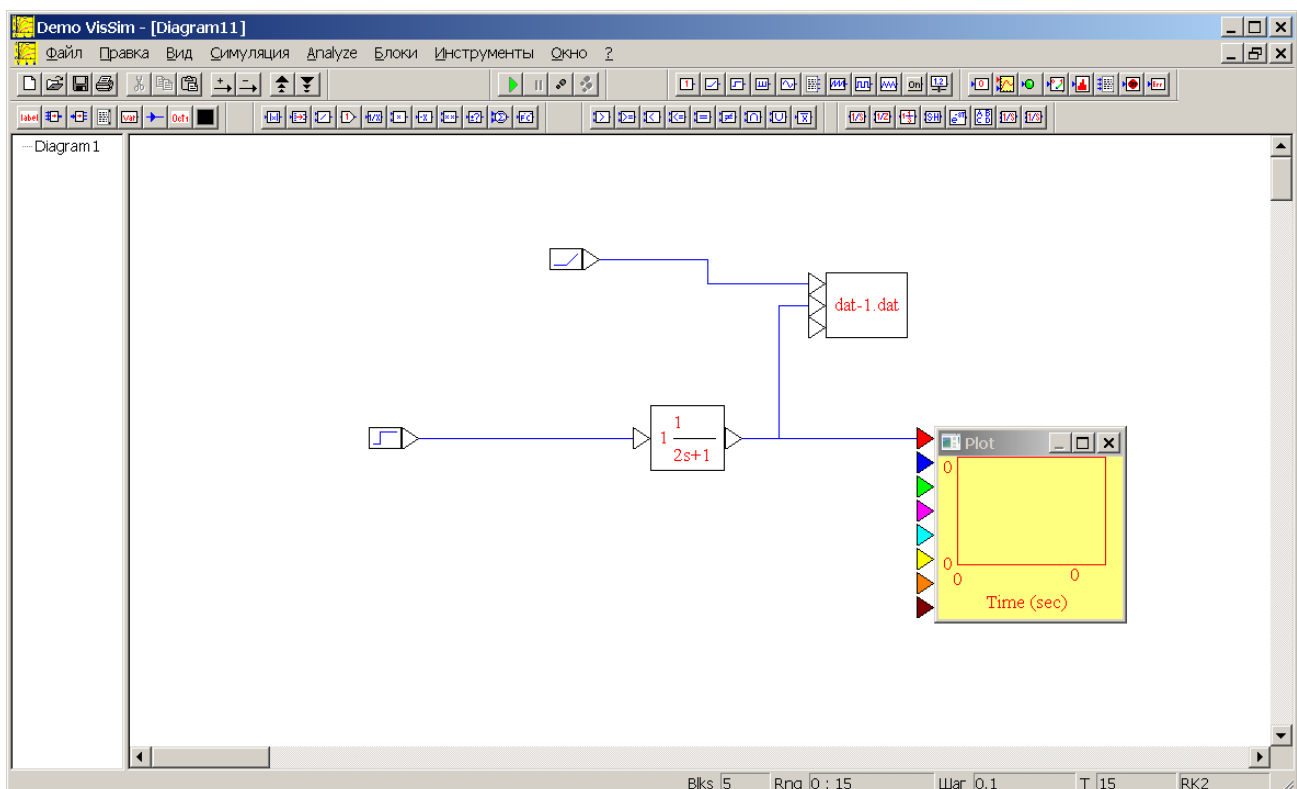
9. Виконати розрахунки, для цього необхідно натиснути клавішу **F5** на клавіатурі або кнопку **Go** на панелі кнопок.

10. Розглянути результати розрахунків. Навести курсор на піктограму **export** і натиснути праву клавішу миші, натиснути кнопку **Просмотр...** На екрані з'явиться наступне вікно

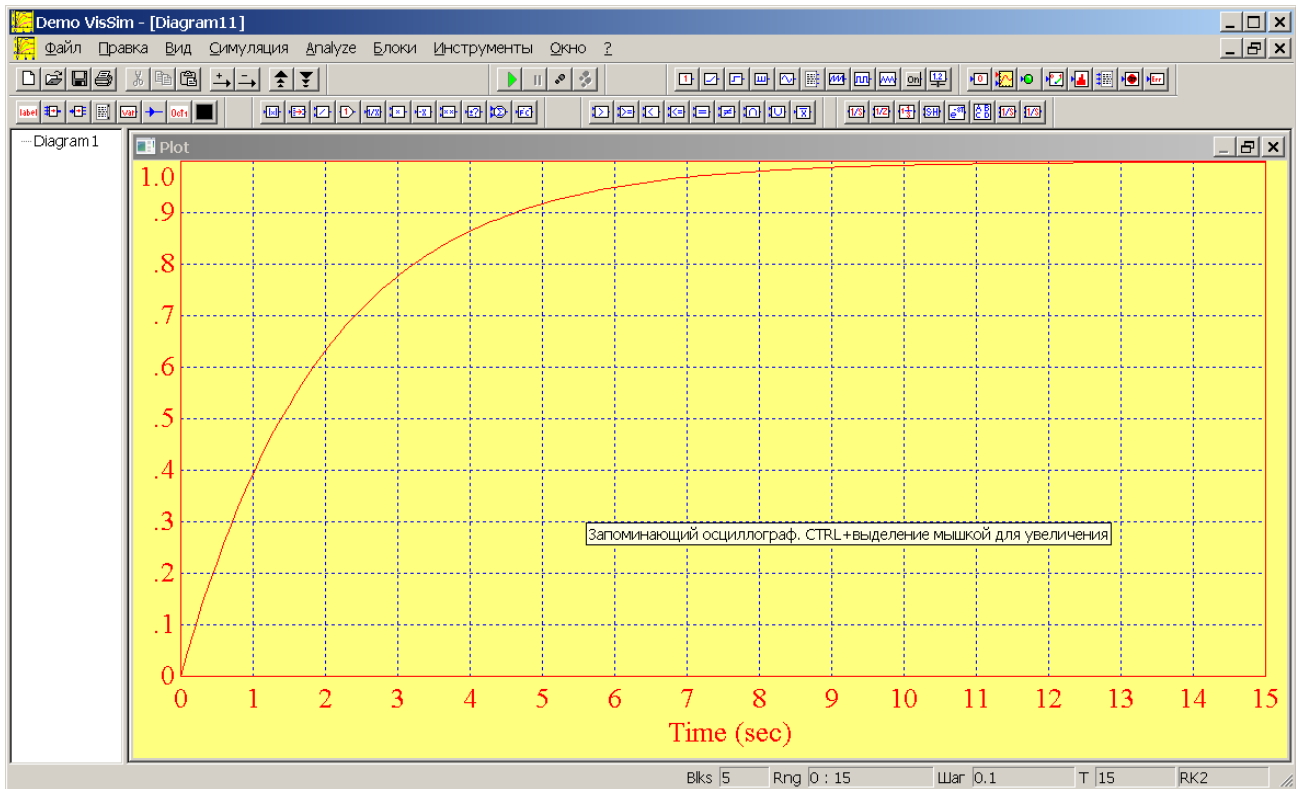


Перша колонка містить значення поточного часу а друга значення вихідного сигналу. Переписати отриманні данні до зошита у вигляді таблиці, округляючи значення вихідного сигналу до однієї сотої. За отриманими даними збудувати графік перехідного процесу.

11. Натиснути кнопку **Plot**, розташувати піктограму під зображенням передаточної функції. Поєднати вихід передаточної функції з одним з входів графіку.



12. Виконати розрахунок (натиснути клавішу **F5**). Розгорнути отриманий графік на все робоче поле (натиснути кнопку **Максимізувати** на вікні **Plot**).



Перевірити зображення на моніторі з графіком перехідної функції що збудована за табличними даними. Повернутися в попереднє становище натиснувши кнопку **Мінімізувати**.

Перелік індивідуальних завдань

Номер індивідуального завдання обирається відповідно до останньої цифри в номері залікової книжки.

ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ № 1

Тип ланки	аперіодична		аперіодична		аперіодична		коливальна			коливальна		
Параметри ланок	k_1	$T_{1,c}$	k_2	$T_{2,c}$	k_3	$T_{2,c}$	k_4	$T_{4,c}$	ξ	k_5	$T_{5,c}$	ξ
Значення параметру	1	2	1	1.2	1.5	1.2	2	1.1	0.2	2	1.1	1

ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ № 2

Тип ланки	аперіодична		аперіодична		аперіодична		коливальна			коливальна		
Параметри ланок	k_1	$T_{1,c}$	k_2	$T_{2,c}$	k_3	$T_{2,c}$	k_4	$T_{4,c}$	ξ	k_5	$T_{5,c}$	ξ
Значення параметру	1.2	1.5	1.2	2	1.7	2	1.8	1.3	0.3	1.8	1.3	1.1

ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ № 3

Тип ланки	аперіодична		аперіодична		аперіодична		коливальна			коливальна		
Параметри ланок	k_1	$T_{1,c}$	k_2	$T_{2,c}$	k_3	$T_{2,c}$	k_4	$T_{4,c}$	ξ	k_5	$T_{5,c}$	ξ
Значення параметру	1.3	1.6	1.3	2.2	1.8	2.2	1.6	1.5	0.4	1.6	1.5	1.2

ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ № 4

Тип ланки	аперіодична		аперіодична		аперіодична		коливальна			коливальна		
Параметри ланок	k_1	$T_{1,c}$	k_2	$T_{2,c}$	k_3	$T_{2,c}$	k_4	$T_{4,c}$	ξ	k_5	$T_{5,c}$	ξ
Значення параметру	1.4	1.7	1.4	2.4	1.9	2.4	1.4	1.6	0.5	1.4	1.6	1.3

ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ № 5

Тип ланки	аперіодична		аперіодична а		аперіодична а		коливальна			коливальна		
Параметри ланок	k_1	$T_{1,c}$	k_2	$T_{2,c}$	k_3	$T_{2,c}$	k_4	$T_{4,c}$	ξ	k_5	$T_{5,c}$	ξ
Значення параметру	1.5	1.8	1.5	2.6	2	2.6	1.2	2	0.6	1.2	2	1.25

ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ № 6

Тип ланки	аперіодична		аперіодична		аперіодична		коливальна			коливальна		
Параметри ланок	k_1	$T_{1,c}$	k_2	$T_{2,c}$	k_3	$T_{2,c}$	k_4	$T_{4,c}$	ξ	k_5	$T_{5,c}$	ξ
Значення параметру	1.6	1.9	1.6	2.8	2.1	2.8	1	1.4	0.25	1	1.4	0.7

ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ № 7

Тип ланки	аперіодична		аперіодичн а		аперіодичн а		коливальна			коливальна		
Параметр и ланок	k_1	$T_{1,c}$	k_2	$T_{2,c}$	k_3	$T_{2,c}$	k_4	$T_{4,c}$	ξ	k_5	$T_{5,c}$	ξ
Значення параметру	1.7	2	1.7	3	1.5	3	1.1	1.3	0.35	1.1	1.3	0.8

ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ № 8

Тип ланки	аперіодична		аперіодичн а		аперіодичн а		коливальна			коливальна		
Параметр и ланок	k_1	$T_{1,c}$	k_2	$T_{2,c}$	k_3	$T_{2,c}$	k_4	$T_{4,c}$	ξ	k_5	$T_{5,c}$	ξ
Значення параметру	1.8	2.1	1.8	1.2	1.4	1.2	1.3	1.5	0.45	1.3	1.5	0.9

ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ № 9

Тип ланки	аперіодична		аперіодична		аперіодична		коливальна			коливальна		
Параметри ланок	k_1	$T_{1,c}$	k_2	$T_{2,c}$	k_3	$T_{2,c}$	k_4	$T_{4,c}$	ξ	k_5	$T_{5,c}$	ξ
Значення параметру	1.9	2.3	1.9	1.2	1.3	1.2	1.5	1.8	0.55	1.5	1.8	1

ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ № 10

Тип ланки	аперіодична		аперіодичн а		аперіодичн а		коливальна			коливальна		
Параметр и ланок	k_1	$T_{1,c}$	k_2	$T_{2,c}$	k_3	$T_{2,c}$	k_4	$T_{4,c}$	ξ	k_5	$T_{5,c}$	ξ
Значення параметру	2	2.5	2	1.1	1.25	1.1	1.7	1.3	0.35	1.7	1.3	1.1

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

ДОСЛІДЖЕННЯ СТІЙКОСТІ СИСТЕМ РАНЬОГО ВИЯВЛЕННЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ.

Мета роботи – _____

Теоретичні основи роботи.

Амплітудно-фазова характеристика – _____

Амплітудно-частотна характеристика – _____

Фазово-частотна характеристика – _____

В системах автоматички застосовують такі види з'єднань _____

Стійкість систем автоматичного регулювання –

Необхідна і достатня ознака стійкості

Критерії стійкості

Визначення стійкості системи по критерію Гурвіца

Визначення стійкості системи по критерію Михайлова

Основні рівняння:

$$W(j\omega) = P(\omega) + j \cdot Q(\omega) = A(\omega) \cdot e^{j \cdot \varphi(\omega)}, \quad (1)$$

де $W(j\omega)$ –

$A(\omega)$ –

$\varphi(\omega)$ –

$$A(\omega) = |W(j\omega)| = \sqrt{(P(\omega))^2 + (Q(\omega))^2}, \quad (2)$$

де $P(\omega)$ –

$Q(\omega)$ –

$$\varphi(\omega) = \arg W(j\omega) = \operatorname{arctg} \frac{P(\omega)}{Q(\omega)}, \quad (3)$$

де j –

ω –

Еквівалентна передаточна функція _____ з'єднання трьох ланок розраховується за формулою:

$$W(p) = \frac{X(p)}{Z(p)} = W_1(p) \cdot W_2(p) \cdot W_3(p).$$

Еквівалентна передаточна функція _____ з'єднання трьох ланок розраховується за формулою:

$$W(p) = \frac{X(p)}{Z(p)} = W_1(p) + W_2(p) + W_3(p).$$

Еквівалентна передаточна функція _____ з'єднання двох ланок розраховується за формулою:

$$W(p) = \frac{X(p)}{Z(p)} = \frac{W_1(p) \cdot W_2(p)}{1 + W_1(p) \cdot W_2(p)}$$

Призначення елементів програми VisSim 5.0

Елемент **summing Junction** призначений для

.....

Елемент **integrator** призначений для

.....

Елемент **gain** призначений для

.....

Елемент **TransferFunction** призначений для

.....

Елемент **Step block** призначений для

.....

За допомогою меню **Analyze** → **Transfer Function Info** виконується.....

.....

За допомогою меню **Analyze** → **Root Locus** виконується.....

.....

Кнопка **Go** (F5) призначена

.....

Вихідні данні до лабораторної роботи.

Таблиця А. Значення параметрів елементарних динамічних ланок відповідно до індивідуального завдання № .

Тип ланки	аперіодична		аперіодична		інтегрувальна
Параметри ланок	k_1	$T_{1,c}$	k_2	$T_{2,c}$	k_3
Значення параметру					

Хід роботи.

1. Записати вирази передаточних функцій ланок у стандартній формі.

Передаточна функція першої ланки:

$$W_1(p) = \dots\dots\dots$$

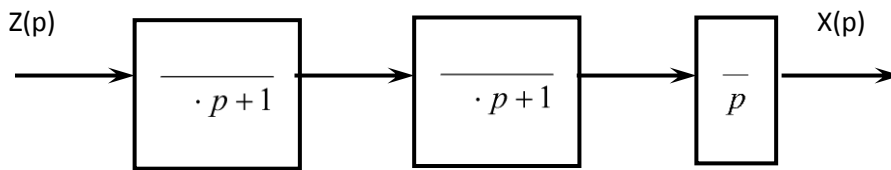
Передаточна функція другої ланки:

$$W_2(p) = \dots\dots\dots$$

Передаточна функція третьої ланки:

$$W_3(p) = \dots\dots\dots$$

2. Зобразити структурно-динамічну схему послідовного з'єднання:



3. Розрахувати еквівалентну передаточну функцію з'єднання:

$$W_{pZ}(p) = \frac{X(p)}{Z(p)} = W_1(p) \cdot W_2(p) \cdot W_3(p) = \frac{1}{p+1} \cdot \frac{1}{p+1} \cdot \frac{1}{p} =$$

$$= \frac{1}{p^3 + (1+1) \cdot p^2 + p} = \frac{1}{p^3 + 2p^2 + p}$$

4. Провести дослідження стійкості системи по критерію Гурвіца
Для цього за отриманою передаточною функцією записуємо
характеристичний поліном:

$$G_1(p) = _ \cdot p^3 + _ \cdot p^2 + _ \cdot p$$

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} _ & _ & 0 \\ _ & _ & 0 \\ 0 & _ & _ \end{vmatrix} =$$

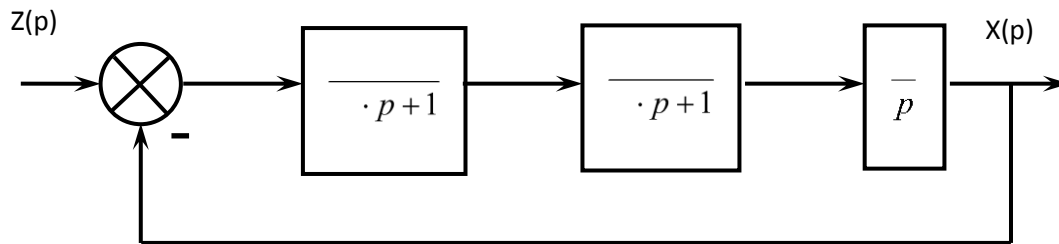
$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} _ & _ \\ _ & _ \end{vmatrix} =$$

$$\Delta_1 =$$

5. Зробити висновки про стійкість системи, що досліджується.

Система, що досліджується _____ стійка.

6. Побудувати структурно-динамічну схему послідовного з'єднання в програмі VisSim.
7. Отримати в програмі VisSim одиничну перехідну функцію з'єднання, що досліджується (матеріал лабораторної роботи №1).
8. Засобами програми VisSim отримати інформацію про передаточну функцію з'єднання, що досліджується. Результат записати до табл.2.1 та табл.2.2
9. Засобами програми VisSim отримати інформацію про розташування коренів характеристичного рівняння з'єднання та представити графічно на комплексній площині (рис. 2.1)
10. По розташуванню коренів характеристичного рівняння зробити висновок про стійкість системи (з'єднання).
11. Зобразити структурно-динамічну схему зустрічно-паралельного з'єднання:



12. Розрахувати еквівалентну передаточну функцію з'єднання:

$$W_{ZPZ}(p) = \frac{W_1(p) \cdot W_2(p) \cdot W_3(p)}{1 + W_1(p) \cdot W_2(p) \cdot W_3(p)} = \frac{\cdot \cdot}{\cdot \cdot p^3 + (\cdot + \cdot) \cdot p^2 + p + \cdot \cdot} =$$

$$= \frac{\cdot \cdot}{\cdot \cdot p^3 + \cdot \cdot p^2 + \cdot \cdot p + \cdot \cdot}$$

13. Провести дослідження стійкості системи по критерію Гурвіца за отриманою передаточною функцією

$$G_2(p) = \cdot \cdot p^3 + \cdot \cdot p^2 + \cdot \cdot p + \cdot \cdot$$

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} \cdot & \cdot & 0 \\ \cdot & \cdot & 0 \\ 0 & \cdot & \cdot \end{vmatrix} =$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot \end{vmatrix} =$$

$$\Delta_1 =$$

14.Зробити висновки про стійкість системи, що досліджується.

Система, що досліджується _____ стійка.

Таблиця 2.1 Зміст інформаційного файлу (коефіцієнти поліномів).

Вид з'єднання	Коефіцієнти чисельника	Коефіцієнти знаменника			
Послідовне					
Зустрічно-паралельне					

Таблиця 2.2 Зміст інформаційного файлу (нулі та полюси поліномів).

Вид з'єднання	Нулі чисельника	Полюси знаменника			
Послідовне					
Зустрічно-паралельне					

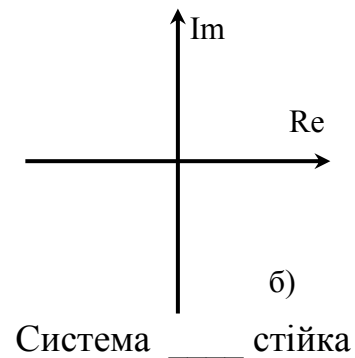
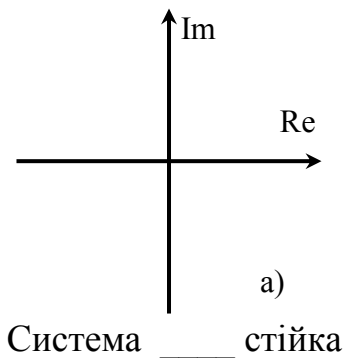


Рис. 2.1 Розташування коренів характеристичного рівняння на комплексній площині: а) для послідовного з'єднання; б) для зустрічно-паралельного з'єднання.

Висновки:

.....

.....

.....

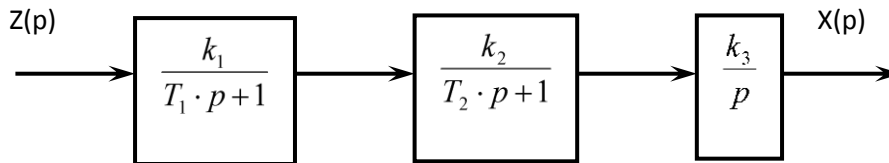
.....

.....

.....

Алгоритм визначення еквівалентної передаточної функції

1. Визначити еквівалентну передаточну функцію послідовно з'єднаних ланок: двох аперіодичних $W_1(p) = \frac{k_1}{T_1 \cdot p + 1}$, $W_2(p) = \frac{k_2}{T_2 \cdot p + 1}$ та інтегруючої $W_3(p) = \frac{k_3}{p}$.



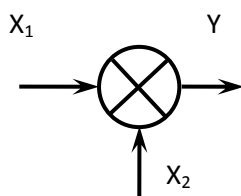
Передаточна функція послідовного з'єднання знаходиться як добуток передаточних функцій ланок.

$$W_{pz}(p) = \frac{X(p)}{Z(p)} = W_1(p) \cdot W_2(p) \cdot W_3(p)$$

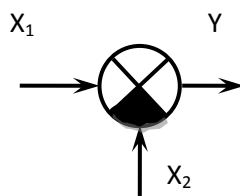
В загальному вигляді еквівалентна передаточна функція буде дорівнювати:

$$W_{pz}(p) = \frac{k_1}{T_1 \cdot p + 1} \cdot \frac{k_2}{T_2 \cdot p + 1} \cdot \frac{k_3}{p} = \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot k_3}{(T_1 \cdot p + 1) \cdot (T_2 \cdot p + 1) \cdot p} = \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot k_3}{T_1 \cdot T_2 \cdot p^3 + (T_1 + T_2) \cdot p^2 + p}$$

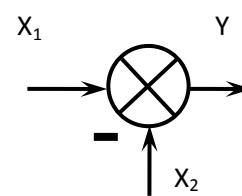
2. Еквівалентні перетворення для безінерційного суматора



$$Y = X_1 + X_2$$

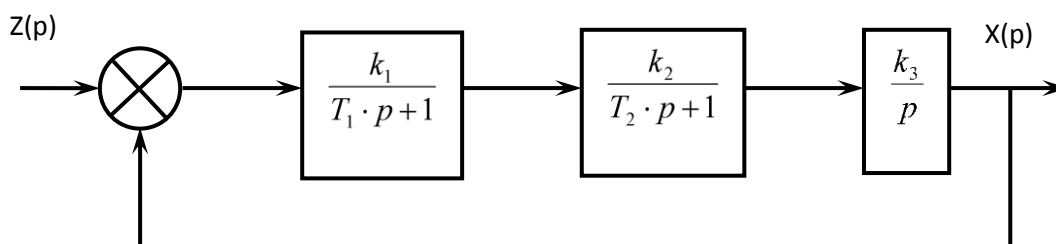


$$Y = X_1 - X_2$$



$$\text{або } Y = X_1 - X_2$$

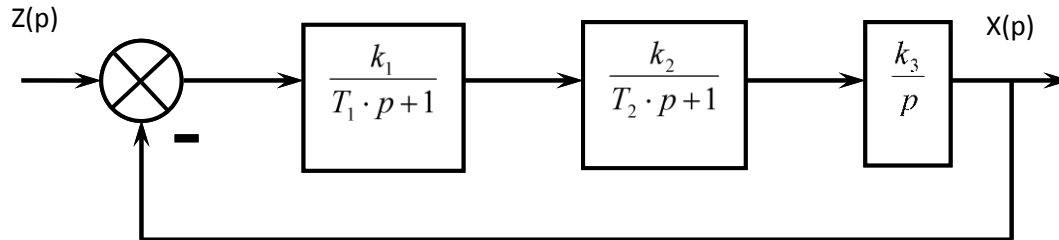
3. Визначити еквівалентну передаточну функцію зустрічно-паралельного з'єднання ланок, СДС, якої представлена на рисунку.



Передаточна функція такого з'єднання є дріб, в чисельнику якої передаточна функція прямого ланцюга, а в знаменнику алгебраїчна сума одиниці та добутку передаточних функцій, що входять до цього з'єднання.

Для з'єднання з позитивним зворотнім зв'язком еквівалентна ПФ дорівнює:

$$W_{ZPZ}(p) = \frac{W_1(p) \cdot W_2(p) \cdot W_3(p)}{1 - W_1(p) \cdot W_2(p) \cdot W_3(p)} = \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot k_3}{T_1 \cdot T_2 \cdot p^3 + (T_1 + T_2) \cdot p^2 + p - k_1 \cdot k_2 \cdot k_3}$$



Для з'єднання з негативним зворотнім зв'язком еквівалентна ПФ дорівнює:

$$W_{ZNZ}(p) = \frac{W_1(p) \cdot W_2(p) \cdot W_3(p)}{1 + W_1(p) \cdot W_2(p) \cdot W_3(p)} = \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot k_3}{T_1 \cdot T_2 \cdot p^3 + (T_1 + T_2) \cdot p^2 + p + k_1 \cdot k_2 \cdot k_3}$$

Алгоритм дослідження стійкості автоматичної системи за допомогою критерію Гурвіца

1. Записати характеристичний поліном (знаменник еквівалентної передаточної функції системи автоматики)

$$G_3(p) = a_3 \cdot p^3 + a_2 \cdot p^2 + a_1 \cdot p + a_0$$

2. Скласти визначник Гурвіца для системи 3-го порядку:

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} a_2 & a_0 & 0 \\ a_3 & a_1 & 0 \\ 0 & a_2 & a_0 \end{vmatrix}$$

3. Розрахувати визначник Гурвіца Δ_3 :

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} a_2 & a_0 & 0 \\ a_3 & a_1 & 0 \\ 0 & a_2 & a_0 \end{vmatrix} = a_2 \cdot a_1 \cdot a_0 - a_0 \cdot a_3 \cdot a_0$$

4. Розрахувати визначник Гурвіца Δ_2 :

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} a_2 & a_0 \\ a_3 & a_1 \end{vmatrix} = a_2 \cdot a_1 - a_0 \cdot a_3$$

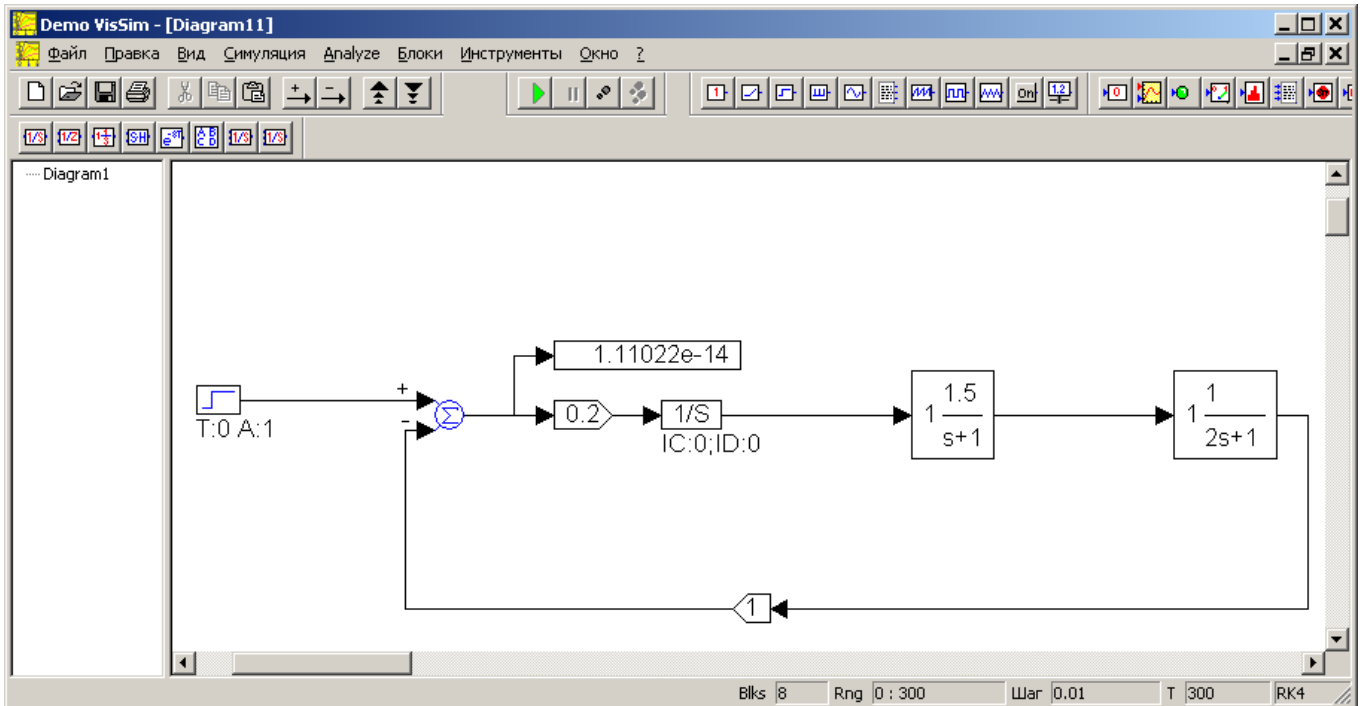
5. Записати визначник Гурвіца Δ_1 :

$$\Delta_1 = a_2$$

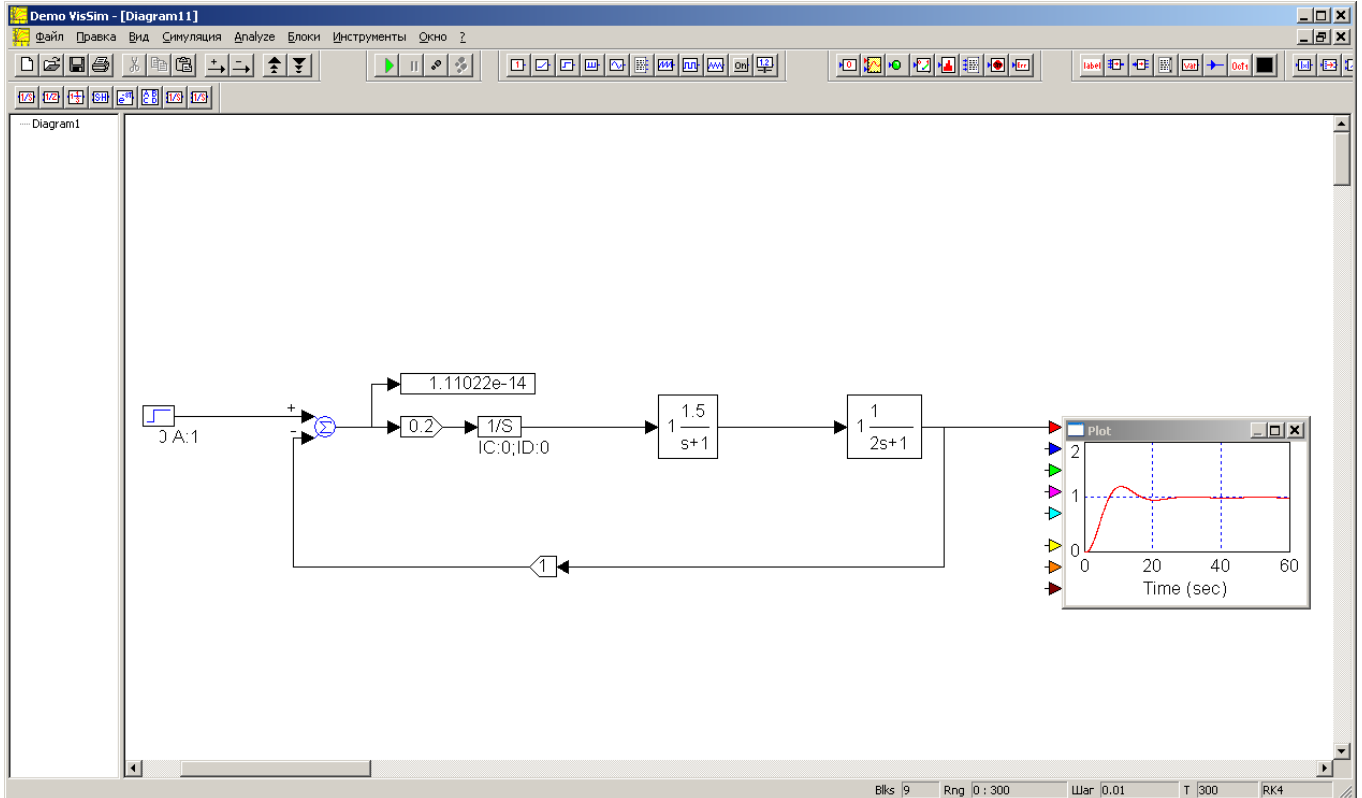
6. Порівняти всі визначники Гурвіца $\Delta_3 \div \Delta_1$ з нулем.
7. Зробити висновок про стійкість системи.

Алгоритм роботи в програмі *VisSim* по визначенню показників якості системи автоматичного управління

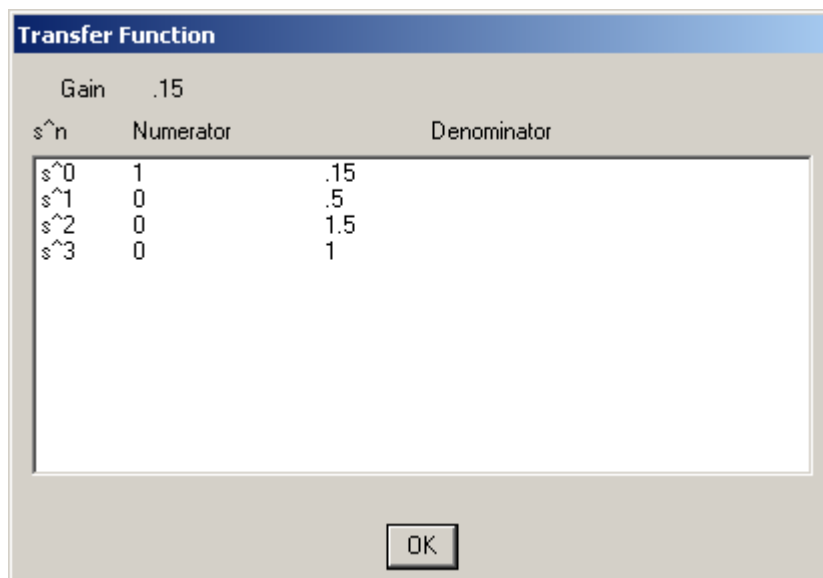
6. В операційній системі Windows знайти на робочому столі ярлик програми **VisSim** та активізувати його подвійним кліком миші.
7. На робочому полі програми **VisSim** побудувати СДС замкнутої системи (див. рис.)



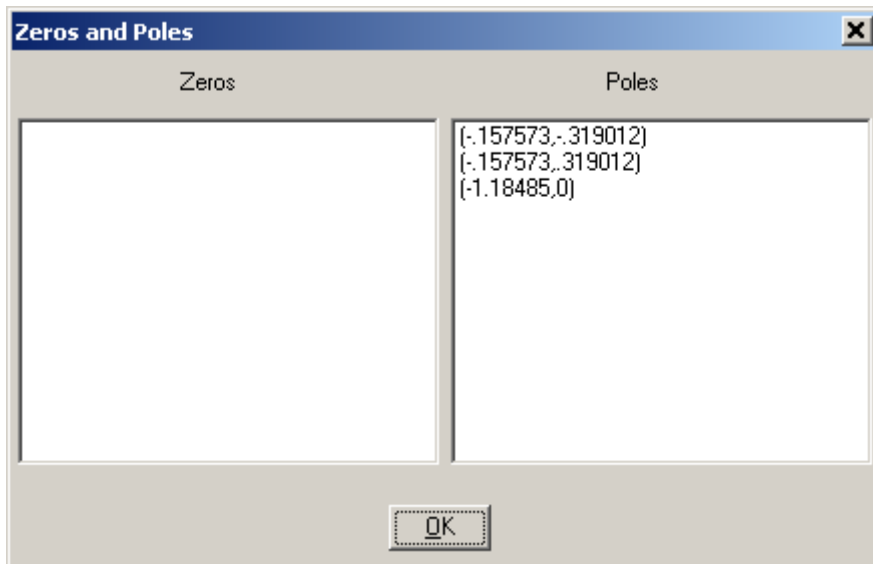
8. Виділити ланки. Для цього натискаємо ліву клавішу миші і обводимо піктограми ланок з'єднання
9. Розрахувати перехідну функцію (натиснути клавішу F5)



10. Заходимо в текстове меню **Analyze** та обираємо пункт **Transfer Function Info**

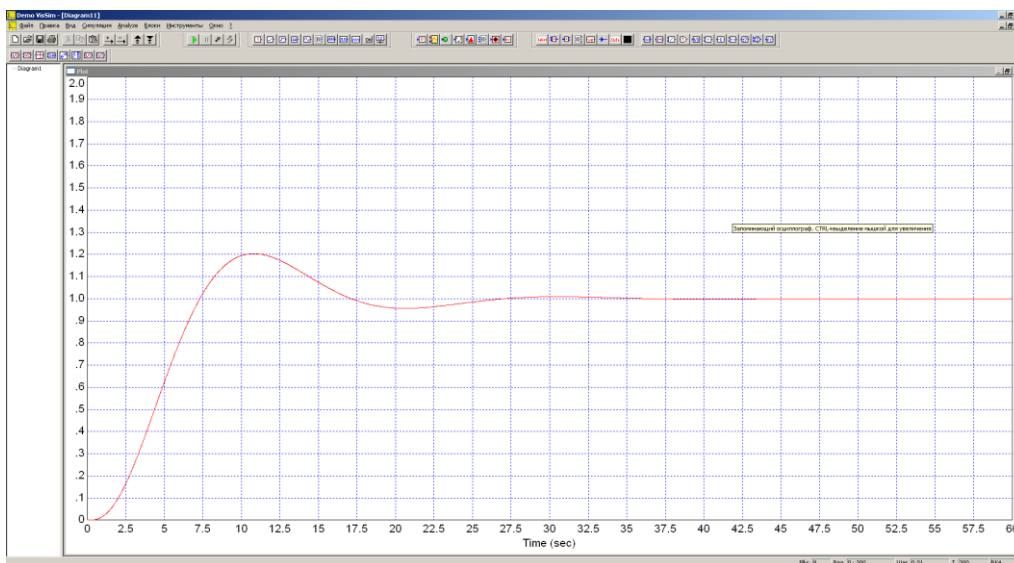


У вікні відображуються значення коефіцієнтів чисельника і знаменника еквівалентної ПФ. Натиснути кнопку **OK** та перейти до наступного вікна:



В правому вікні відображені значення коренів характеристичного рівняння еквівалентної ПФ.

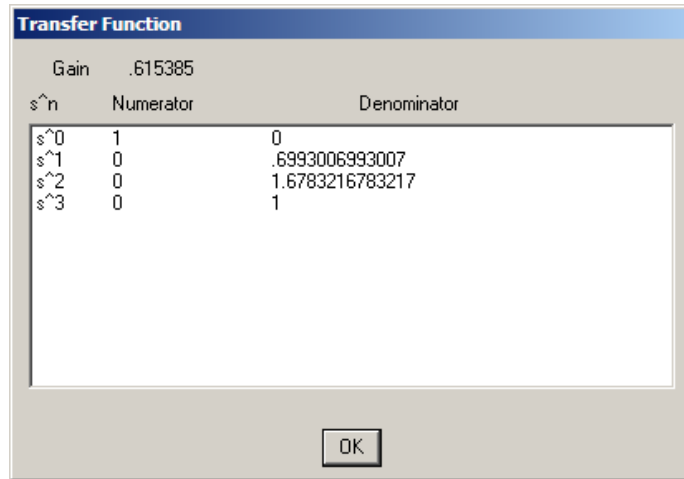
За отриманими результатами робимо висновок про стійкість системи і переходимо до визначення прямих показників якості за отриманою одиничною перехідною функцією.



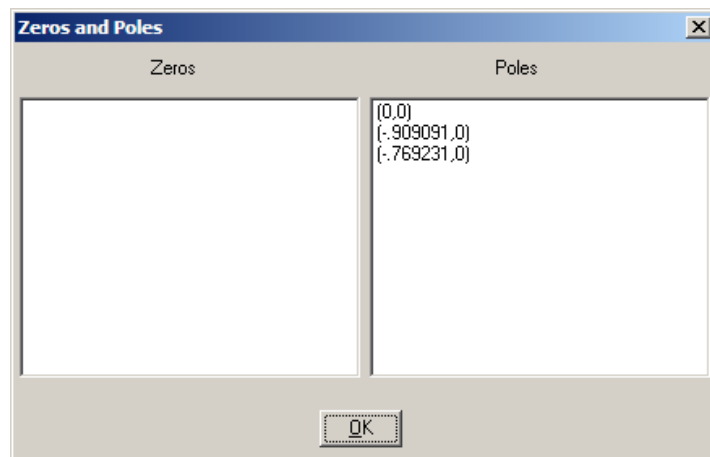
11. Розрахувати перехідну функцію (натиснути клавішу F5)

12. Виділити ланки. Для цього затискаємо ліву клавішу миші і обводимо піктограми з'єднання ланок

13. Заходимо в текстове меню **Analyze** та обираємо пункт **Transfer Function Info**

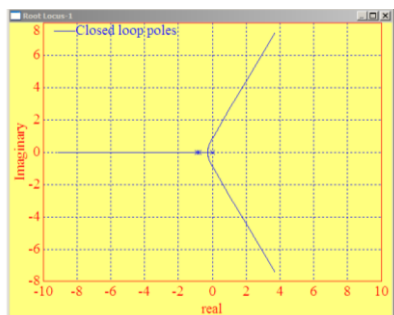


У вікні відображуються значення коефіцієнтів чисельника і знаменника еквівалентної ПФ. Занести отримані значення коефіцієнтів чисельника (**Numerator**) та знаменника (**Denominator**) передаточної функції до лабораторного журналу. Натиснути кнопку **OK** та перейти до наступного вікна:



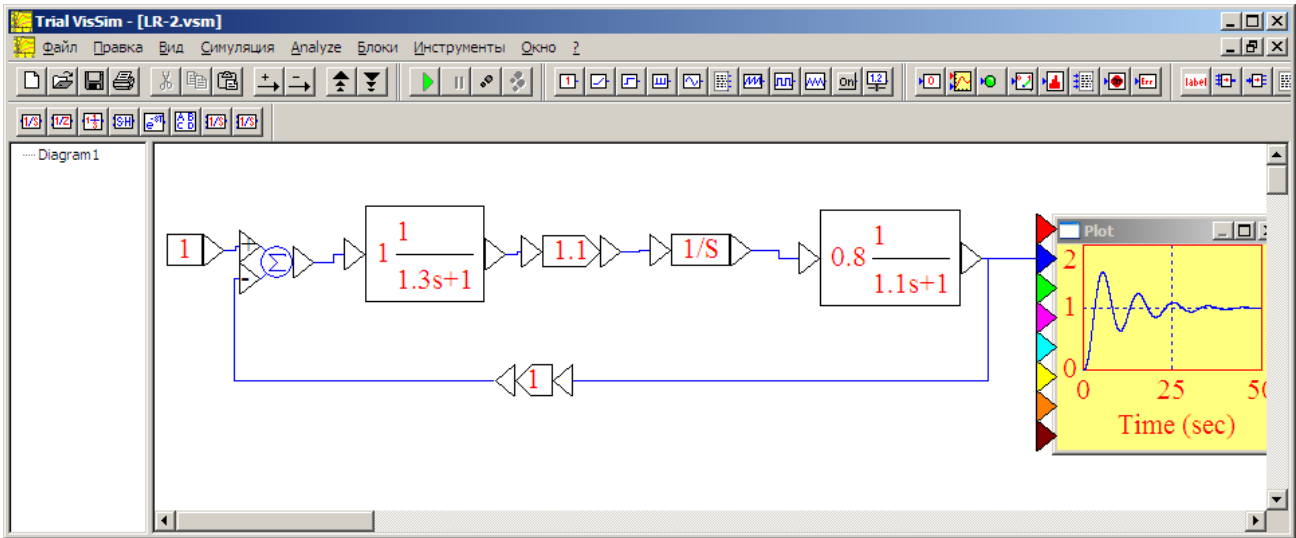
В правому вікні (**Poles**) відображені значення коренів характеристичного рівняння еквівалентної ПФ. Занести отримані значення до лабораторного журналу.

14.Отримати графічне представлення положення коренів характеристичного рівняння на комплексній площині. В меню **Analyze** обрати пункт **Root Locus**



За отриманими результатами робимо висновок про стійкість системи.

15.Встановити **суматор** між генератором ступінчатого сигналу і першою ланкою і охопимо систему негативним зворотнім зв'язком.



8. Виконати вимоги п.п. 4-6 для нової системи.

Перелік індивідуальних завдань

Номер індивідуального завдання обирається відповідно до останньої цифри в номері залікової книжки.

ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ № 1

Тип ланки	аперіодична		аперіодична		інтегрувальна
Параметри ланок	k_1	$T_{1,c}$	k_2	$T_{2,c}$	k_3
Значення параметру	1.15	1	1	2	0.5

ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ № 2

Тип ланки	аперіодична		аперіодична		інтегрувальна
Параметри ланок	k_1	$T_{1,c}$	k_2	$T_{2,c}$	k_3
Значення параметру	1.4	1.1	1	1.9	0.45

ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ № 3

Тип ланки	аперіодична		аперіодична		інтегрувальна
Параметри ланок	k_1	$T_{1,c}$	k_2	$T_{2,c}$	k_3
Значення параметру	1.3	1.2	1	1.8	0.4

ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ № 4

Тип ланки	аперіодична		аперіодична		інтегрувальна
Параметри ланок	k_1	$T_{1,c}$	k_2	$T_{2,c}$	k_3
Значення параметру	1.35	1.4	1	1.2	0.35

ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ № 5

Тип ланки	аперіодична		аперіодична		інтегрувальна
Параметри ланок	k_1	$T_{1,c}$	k_2	$T_{2,c}$	k_3
Значення параметру	1.4	1.3	1	1.7	0.3

ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ № 6

Тип ланки	аперіодична		аперіодична		інтегрувальна
Параметри ланок	k_1	$T_{1,c}$	k_2	$T_{2,c}$	k_3
Значення параметру	1.5	1.4	1	1.6	0.25

ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ № 7

Тип ланки	аперіодична		аперіодична		інтегрувальна
Параметри ланок	k_1	$T_{1,c}$	k_2	$T_{2,c}$	k_3
Значення параметру	1.4	1.8	1	1.5	0.7

ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ № 8

Тип ланки	аперіодична		аперіодична		інтегрувальна
Параметри ланок	k_1	$T_{1,c}$	k_2	$T_{2,c}$	k_3
Значення параметру	1.3	1.6	1	1.4	0.4

ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ № 9

Тип ланки	аперіодична		аперіодична		інтегрувальна
Параметри ланок	k_1	$T_{1,c}$	k_2	$T_{2,c}$	k_3
Значення параметру	1.2	1.7	1	1.3	0.6

ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ № 10

Тип ланки	аперіодична		аперіодична		інтегрувальна
Параметри ланок	k_1	$T_{1,c}$	k_2	$T_{2,c}$	k_3
Значення параметру	1.1	1.8	1	1.2	0.5

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ ПРОЦЕСУ УПРАВЛІННЯ СИСТЕМАМИ РАНЬОГО ВИЯВЛЕННЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

Мета роботи – _____

Теоретичні основи роботи.

До прямих показників якості процесу управління належать: _____

До непрямих показників якості процесу управління належать: _____

Прямі показники якості визначають за графіком _____

Тривалість перехідного процесу це _____

Непрямі показники якості визначають за графіком _____

До інтегральних оцінок якості належать: _____

В сталому режимі роботи показники якості системи визначаються: _____

Систему управління називають астатичною _____

Резонансна частота ω_P – _____

Показник коливальності характеризує _____

Основні рівняння:

$$\sigma = \frac{h_{max} - h_{cm}}{h_{cm}} \cdot 100\%, \quad (1)$$

де σ – _____
 h_{max} – _____

h_{cm} – _____

$$M = \frac{A_{max}}{A(0)}, \quad (2)$$

де M – _____
 A_{max} – _____

$A(0)$ – _____

Елемент **display** призначений для

.....

Елемент **variable** призначений для

.....

Елемент **integrator** призначений для

.....

Елемент **constant** призначений для

.....

За допомогою меню **Analyze** → **Frequency response** виконується.....

.....

За допомогою меню **Analyze** → **Frequency Range** виконується.....

.....

Кнопка **Go** (F5) призначена

.....

Вихідні данні до лабораторної роботи.

Таблиця А. Значення параметрів елементарних динамічних ланок відповідно до індивідуального завдання № .

Тип ланки	аперіодична		аперіодична		інтегрувальна	
Параметри ланок	k_1	$T_{1,c}$	k_2	$T_{2,c}$	k_3 (I)	k_3 (II)
Значення параметру						

Хід роботи.

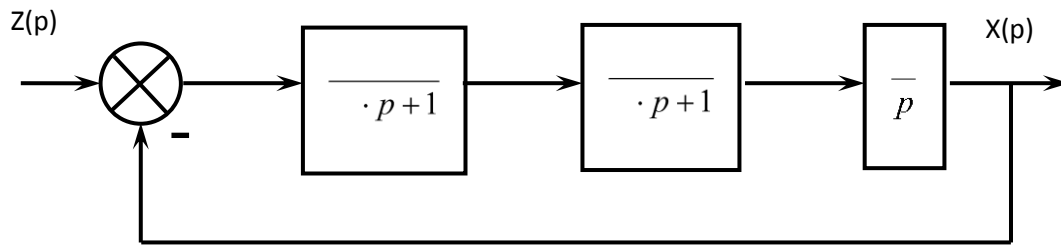
15. Вирази передаточних функцій ланок у стандартній формі:

$$W_1(p) = \text{-----} ;$$

$$W_2(p) = \text{-----} ;$$

$$W_3(p) = \frac{\text{---}}{p} .$$

16. Структурно-динамічна схема зустрічно-паралельного з'єднання:



17. Еквівалентна передаточна функція з'єднання:

$$W_{\Sigma_1}(p) = \frac{W_1(p) \cdot W_2(p) \cdot W_3(p)}{1 + W_1(p) \cdot W_2(p) \cdot W_3(p)} = \frac{\dots}{\dots \cdot p^3 + (\dots + \dots) \cdot p^2 + p + \dots} = \frac{\dots}{\dots \cdot p^3 + \dots \cdot p^2 + \dots \cdot p + \dots}$$

18. Дослідження стійкості системи по критерію Михайлова:

- характеристичний поліном:

$$G(p) = \dots \cdot p^3 + \dots \cdot p^2 + \dots \cdot p + \dots$$

- комплексний вектор Михайлова:

$$G(j \cdot \omega) = \dots \cdot (j \cdot \omega)^3 + \dots \cdot (j \cdot \omega)^2 + \dots \cdot j \cdot \omega + \dots$$

- дійсна частина вектора Михайлова:

$$M(\omega) = \dots - \dots \cdot \omega^2$$

- уявна частина вектора Михайлова:

$$N(\omega) = \dots \cdot \omega - \dots \cdot \omega^3$$

- таблиця значень дійсної та уявної частини вектора Михайлова для частот $\omega = 0 \dots 10$

ω	0	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9	1	2	5	10
M(ω)										
N(ω)										

- годограф вектора Михайлова на комплексній площині (рис. 3.1)

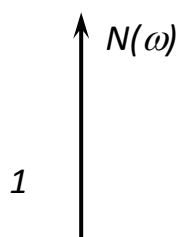


Рис. 3.1 Годограф вектора Михайлова системи з передаточною функцією

$$W_{\Sigma_1}(p) = \frac{\dots}{\dots}$$

- так як годограф вектора Михайлова починається
-
-
-
- то система

19. Побудувати структурно-динамічну схему в програмі VisSim 5.0 та отримати її одиничну перехідну функцію $h(t)$. Результати занести в таблицю 3.1.

20. За графіками ОПФ визначити:

- характер перехідного процесу —
- тривалість перехідного процесу —с;
- перерегулювання:

$$\sigma = \frac{\dots}{\dots} \cdot 100\% = \dots \%$$

Результати представлені в табл. 3.5

21. Засобами програми VisSim 5.0 отримати амплітудно-частотну характеристику $A(\omega)$. Результати занести в таблицю 3.3.

22. За допомогою графіка АЧХ визначити:

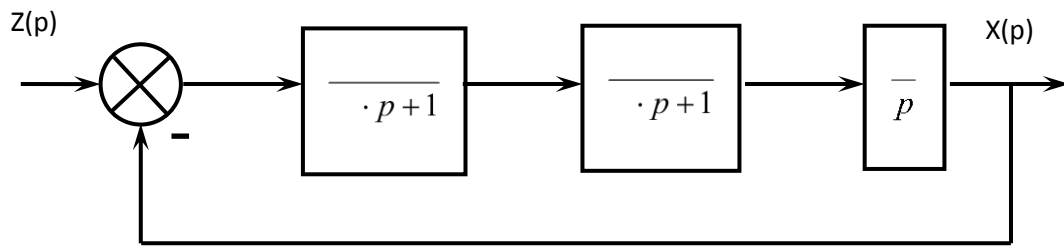
- показник коливальності

$$M = \frac{\dots}{\dots} = \dots$$

- полоса пропускання $\omega_{II} = \dots, \text{с}^{-1}$
- резонансна частота $\omega_p = \dots, \text{с}^{-1}$.

Результати представлені в табл. 3.5

23. Змінюємо коефіцієнт передачі інтегрувальної ланки k_3 (II) відповідно до табл. А.
24. Структурно-динамічна схема зустрічно-паралельного з'єднання (з новим значенням коефіцієнта k_3):



25. Еквівалентна передаточна функція з'єднання:

$$W_{\Sigma_2}(p) = \frac{W_1(p) \cdot W_2(p) \cdot W_3(p)}{1 + W_1(p) \cdot W_2(p) \cdot W_3(p)} = \frac{\dots \cdot \dots}{\dots \cdot p^3 + (\dots) \cdot p^2 + p + \dots} = \frac{\dots}{\dots \cdot p^3 + \dots \cdot p^2 + \dots \cdot p + \dots}$$

26. Дослідження стійкості системи по критерію Михайлова:

- характеристичний поліном:

$$G(p) = \dots \cdot p^3 + \dots \cdot p^2 + \dots \cdot p + \dots$$

- комплексний вектор Михайлова:

$$G(j \cdot \omega) = \dots \cdot (j \cdot \omega)^3 + \dots \cdot (j \cdot \omega)^2 + \dots \cdot j \cdot \omega + \dots$$

- дійсна частина вектора Михайлова:

$$M(\omega) = \dots - \dots \cdot \omega^2$$

- уявна частина вектора Михайлова:

$$N(\omega) = \dots \cdot \omega - \dots \cdot \omega^3$$

- таблиця значень дійсної та уявної частини вектора Михайлова для частот $\omega = 0 \dots 10$

ω	0	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9	1	2	5	10
M(ω)										
N(ω)										

- годограф вектора Михайлова на комплексній площині (рис. 3.1)

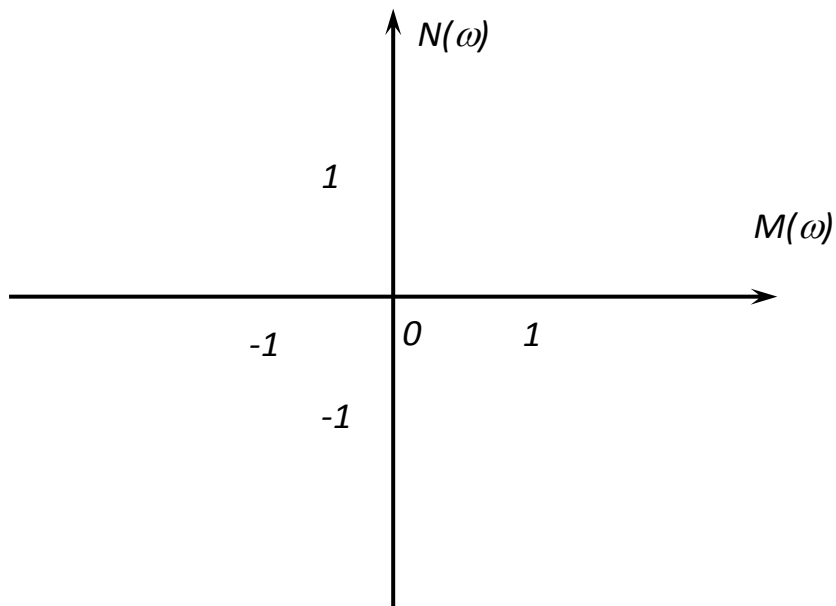


Рис. 3.2 Годограф вектора Михайлова системи з передаточною функцією

$$W_{\Sigma_2}(p) = \frac{\dots}{\dots}$$

- так як годограф вектора Михайлова починається

 то система

27. В програмі VisSim 5.0 змінити значення коефіцієнта передачі інтегровальної ланки k_3 та повторно отримати одиничну перехідну функцію $h(t)$. Результати занести в таблицю 3.2.

28. За графіками ОПФ визначити:

- характер перехідного процесу —
- тривалість перехідного процесу —с;
- перерегулювання:

$$\sigma = \frac{\dots}{\dots} \cdot 100\% = \dots \%$$

Результати представлені в табл. 3.5

29. Засобами програми VisSim 5.0 отримати амплітудно-частотну характеристику $A(\omega)$ для нової системи. Результати занести в таблицю 3.4.

30. За допомогою графіка АЧХ визначити:

- показник коливальності:

$$M = \frac{\dots}{\dots} = \dots$$

- полоса пропускания $\omega_{\Pi} =$, с^{-1}
- резонансная частота $\omega_p =$, с^{-1} .

Результаты представлены в табл. 3.5

Таблица 3.1. ОПФ системы с передаточной функцией $W_{\Sigma_1}(p) = \dots\dots\dots$

t, с										
h(t)										

Таблица 3.2. ОПФ системы с передаточной функцией $W_{\Sigma_2}(p) = \dots\dots\dots$

t, с										
h(t)										

Таблица 3.3. АЧХ системы с передаточной функцией $W_{\Sigma_1}(p) = \dots\dots\dots$

$\omega, \text{с}^{-1}$										
A(ω)										

Таблица 3.4. АЧХ системы с передаточной функцией $W_{\Sigma_2}(p) = \dots\dots\dots$

$\omega, \text{с}^{-1}$										
A(ω)										

Таблица 3.5. Результаты расчета прямых та непрямых показателей качества для систем пожарной автоматики.

	Характер ПП	$t_{\text{ПП}}, \text{с}$	$\sigma, \%$	M	$\omega_{\Pi}, \text{с}^{-1}$	$\omega_p, \text{с}^{-1}$
система 1						
система 2						

Висновки:

.....

.....

.....

.....

.....

.....
.....
.....

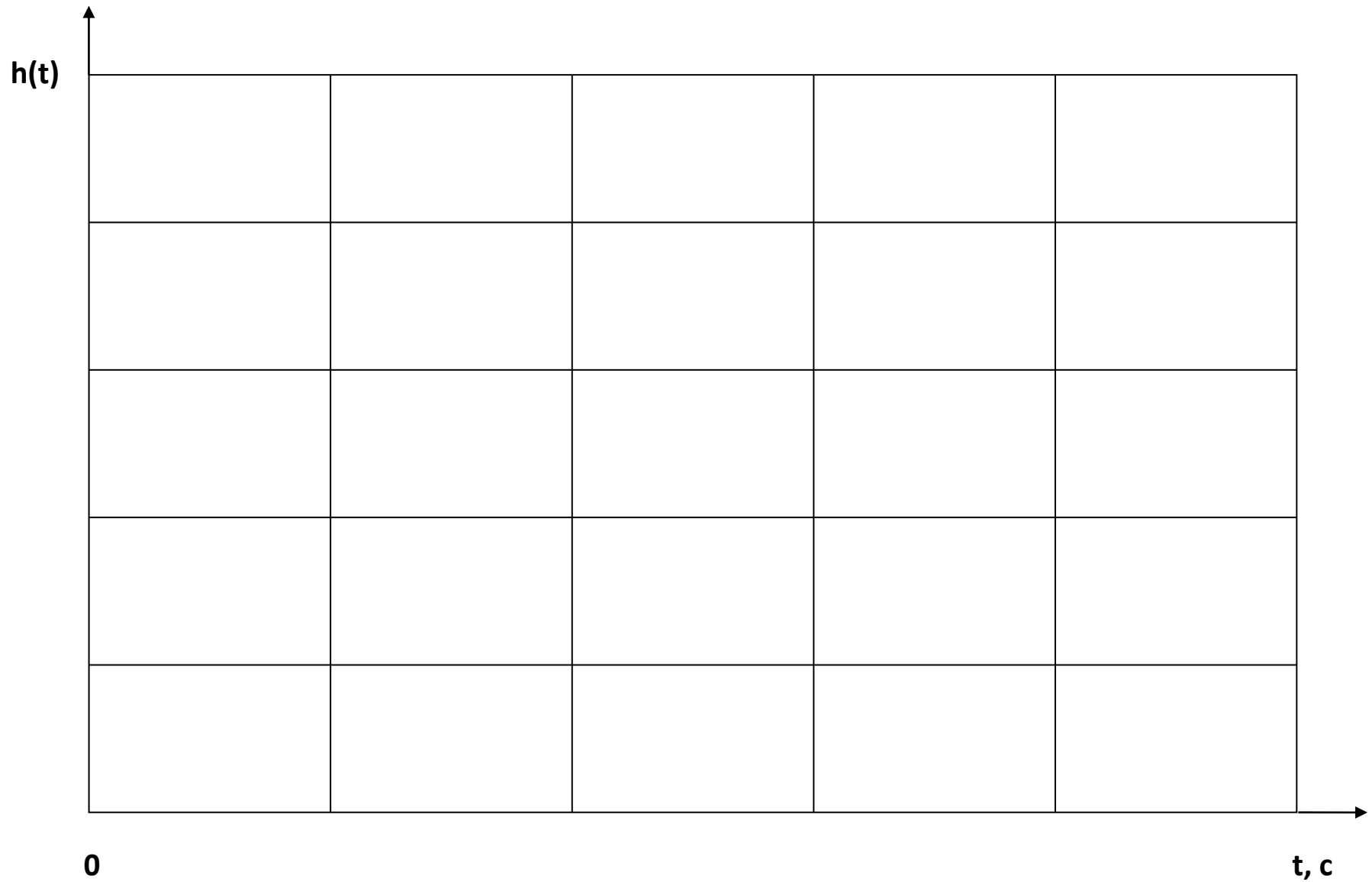


Рисунок 3.3. Графік одиничної перехідної функції системи з передаточною функцією $W_{\Sigma_1}(p) = \dots\dots\dots$

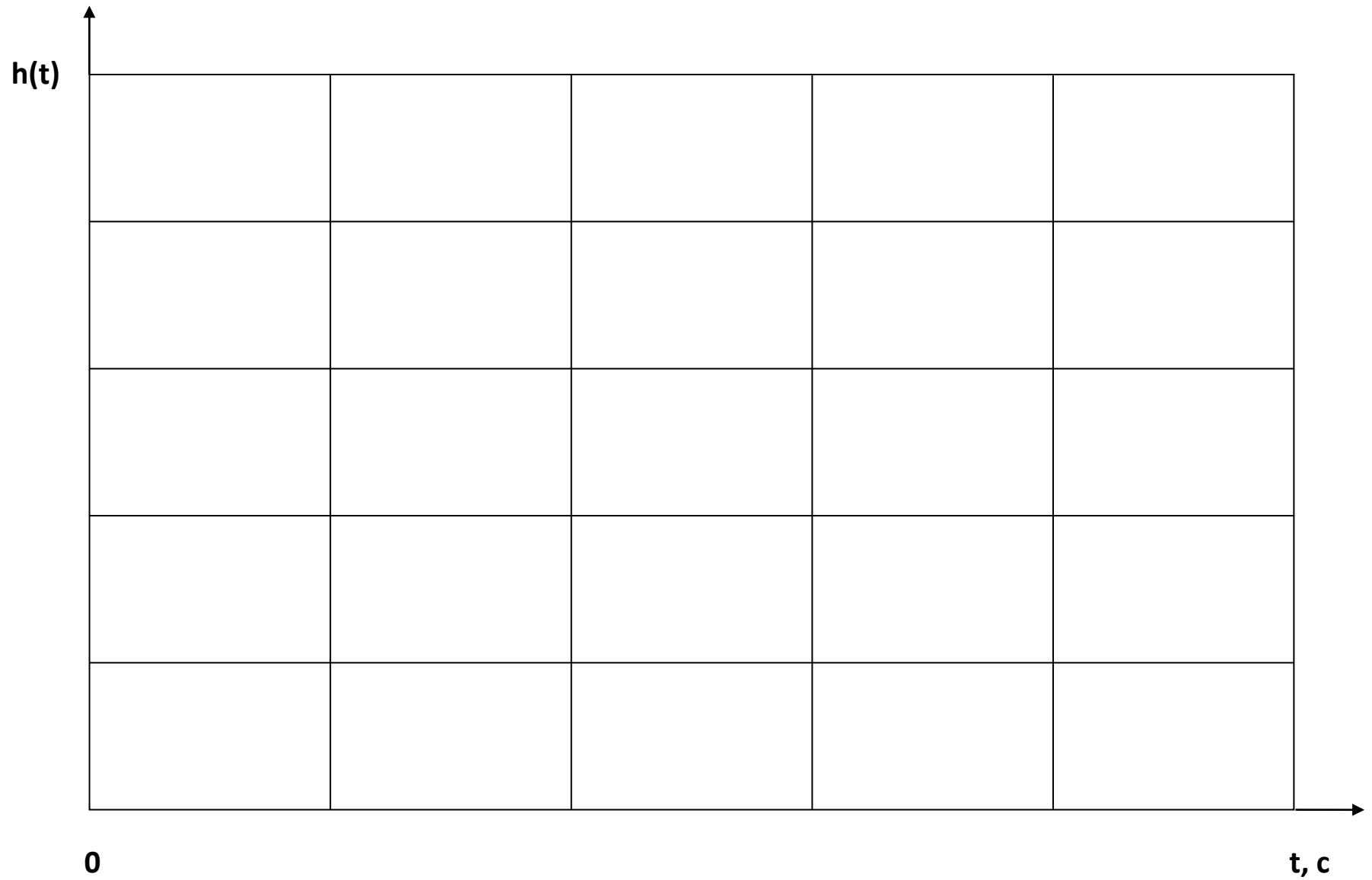


Рисунок 3.4. Графік одиничної перехідної функції системи з передаточною функцією $W_{\Sigma 2}(p) = \dots\dots\dots$

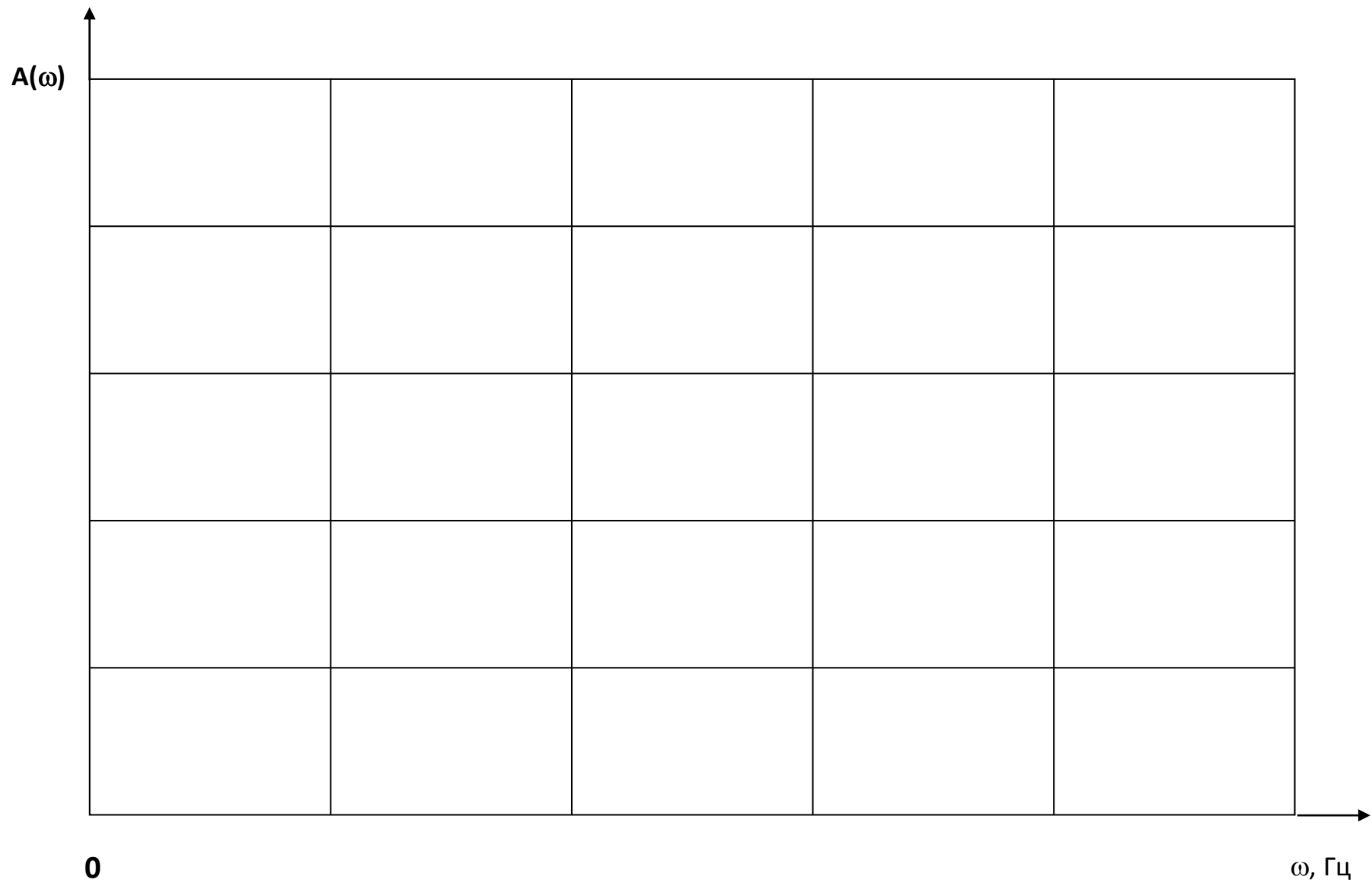


Рисунок 3.5 Графік амплітудно-частотної характеристики системи з передаточною функцією $W_{\Sigma_1}(p) = \dots\dots\dots$

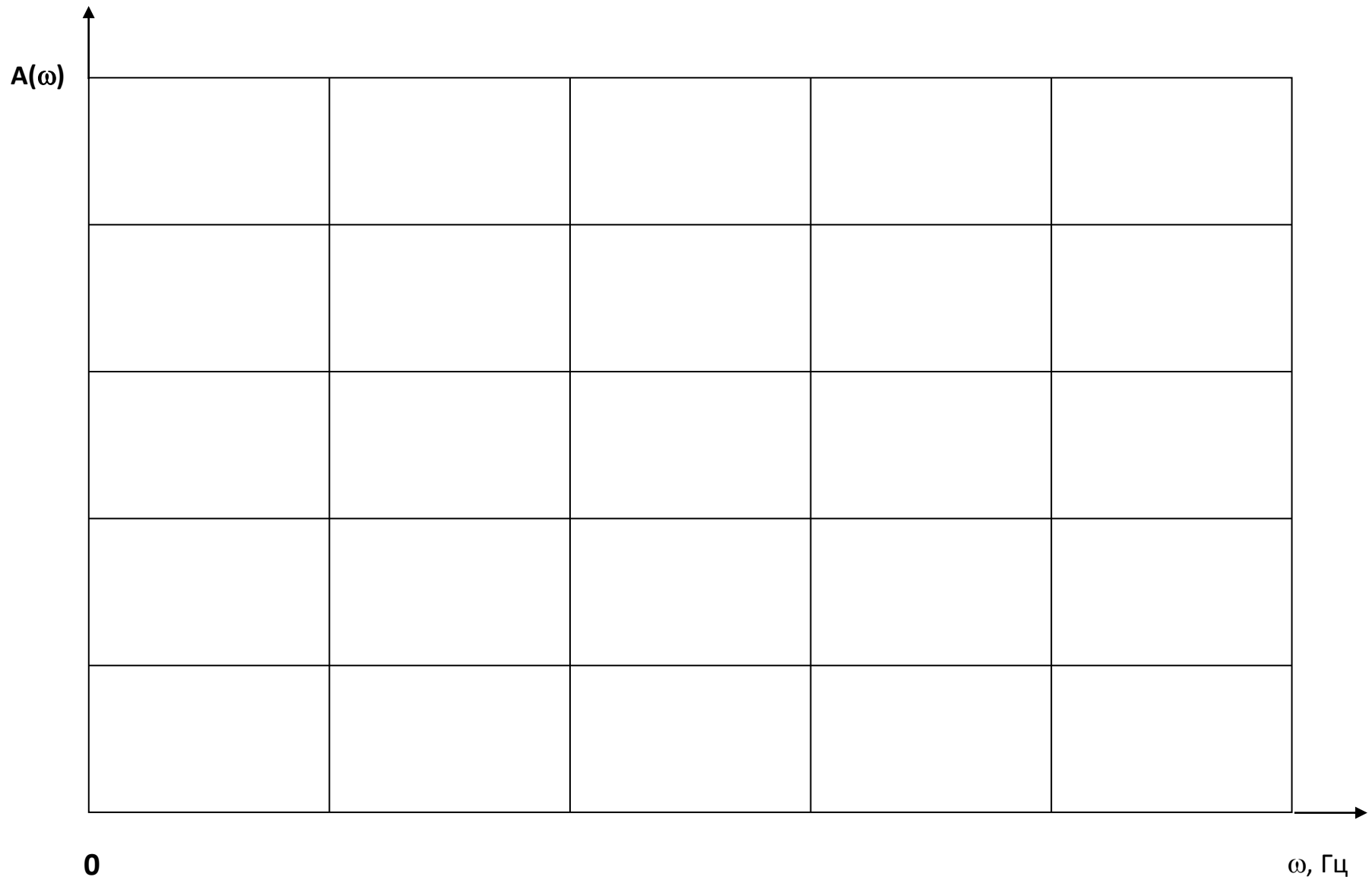
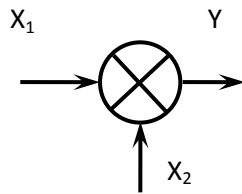


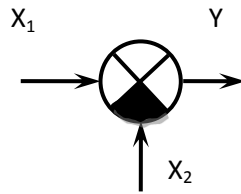
Рисунок 3.6 Графік амплітудно-частотної характеристики системи з передаточною функцією $W_{\Sigma_2}(p) = \dots\dots\dots$

Алгоритм визначення еквівалентної передаточної функції

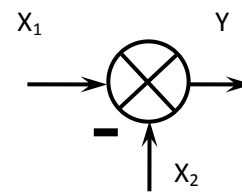
4. Еквівалентні перетворення для безінерційного суматора



$$Y = X_1 + X_2$$

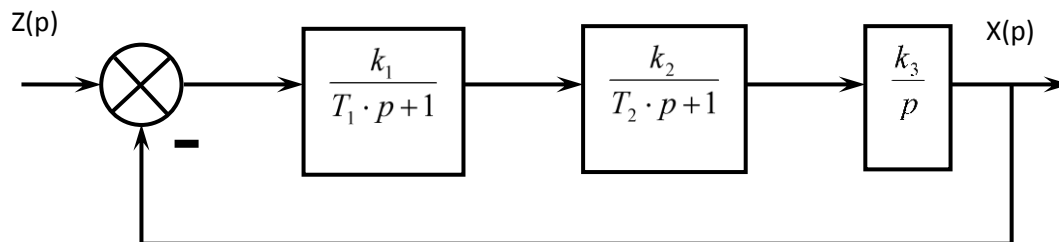


$$Y = X_1 - X_2$$



$$\text{або } Y = X_1 - X_2$$

5. Визначити еквівалентну передаточну функцію зустрічно-паралельного з'єднання ланок, СДС, якої представлена на рисунку.



Передаточна функція зустрічно-паралельного з'єднання є дріб, в чисельнику якої передаточна функція прямого ланцюга, а в знаменнику алгебраїчна сума одиниці та добутку передаточних функцій, що входять до цього з'єднання.

Для з'єднання з негативним зворотнім зв'язком еквівалентна ПФ дорівнює:

$$W_{ZNZ}(p) = \frac{W_1(p) \cdot W_2(p) \cdot W_3(p)}{1 + W_1(p) \cdot W_2(p) \cdot W_3(p)} = \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot k_3}{T_1 \cdot T_2 \cdot p^3 + (T_1 + T_2) \cdot p^2 + p + k_1 \cdot k_2 \cdot k_3}$$

Алгоритм дослідження стійкості автоматичної системи за допомогою критерію Михайлова

8. Записати характеристичний поліном (знаменник еквівалентної передаточної функції системи автоматики)

$$G_3(p) = a_3 \cdot p^3 + a_2 \cdot p^2 + a_1 \cdot p + a_0$$

9. Виконуємо заміну: $p = j \cdot \omega$

10. Отримуємо вектор Михайлова:

$$G(j \cdot \omega) = a_3 \cdot (j \cdot \omega)^3 + a_2 \cdot (j \cdot \omega)^2 + a_1 \cdot (j \cdot \omega) + a_0$$

11. Відокремлюємо:

- дійсну частину вектора Михайлова:

$$M(\omega) = a_0 - a_2 \cdot \omega^2;$$

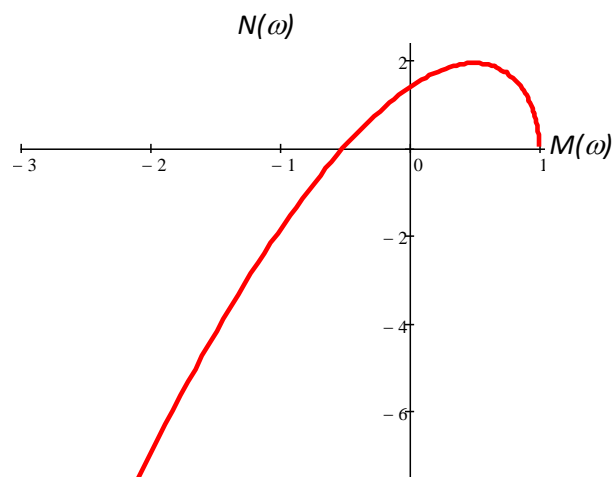
- уявну частину вектора Михайлова:

$$N(\omega) = a_1 \cdot \omega - a_3 \cdot \omega^3 = \omega \cdot (a_1 - a_3 \cdot \omega^2).$$

12. Змінюємо частоту від 0 до ∞ і розраховуємо значення дійсної та уявної частини вектору Михайлова. Результати заносимо до таблиці:

ω	0	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9	1	2	5	10
$M(\omega)$	a_0									
$N(\omega)$	0									

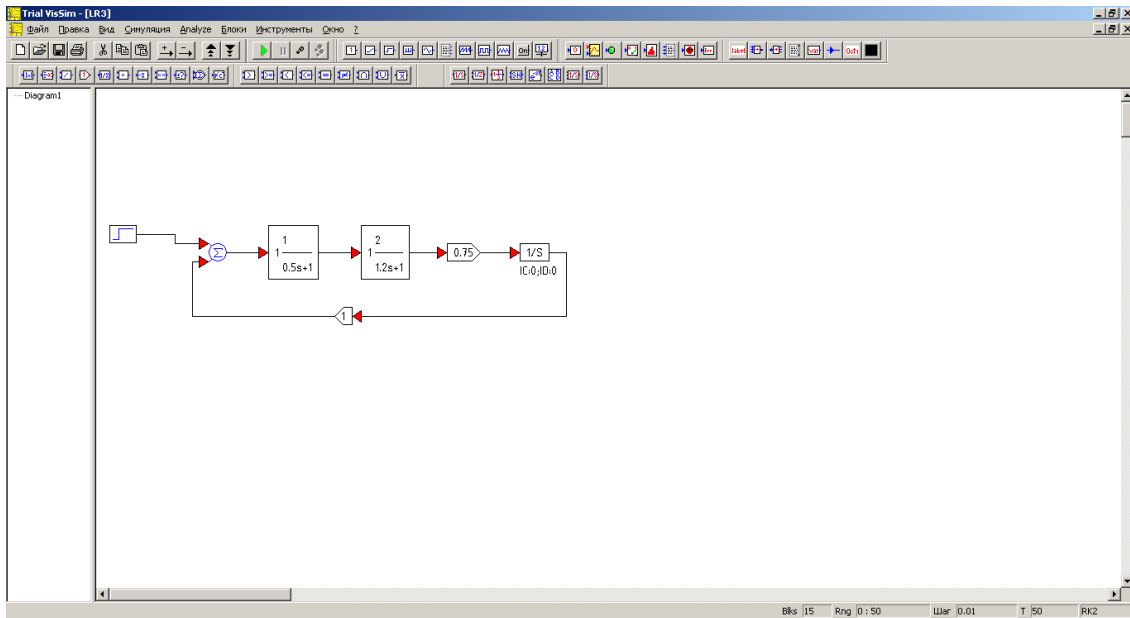
13. За даними таблиці на комплексній площині будуюмо годограф вектору Михайлова



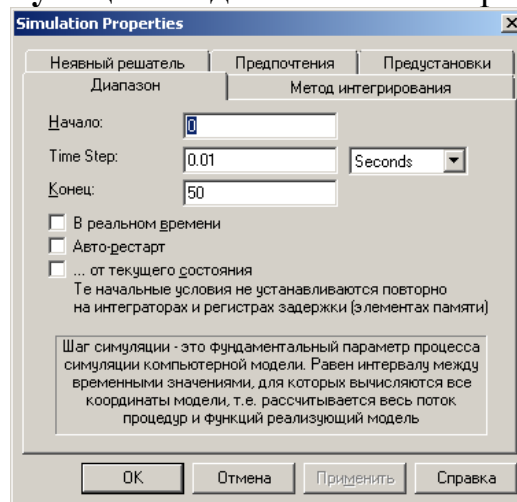
14. Застосовуємо критерій Михайлова і робимо висновок про стійкість системи.

Алгоритм роботи в програмі *VisSim 5.0* по визначенню показників якості системи автоматичного управління

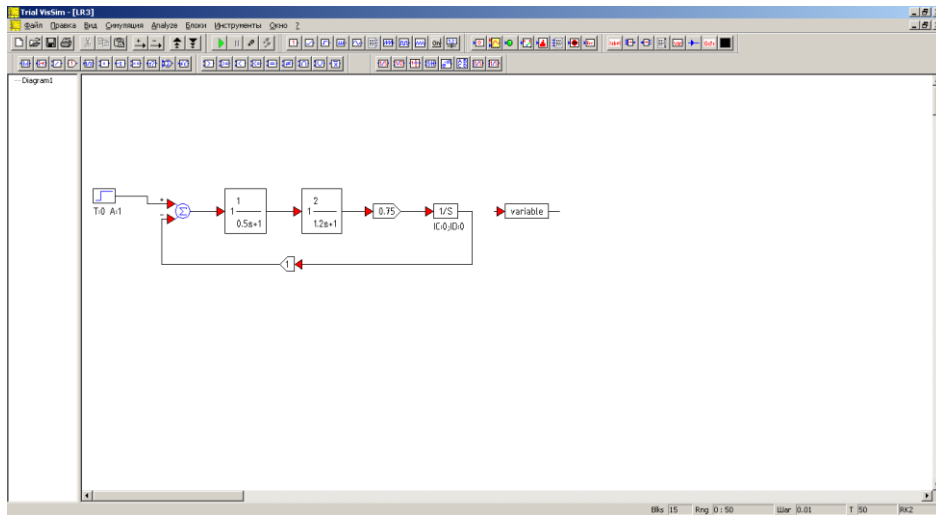
16. В операційній системі Windows знайти на робочому столі ярлик програми **VisSim** та активізувати його подвійним кліком миші.
17. На робочому полі програми **VisSim** побудувати СДС замкнутої системи з значеннями параметрів ланок, що відповідають індивідуальному завданню:



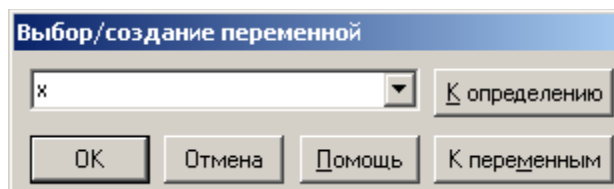
18. Задати параметри режиму моделювання. Обравши пункт меню **Симуляція** → **Налаштування симуляції**. Задати значення параметрів, як вказано у вікні.



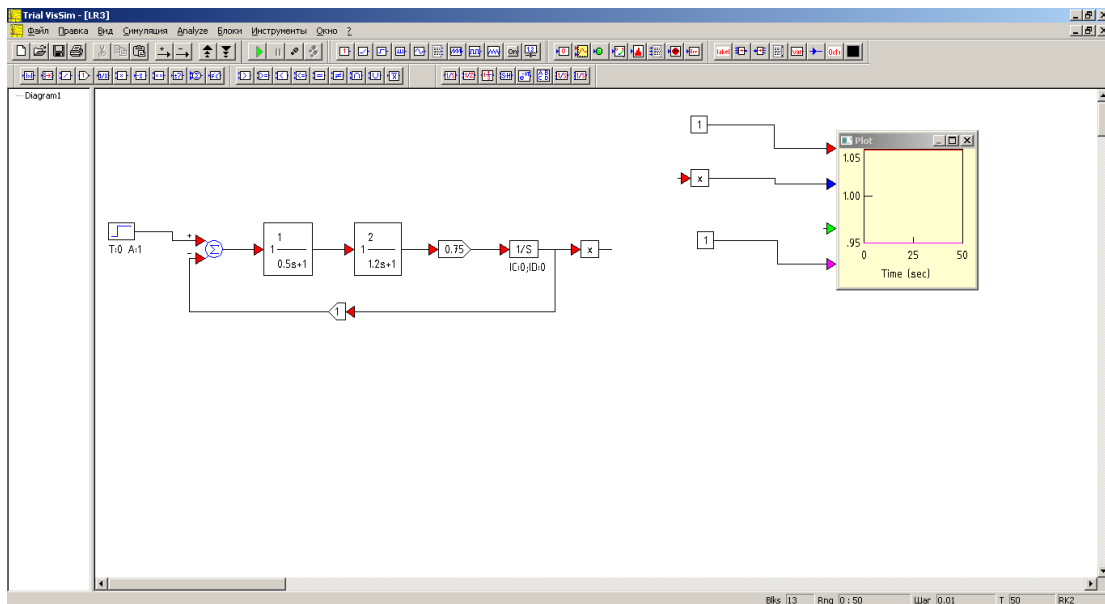
19. Встановити на робоче поле блок **variable** та приєднати його до системи.



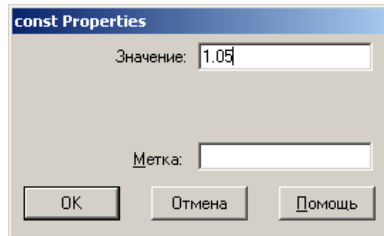
Вказати ім'я змінної – **x** (натиснувши праву клавішу миші на піктограмі блока **variable**).



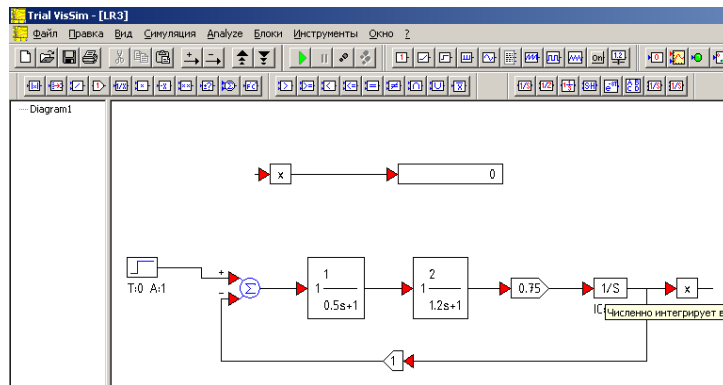
- Встановити на робоче поле блок **variable** та **plot** та з'єднати їх між собою. Блоку **variable** задати ім'я змінної **x**. Встановити на робоче поле два блока **constant** та з'єднати їх з блоком **plot**.



Задати значення в блоках **constant**: для першого 1.05 та для другого 0.95 (натиснувши праву клавішу миші на піктограмі блока **constant**)

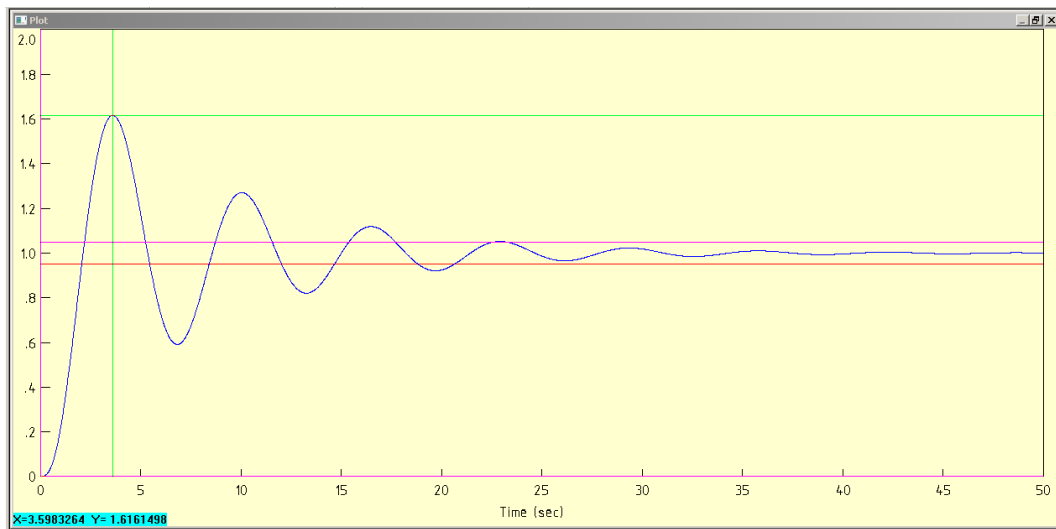


21. Встановити на робоче поле блок **variable** та **display** та з'єднати між собою. Блоку **variable** задати ім'я змінної **x**.

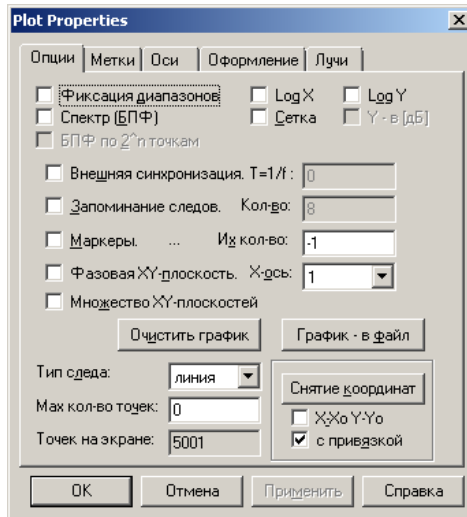


22. Розрахувати перехідну функцію (натиснути клавішу **F5**).

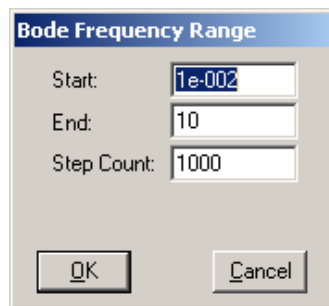
23. Розгорнути на весь екран блок **plot** та визначити по графіку прямі показники якості.



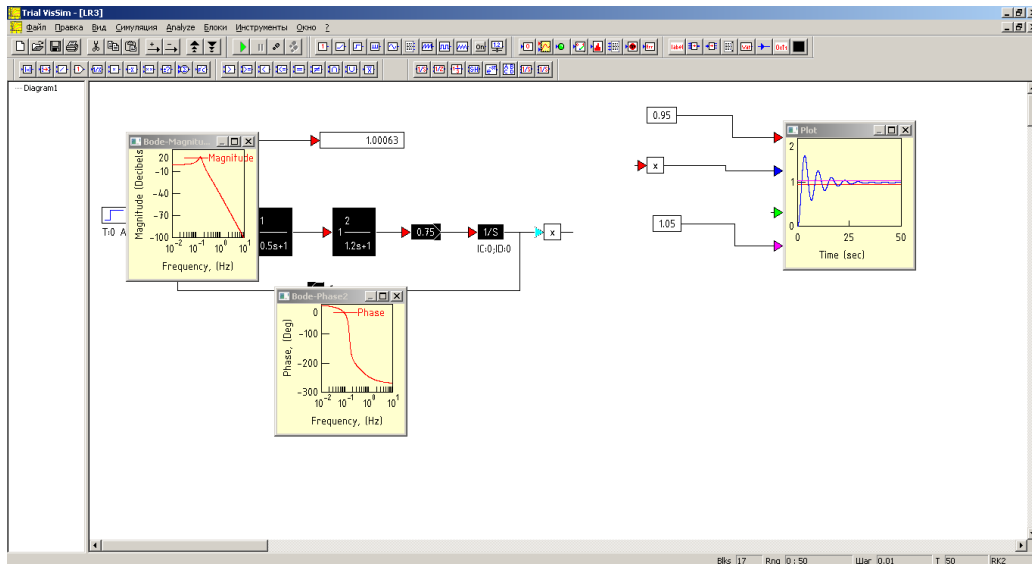
Для цього скористатися інструментом **Снятие координат** (с привязкой) меню **plot Properties** (натиснувши праву клавішу миші):



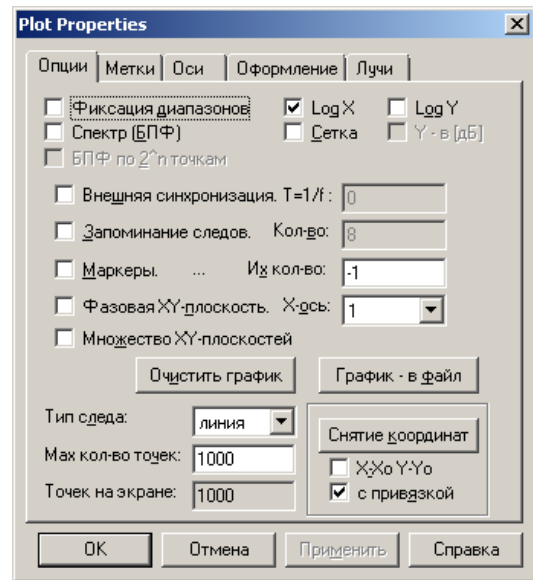
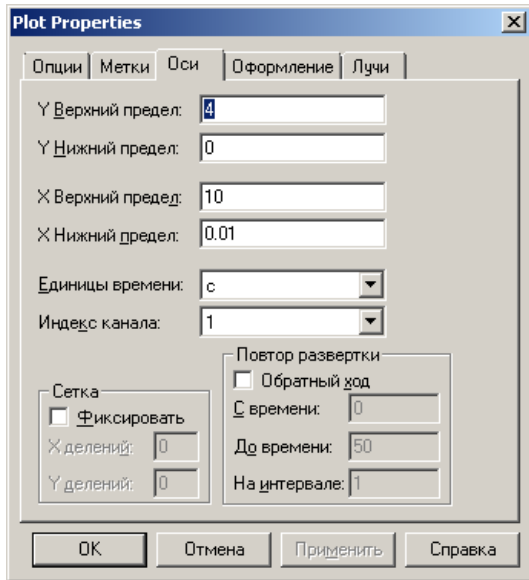
24. Задати діапазон зміни частоти від **0.01** до **10**, для цього заходимо в текстове меню **Analyze** та обираємо пункт **Frequency Range**



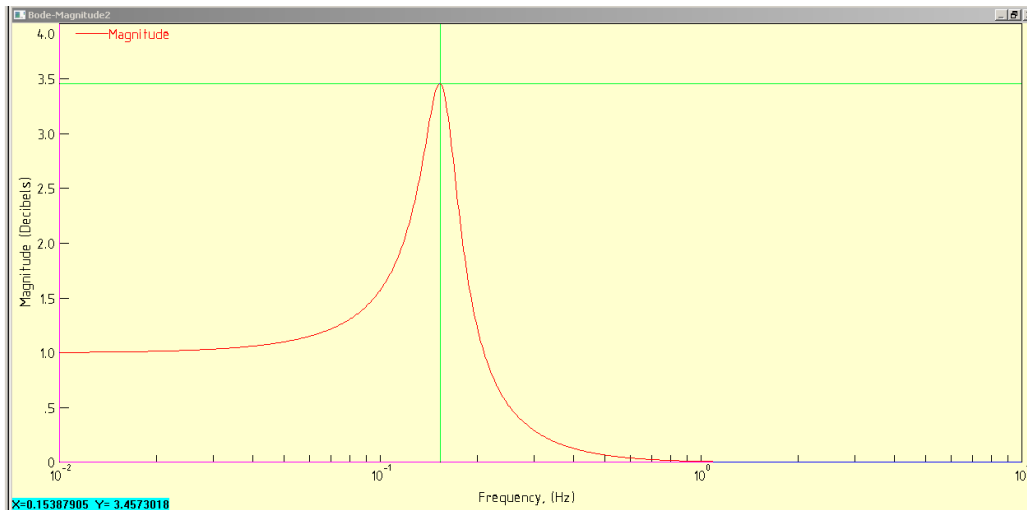
25. Виділяємо частину системи, для якої треба визначити частотні характеристики. Далі заходимо в текстове меню **Analyze** та обираємо пункт **Frequency Response**



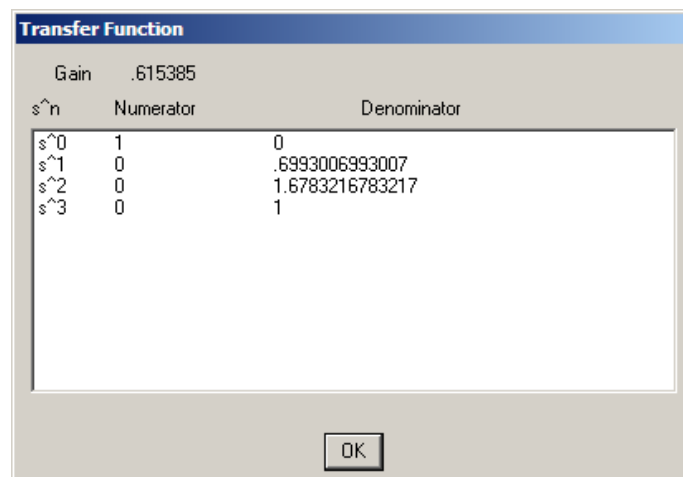
26. Розгорнути на весь екран вікно **Bode-Magnitude**. Натиснути праву клавішу миші та викликати вікно для налаштування властивостей графіка АЧХ:



27. За отриманим графіком визначаємо непрямі показники якості

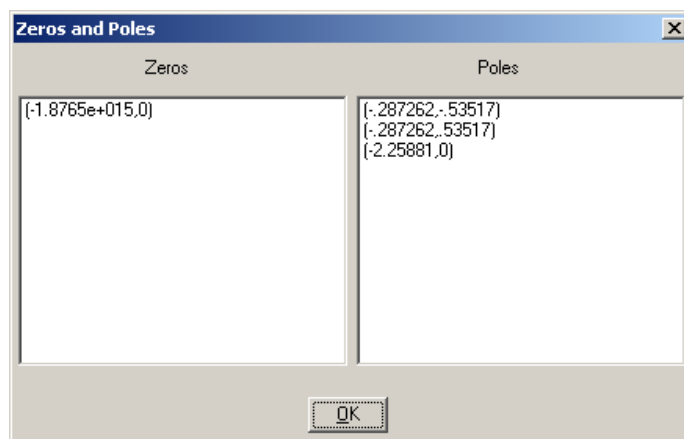


28. Заходимо в текстове меню **Analyze** та обираємо пункт **Transfer Function Info**



У вікні відображаються значення коефіцієнтів чисельника і знаменника еквівалентної ПФ. Порівняти отримані значення коефіцієнтів чисельника

(**Numerator**) та знаменника (**Denominator**) передаточної функції зі значеннями розрахованими вручну. Натиснути кнопку **OK** та перейти до наступного вікна:



В правому вікні (**Poles**) відображені значення коренів характеристичного рівняння еквівалентної ПФ. Запевнитись, що всі отримані значення коренів мають від'ємну дійсну частину.

29. Змінити значення коефіцієнта підсилення інтегруючої ланки у відповідності з індивідуальним завданням. Виконати вимоги п.п. 7-13 для нової системи.

Номер індивідуального завдання обирається відповідно до останньої цифри в номері залікової книжки.

ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ № 1

Тип ланки	аперіодична		аперіодична		інтегрувальна	
Параметри ланок	k_1	$T_{1,c}$	k_2	$T_{2,c}$	k_3 (I)	k_3 (II)
Значення параметру	1.15	1	1	2	1.2	0.4

ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ № 2

Тип ланки	аперіодична		аперіодична		інтегрувальна	
Параметри ланок	k_1	$T_{1,c}$	k_2	$T_{2,c}$	k_3 (I)	k_3 (II)
Значення параметру	1.4	1.1	1	1.9	0.9	0.45

ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ № 3

Тип ланки	аперіодична		аперіодична		інтегрувальна	
Параметри ланок	k_1	$T_{1,c}$	k_2	$T_{2,c}$	k_3 (I)	k_3 (II)
Значення параметру	1.3	1.2	1	1.8	0.8	0.4

ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ № 4

Тип ланки	аперіодична		аперіодична		інтегрувальна	
Параметри ланок	k_1	$T_{1,c}$	k_2	$T_{2,c}$	k_3 (I)	k_3 (II)
Значення параметру	1.35	1.4	1	1.2	0.8	0.35

ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ № 5

Тип ланки	аперіодична		аперіодична		інтегрувальна	
Параметри ланок	k_1	$T_{1,c}$	k_2	$T_{2,c}$	k_3 (I)	k_3 (II)
Значення параметру	1.4	1.3	1	1.7	0.7	0.3

ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ № 6

Тип ланки	аперіодична		аперіодична		інтегровальна	
Параметри ланок	k_1	$T_{1,c}$	k_2	$T_{2,c}$	k_3 (I)	k_3 (II)
Значення параметру	1.5	1.4	1	1.6	0.75	0.25

ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ № 7

Тип ланки	аперіодична		аперіодична		інтегровальна	
Параметри ланок	k_1	$T_{1,c}$	k_2	$T_{2,c}$	k_3 (I)	k_3 (II)
Значення параметру	1.4	1.8	1	1.5	0.7	0.35

ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ № 8

Тип ланки	аперіодична		аперіодична		інтегровальна	
Параметри ланок	k_1	$T_{1,c}$	k_2	$T_{2,c}$	k_3 (I)	k_3 (II)
Значення параметру	1.3	1.6	1	1.4	0.8	0.4

ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ № 9

Тип ланки	аперіодична		аперіодична		інтегровальна	
Параметри ланок	k_1	$T_{1,c}$	k_2	$T_{2,c}$	k_3 (I)	k_3 (II)
Значення параметру	1.2	1.7	1	1.3	0.75	0.25

ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ № 10

Тип ланки	аперіодична		аперіодична		інтегровальна	
Параметри ланок	k_1	$T_{1,c}$	k_2	$T_{2,c}$	k_3 (I)	k_3 (II)
Значення параметру	1.1	1.8	1	1.2	0.9	0.3

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

СИНТЕЗ СИСТЕМ РАНЬОГО ВИЯВЛЕННЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

Мета роботи – _____

Теоретичні основи роботи.

Нелінійна система автоматичного управління – _____

Відомі наступні типи нелінійностей: _____

Типові нелінійності: _____

Особливості нелінійних систем: _____

1 _____

2 _____

3 _____

4 _____

5 _____

Метод гармонічної лінеаризації полягає в _____

Умови застосування методу гармонічної лінеаризації: _____

Тривалість перехідного процесу це _____

Пропорційний регулятор має такі переваги та недоліки: _____

Інтегральний регулятор має такі переваги та недоліки: _____

Основні рівняння:

$$I(A, \omega, p) = \frac{Y(p)}{X(p)} = \frac{C_I}{A} + \frac{C'_I}{A} \frac{p}{\omega}, \quad (1)$$

де $I(A, \omega, p)$ – _____

A – _____

ω – _____

C_I – _____

C'_I – _____

$$I(A) = \frac{C_I}{A} + j \cdot \frac{C'_I}{A}, \quad (2)$$

де $I(A)$ – _____

j – _____

Призначення елементів програми VisSim 5.0

Елемент **divide** призначений для

Елемент **variable** призначений для

Елемент **multiply** призначений для

Елемент **constant** призначений для

За допомогою меню **Блоки** → **Генератори** → **Параметр субмоделі** виконується.....

За допомогою меню **Создать составной блок** виконується.....

За допомогою меню **Блоки** → **Арифметические** → **Перемножить** виконується.....

За допомогою меню **Блоки** → **Арифметические** → **Делитель** виконується.....

Вихідні данні до лабораторної роботи.

Таблиця А. Значення параметрів елементарних динамічних ланок відповідно до індивідуального завдання №

Тип ланки	реальний пропорційний регулятор		аперіодична		аперіодична		інтегрувальний регулятор	
	k_k	$T_{R,c}$	k_1	$T_{1,c}$	k_2	$T_{2,c}$	k_I (початок)	k_I (кінець)
Параметри ланок								
Значення параметру		0.01						

Хід роботи.

31. Вирази передаточних функцій ланок у стандартній формі:

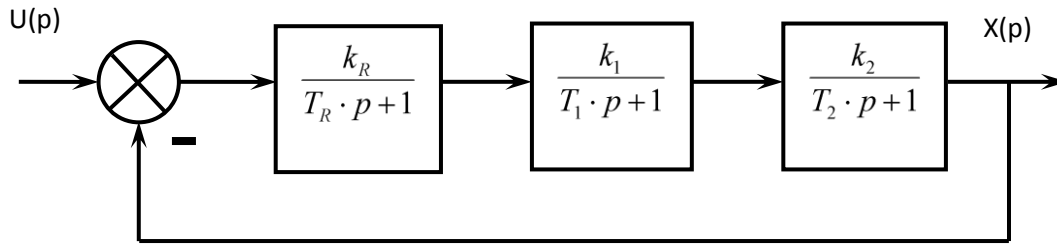
$$W_R(p) = \frac{1}{0.01 \cdot p + 1}$$

$$W_I(p) = \frac{1}{p};$$

$$W_2(p) = \text{-----} ;$$

$$W_1(p) = \frac{\text{---}}{p} .$$

32. Структурно-динамічна схема системи з реальним пропорційним регулятором :



33. Еквівалентна передаточна функція системи:

$$W_{P-Reg}(p) = \frac{W_1(p) \cdot W_2(p) \cdot W_3(p)}{1 + W_1(p) \cdot W_2(p) \cdot W_3(p)} = \frac{\frac{k_R}{T_R p + 1} \cdot \frac{k_1}{T_1 p + 1} \cdot \frac{k_2}{T_2 p + 1}}{1 + \frac{k_R}{T_R p + 1} \cdot \frac{k_1}{T_1 p + 1} \cdot \frac{k_2}{T_2 p + 1}} =$$

$$= \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot k_R}{T_1 \cdot T_2 \cdot T_R \cdot p^3 + [(T_1 + T_R) \cdot T_2 + T_R \cdot T_1] \cdot p^2 + (T_1 + T_2 + T_R) \cdot p + 1 + k_1 \cdot k_2 \cdot k_R} .$$

34. Визначення сталого значення одиничної перехідної функції:

$$h_{CT} = \lim_{p \rightarrow 0} W_{P-Reg}(p) =$$

$$= \lim_{p \rightarrow 0} \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot k_R}{T_1 \cdot T_2 \cdot T_R \cdot p^3 + [(T_1 + T_R) \cdot T_2 + T_R \cdot T_1] \cdot p^2 + (T_1 + T_2 + T_R) \cdot p + 1 + k_1 \cdot k_2 \cdot k_R} =$$

$$= \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot k_R}{1 + k_1 \cdot k_2 \cdot k_R} .$$

35. Дослідження стійкості системи по критерію Гурвіца:

- характеристичний поліном:

$$G(p) = \frac{\text{---}}{a_3} \cdot p^3 + \frac{\text{---}}{a_2} \cdot p^2 + \frac{\text{---}}{a_1} \cdot p + \frac{\text{---}}{a_0} .$$

- перевірити виконання умови:

$$a_2 \cdot a_1 > a_0 \cdot a_3$$

- в разі її виконання зробити висновок що система стійка.

36. Побудувати структурно-динамічну схему в програмі VisSim 5.0 та отримати її одиничну перехідну функцію $h(t)$.

37. За графіком ОПФ $h(t)$ визначити тривалість перехідного процесу t_{III} та сталу похибку ε_{CT} . Результати занести до табл. 4.1

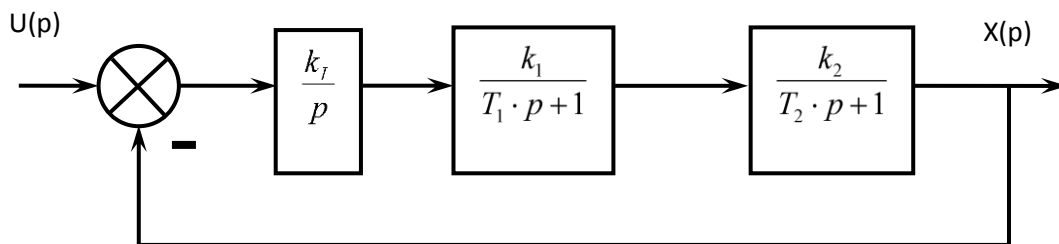
Табл. 4.1

k_R	1.0	1.25	1.5	1.75	2.0	2.5	3	4	5	10
t_{III}, c										
ε_{CT}										

38. Побудувати отримані залежності на графіках (рис. 4.1 та 4.2.)

39. Змінюємо в системі, що досліджується, характер закону регулювання на інтегровальний. Для цього в програмі VisSim 5.0 підключаємо створений блок інтегрального регулятора з коефіцієнтом підсилення k_I (початок) відповідно до табл. А.

40. Структурно-динамічна схема системи з інтегральним регулятором:



41. Еквівалентна передаточна функція системи:

$$W_{I-Reg}(p) = \frac{W_1(p) \cdot W_2(p) \cdot W_3(p)}{1 + W_1(p) \cdot W_2(p) \cdot W_3(p)} = \frac{\frac{k_I}{p} \cdot \frac{k_1}{T_1 \cdot p + 1} \cdot \frac{k_2}{T_2 \cdot p + 1}}{1 + \frac{k_I}{p} \cdot \frac{k_1}{T_1 \cdot p + 1} \cdot \frac{k_2}{T_2 \cdot p + 1}} = \frac{k_I \cdot k_2 \cdot k_1}{T_1 \cdot T_2 \cdot p^3 + (T_1 + T_2) \cdot p^2 + p + k_I \cdot k_2 \cdot k_1}$$

42. Дослідження стійкості системи по критерію Гурвіца:

- характеристичний поліном:

$$G(p) = \frac{a_3}{a_3} \cdot p^3 + \frac{a_2}{a_2} \cdot p^2 + \frac{a_1}{a_1} \cdot p + \frac{a_0}{a_0}$$

- перевірити виконання умови:

$$a_2 \cdot a_1 > a_0 \cdot a_3$$

- в разі її виконання зробити висновок що система стійка.

43. В програмі VisSim 5.0 отримати одиничну перехідну функцію $h(t)$.

44. За графіком ОПФ $h(t)$ визначити тривалість перехідного процесу t_{III} та сталу похибку $\varepsilon_{СТ}$. Результати занести до табл. 4.2

Табл. 4.2

k_I	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
t_{III}, c							
$\varepsilon_{СТ}$							

45. Побудувати отримані залежності на графіках (рис. 4.3 та 4.4.)

Висновки:

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

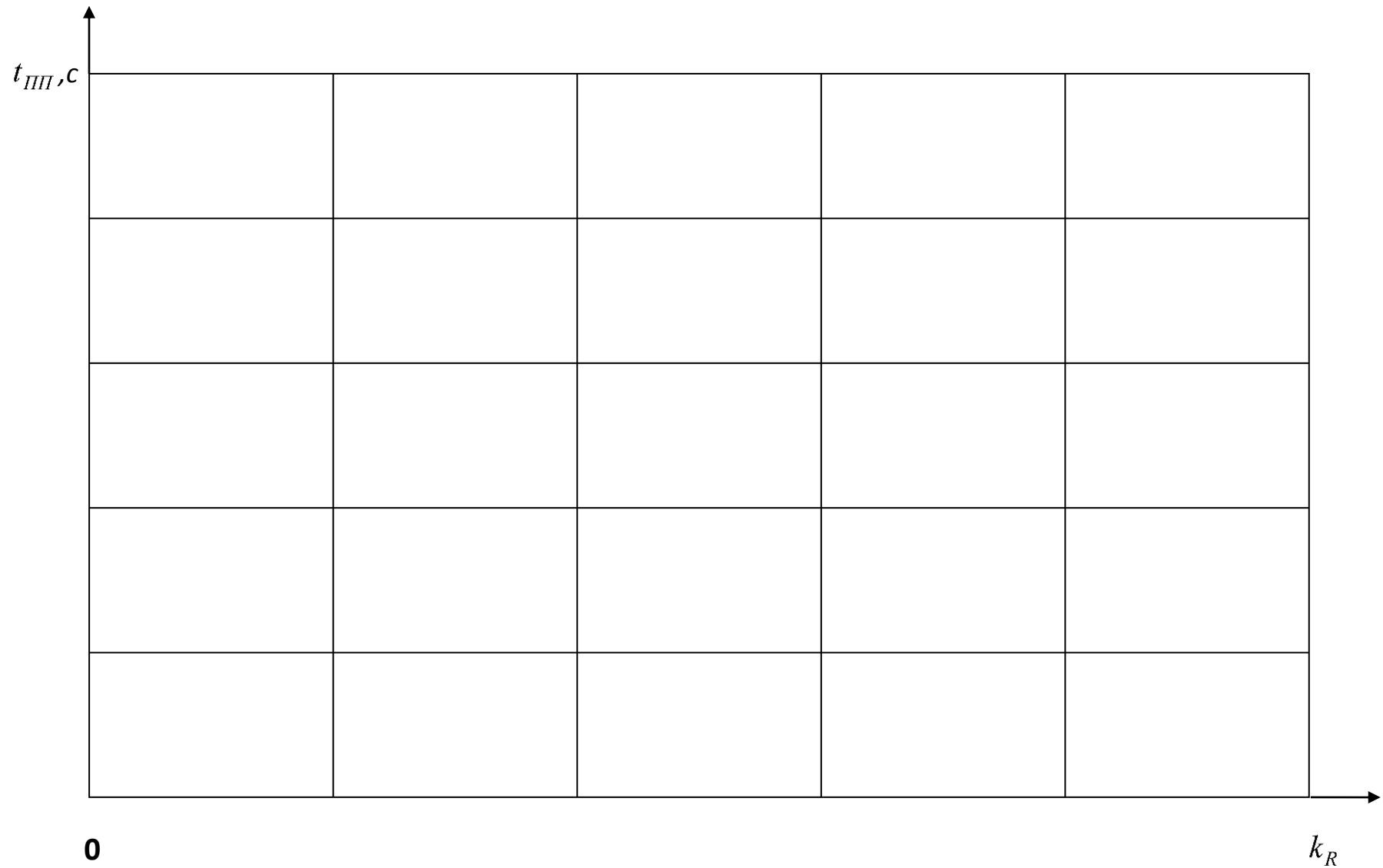


Рисунок 4.1. Графік залежності тривалості перехідного процесу від коефіцієнту підсилення пропорційного регулятора.

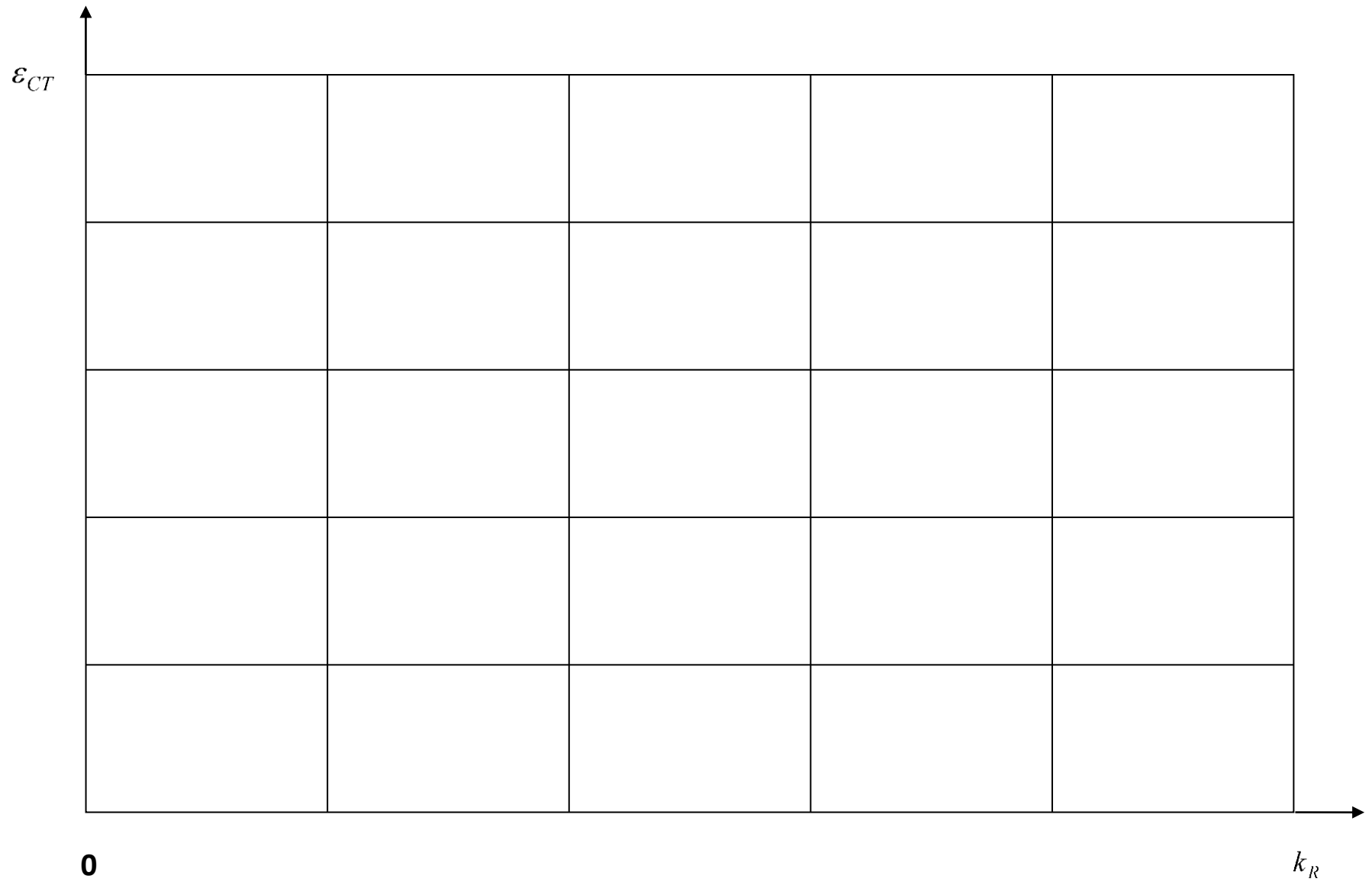


Рисунок 4.2. Графік залежності сталої похибки від коефіцієнту підсилення пропорційного регулятора.



Рисунок 4.3 Графік залежності тривалості перехідного процесу від коефіцієнту підсилення інтегрального регулятора.

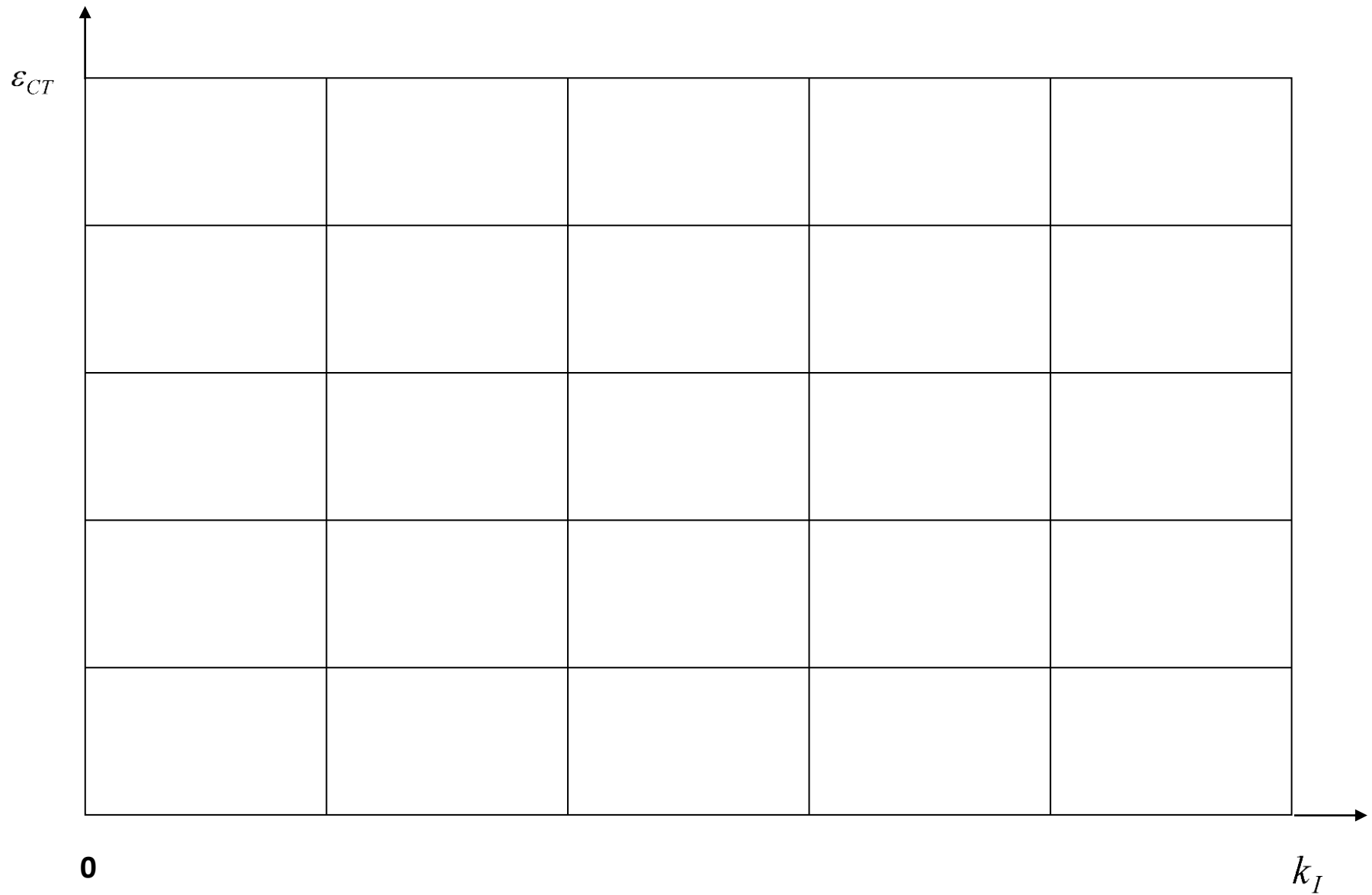
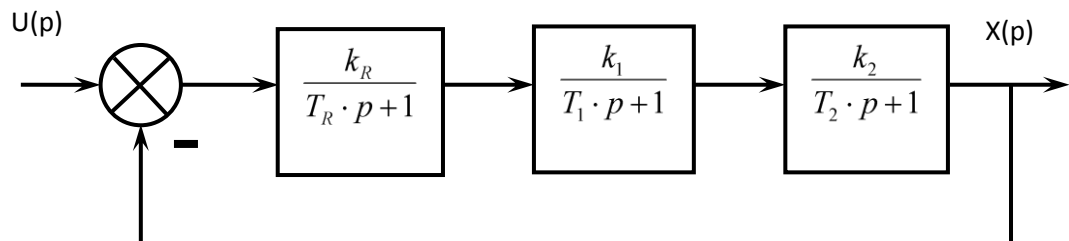


Рисунок 4.4. Графік залежності сталої похибки від коефіцієнту підсилення інтегрального регулятора..

Алгоритм визначення еквівалентної передаточної функції та похибки управління.

1. Еквівалентна передаточна функція зустрічно-паралельного з'єднання ланок (з пропорційним регулятором), СДС, якої представлена на рисунку:



Передаточна функція зустрічно-паралельного з'єднання є дріб, в чисельнику якої передаточна функція прямого ланцюга, а в знаменнику алгебраїчна сума одиниці та добутку передаточних функцій, що входять до цього з'єднання.

Для з'єднання з негативним зворотнім зв'язком еквівалентна ПФ дорівнює:

$$\begin{aligned}
 W_{P-Reg}(p) &= \frac{W_1(p) \cdot W_2(p) \cdot W_3(p)}{1 + W_1(p) \cdot W_2(p) \cdot W_3(p)} = \frac{\frac{k_R}{T_R p + 1} \cdot \frac{k_1}{T_1 p + 1} \cdot \frac{k_2}{T_2 p + 1}}{1 + \frac{k_R}{T_R p + 1} \cdot \frac{k_1}{T_1 p + 1} \cdot \frac{k_2}{T_2 p + 1}} = \\
 &= \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot k_R}{T_1 \cdot T_2 \cdot T_R \cdot p^3 + [(T_1 + T_R) \cdot T_2 + T_R \cdot T_1] \cdot p^2 + (T_1 + T_2 + T_R) \cdot p + 1 + k_1 \cdot k_2 \cdot k_R}.
 \end{aligned}$$

Визначення сталого значення одиничної перехідної функції:

$$h_{CT} = h(\infty) = \lim_{p \rightarrow 0} p \cdot W_{P-Reg}(p) \cdot U(p),$$

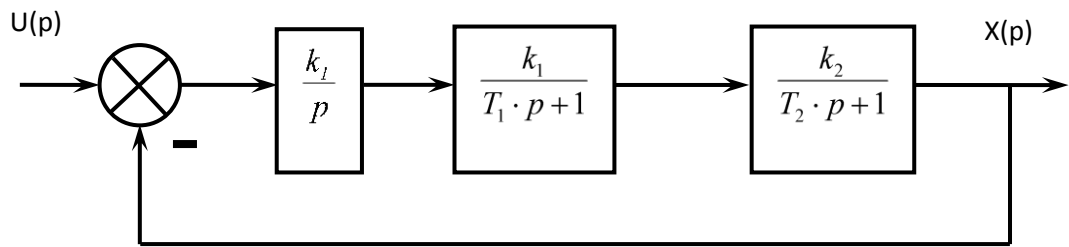
враховуючи, що зображення одиничного ступінчатого сигналу дорівнює:

$$U(p) = \frac{1}{p}.$$

Маємо

$$\begin{aligned}
 h_{CT} &= \lim_{p \rightarrow 0} W_{p-Reg}(p) = \\
 &= \lim_{p \rightarrow 0} \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot k_R}{T_1 \cdot T_2 \cdot T_R \cdot p^3 + [(T_1 + T_R) \cdot T_2 + T_R \cdot T_1] \cdot p^2 + (T_1 + T_2 + T_R) \cdot p + 1 + k_1 \cdot k_2 \cdot k_R} = \\
 &= \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot k_R}{1 + k_1 \cdot k_2 \cdot k_R}.
 \end{aligned}$$

2. Еквівалентна передаточна функція зустрічно-паралельного з'єднання ланок (з інтегральним регулятором), СДС, якої представлена на рисунку:



Для з'єднання з негативним зворотнім зв'язком еквівалентна ПФ дорівнює:

$$\begin{aligned}
 W_{I-Reg}(p) &= \frac{W_1(p) \cdot W_2(p) \cdot W_3(p)}{1 + W_1(p) \cdot W_2(p) \cdot W_3(p)} = \frac{\frac{k_1}{p} \cdot \frac{k_1}{T_1 \cdot p + 1} \cdot \frac{k_2}{T_2 \cdot p + 1}}{1 + \frac{k_1}{p} \cdot \frac{k_1}{T_1 \cdot p + 1} \cdot \frac{k_2}{T_2 \cdot p + 1}} = \\
 &= \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot k_1}{T_1 \cdot T_2 \cdot p^3 + (T_1 + T_2) \cdot p^2 + p + k_1 \cdot k_2 \cdot k_1}.
 \end{aligned}$$

Визначення сталого значення одиничної перехідної функції:

$$h_{CT} = h(\infty) = \lim_{p \rightarrow 0} p \cdot W_{I-Reg}(p) \cdot U(p),$$

враховуючи, що зображення одиничного ступінчатого сигналу дорівнює:

$$U(p) = \frac{1}{p}.$$

Маємо

$$\begin{aligned}
 h_{CT} &= \lim_{p \rightarrow 0} W_{I-Reg}(p) = \lim_{p \rightarrow 0} \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot k_1}{T_1 \cdot T_2 \cdot p^3 + (T_1 + T_2) \cdot p^2 + p + k_1 \cdot k_2 \cdot k_1} = \\
 &= \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot k_1}{k_1 \cdot k_2 \cdot k_1} = 1.
 \end{aligned}$$

Алгоритм визначення стійкості автоматичної системи (наслідок критерію Гурвіца для системи 3-го порядку)

1. Записати характеристичний поліном (знаменник еквівалентної передаточної функції системи автоматики)

$$G_3(p) = a_3 \cdot p^3 + a_2 \cdot p^2 + a_1 \cdot p + a_0$$

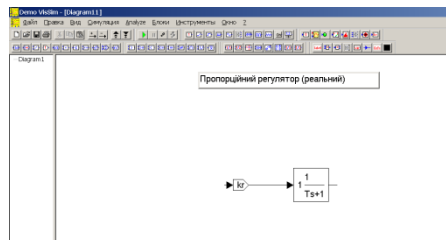
2. Перевірити виконання умови:

$$a_2 \cdot a_1 > a_0 \cdot a_3$$

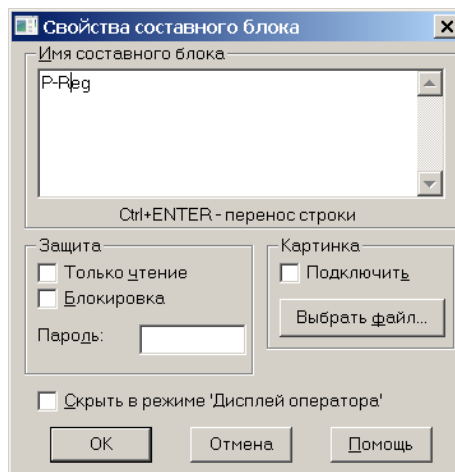
3. В разі її виконання зробити висновок що система стійка.

Алгоритм роботи в програмі *VisSim 5.0* по визначенню показників якості системи автоматичного управління

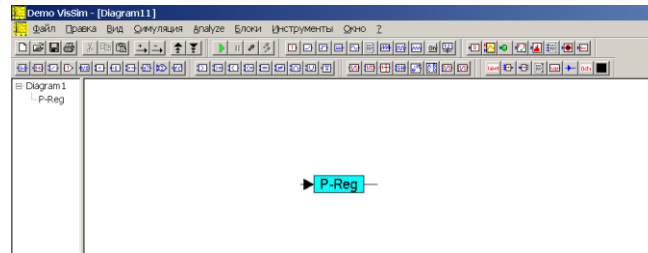
1. В операційній системі Windows знайти на робочому столі ярлик програми **VisSim** та активізувати його подвійним кліком миші.
2. На робочому полі програми **VisSim** побудувати СДС пропорційного регулятора (реального):



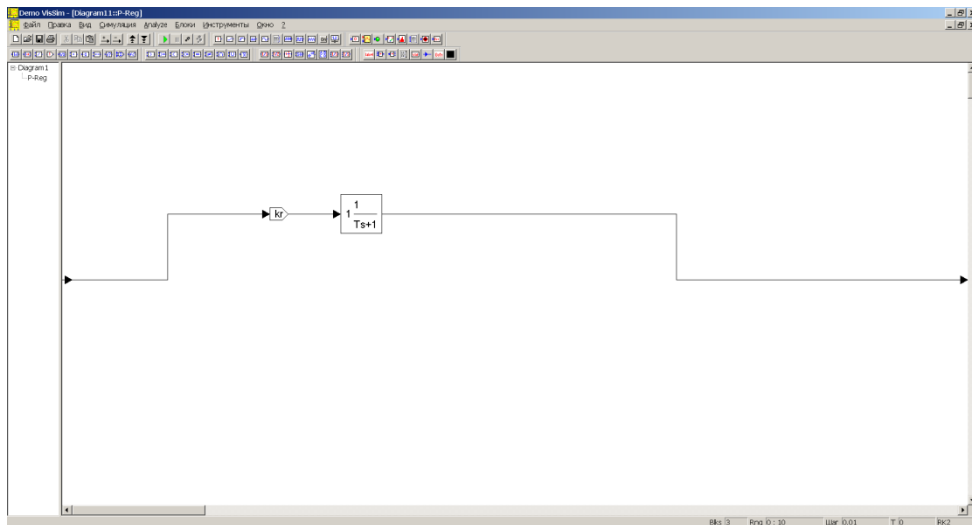
3. Створити складну ланку пропорційного регулятора, для цього виділити ланки, натиснути праву клавiшу миші та обрати пункт **Создать составной блок...**:



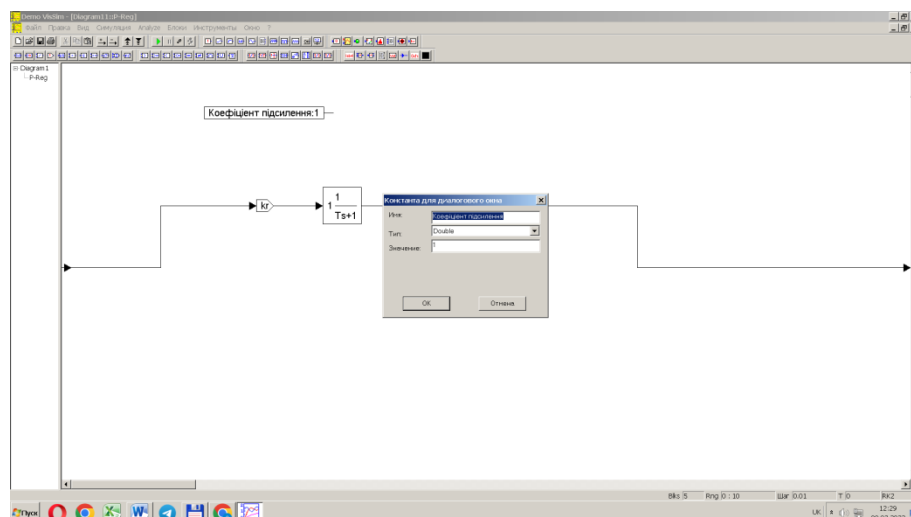
Давши йому ім'я **P-Reg**, натиснути кнопку **ОК**:



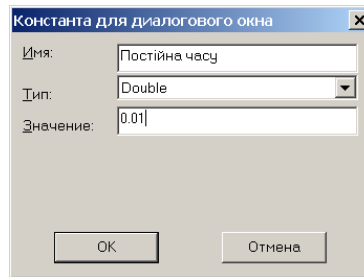
4. Навести курсор миші на піктограму **P-Reg** та натиснути праву клавішу миші.



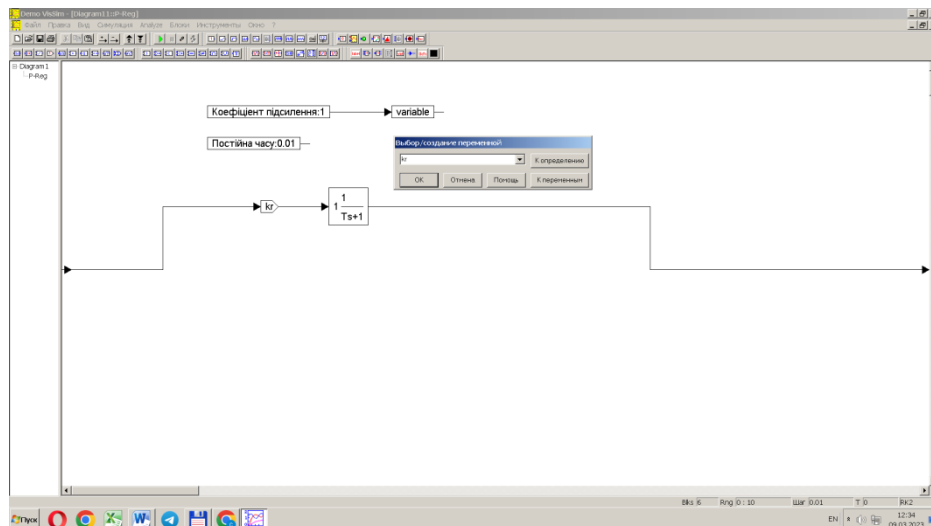
5. Задати параметри регулятора, для цього створюємо блок за допомогою меню **Блоки**→**Генератори**→**Параметр субмоделі**. Навести курсор миші на піктограму **dialogConstant:0** та натиснути праву клавішу миші. У вікні, що з'явилось в полі **Ім'я** вказати **Коефіцієнт підсилення** в полі **Значення** задати **1**, натиснути кнопку **ОК**.



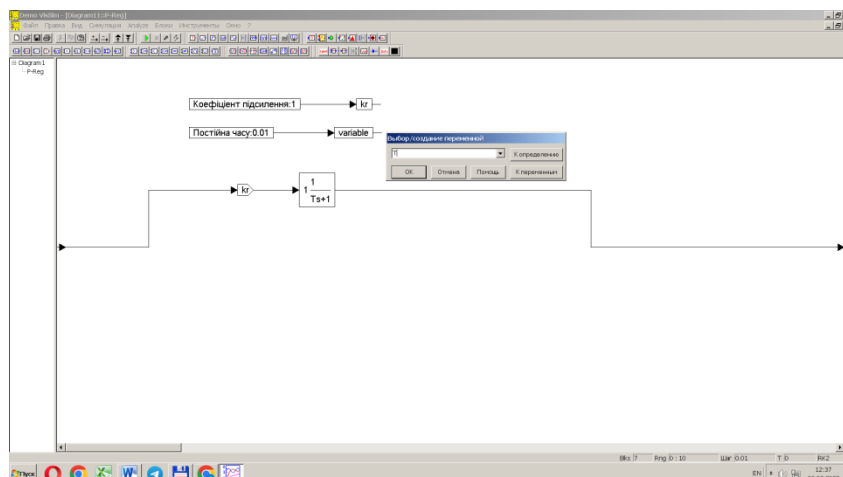
Повторити вказані дії та створити ще одну **dialogConstant:0** з ім'ям **Постійна часу** і значенням **0.01**



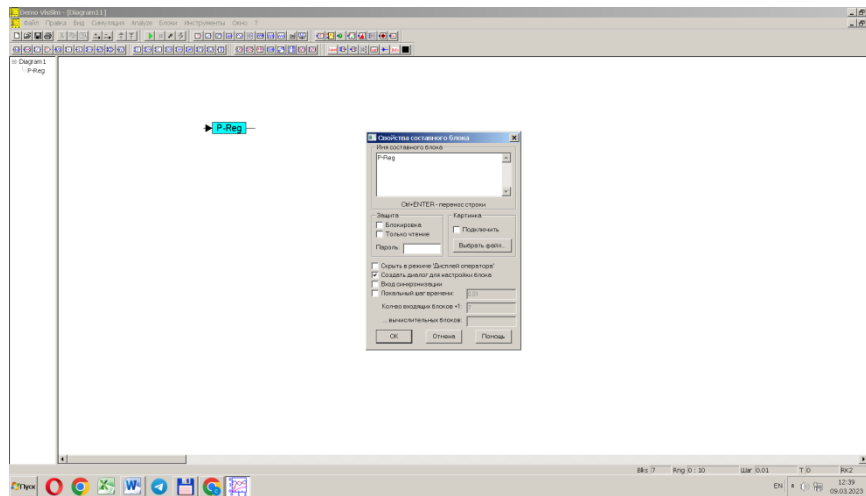
6. Встановити на робоче поле блок **variable** та приєднати його до блоку **Коефіцієнт підсилення**. Вказати ім'я змінної – **kr** (натиснувши праву клавішу миші на піктограмі блока **variable**) і натиснути кнопку **ОК**.



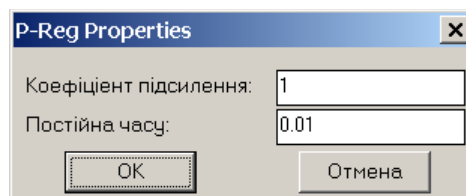
Встановити на робоче поле блок **variable** та приєднати його до блоку **Постійна часу**. Вказати ім'я змінної – **T** (натиснувши праву клавішу миші на піктограмі блока **variable**) і натиснути кнопку **ОК**



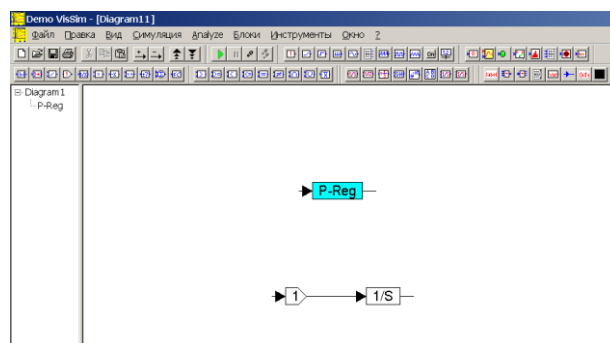
7. Повернутися до головного робочого поля Diagram1. Підвести курсор миші до піктограми **P-Reg**, натиснути та утримувати клавішу **Ctrl** на клавіатурі, після цього натиснути праву клавішу миші.



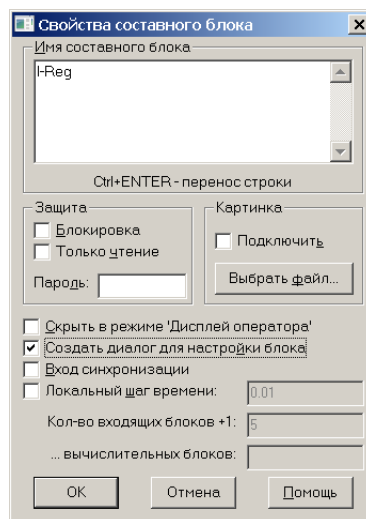
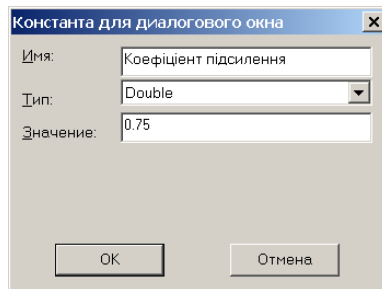
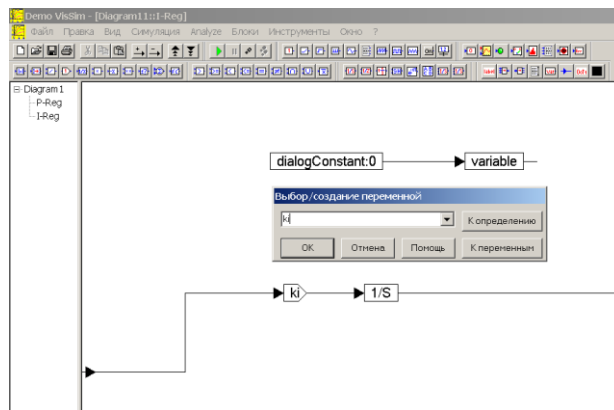
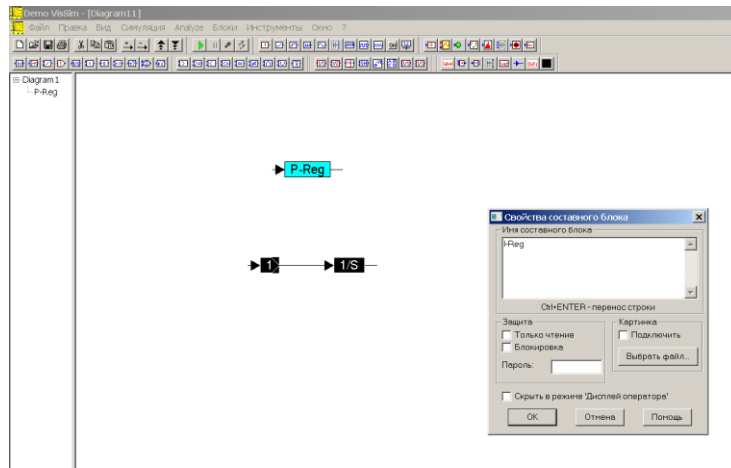
Встановити позначку на полі **Создать диалог для настройки блока**. Натиснути кнопку **ОК**. Тепер при наведенні на піктограму **P-Reg**, натиснувши праву клавішу миші отримаємо діалогове вікно, в якому можна задавати параметри регулятора **P-Reg**.

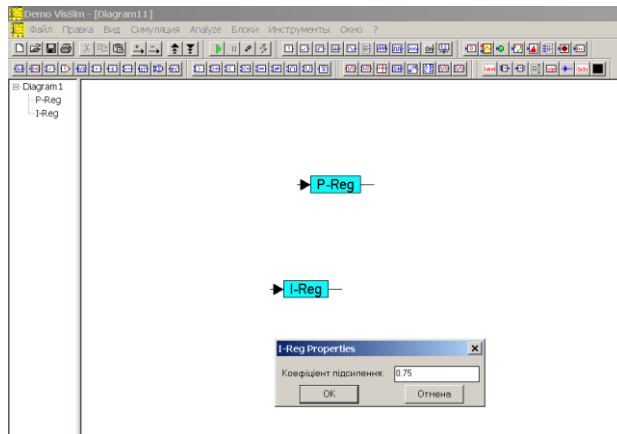


8. Побудувати на головному робочому полі СДС інтегрального регулятора:

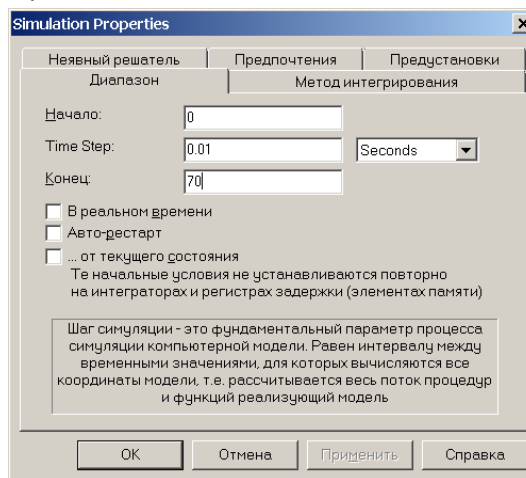


9. Повторити дії пунктів 3 ÷ 7 для створення інтегрального регулятора **I-Reg** з параметром **ki**.

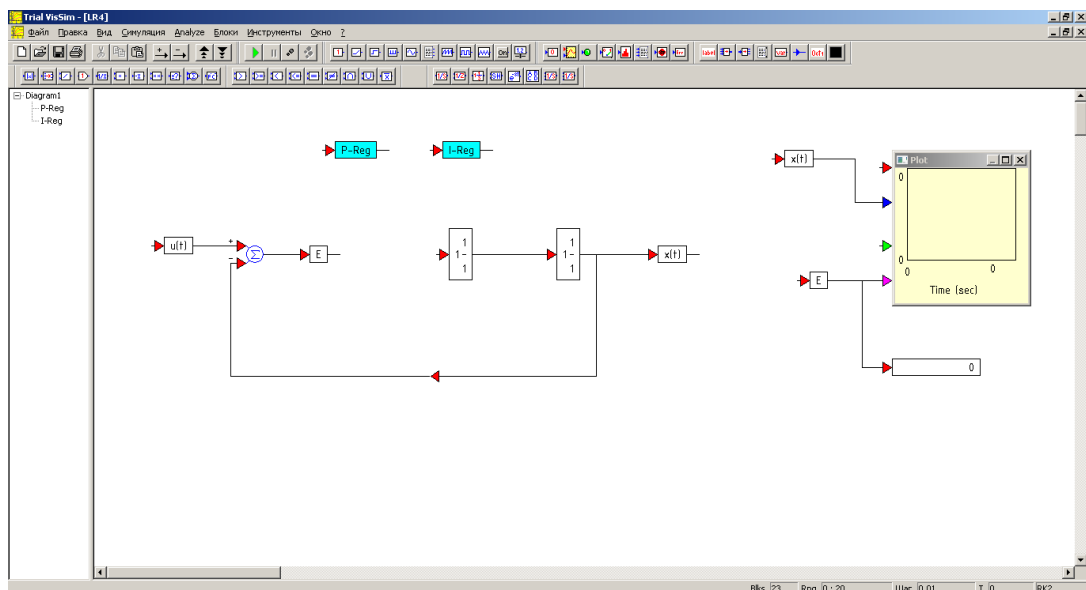




10. Задати параметри режиму моделювання. Обравши пункт меню **Симуляція** → **Налаштування симуляції**. Задати значення параметрів, як вказано у вікні.

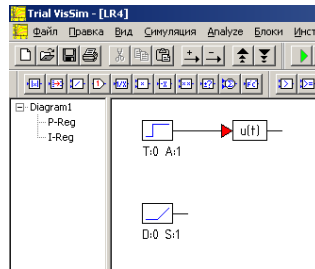


11. Побудувати схему системи.

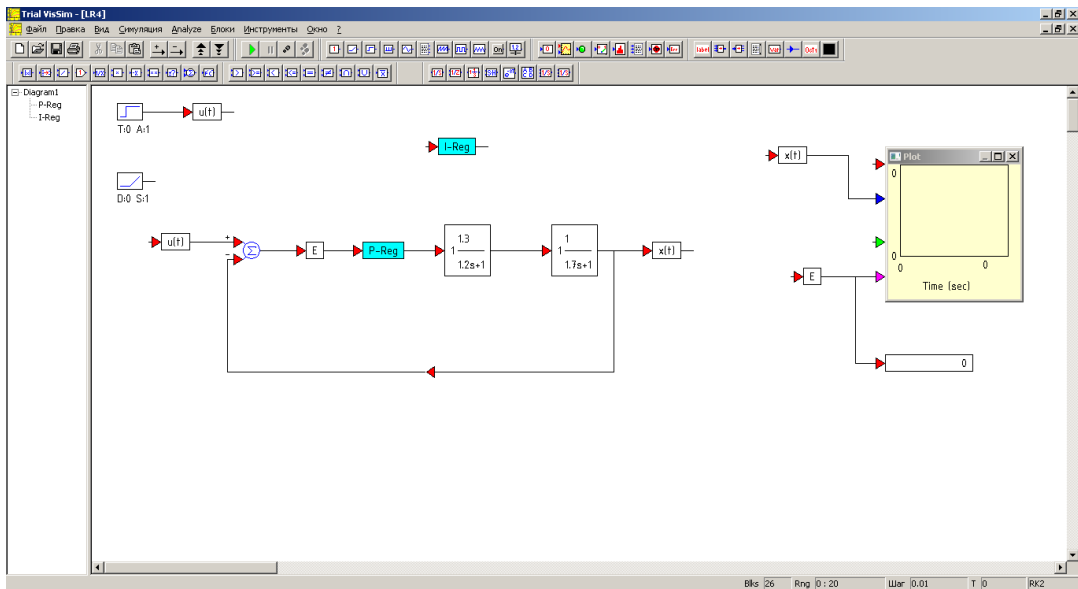


Застосовуючи блок **variable** створити змінні з іменами **x(t)** та **E** і під'єднати їх до блоку **Plot**.

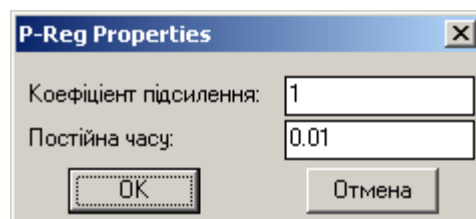
На робочому полі в лівому верхньому кутку створити блок **variable** з ім'ям **u(t)** та подати на нього ступінчатий сигнал



12. Встановити значення параметрів системи відповідно до індивідуального завдання. Підключити блок **P-Reg** в схему.



Викликати діалогове вікно блока **P-Reg** (натиснувши праву клавішу миші на піктограмі блока **P-Reg**) та задати значення Коефіцієнт підсилення.

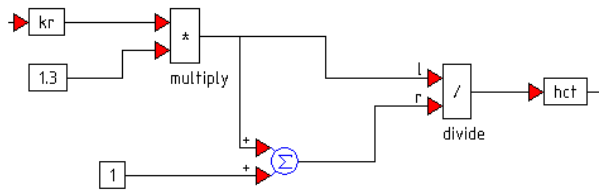


13. За допомогою VisSim розрахувати сталі значення вихідного сигналу.

$$h_{CT} = \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot k_R}{1 + k_1 \cdot k_2 \cdot k_R}$$

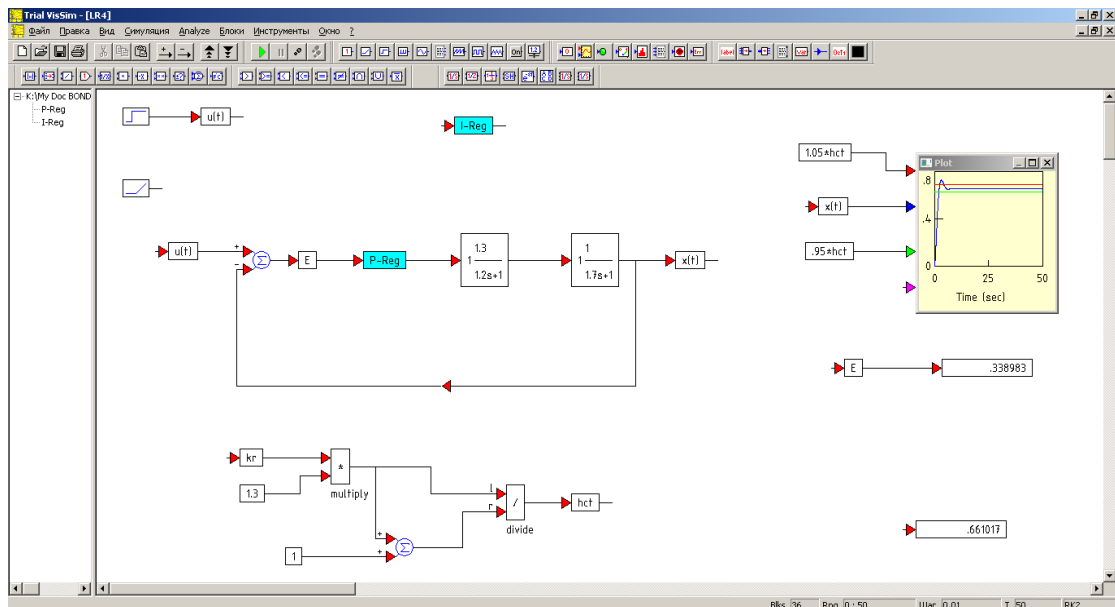
Для цього становити на робоче поле блоки **multiply(*)**, **divide(/)**, **summingJunction** та **variable** та з'єднати їх між собою як показано на схемі. Одному блоку **variable** задати ім'я змінної **kr**, другий назвати

h_{CT}. Встановити на робоче поле два блока **constant** та приєднати їх до решти блоків.

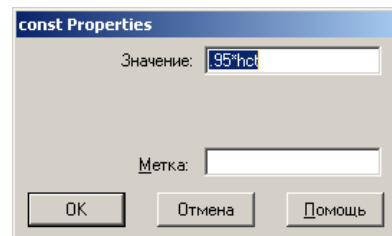
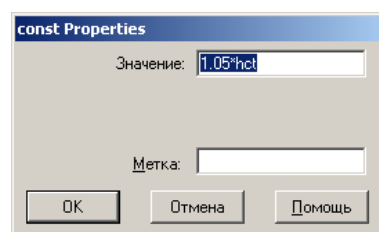


Задати значення в блоках **constant**: для нижнього 1, а для другого відповідно до значення коефіцієнта передачі аперіодичної ланки (натиснувши праву кнопку миші на піктограмі блока)

14. Встановити на робоче поле два блока **constant** та приєднати їх до блоку **plot**.



задати в полі значення для верхнього блоку $1.05h_{CT}$ а для нижнього блоку $0.95h_{CT}$.

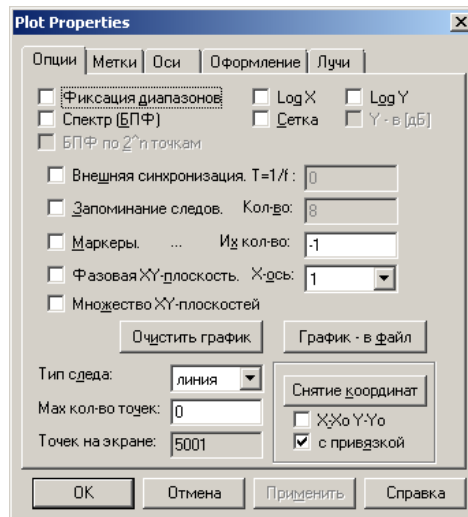


15. Розрахувати перехідну функцію (натиснути кнопку F5).

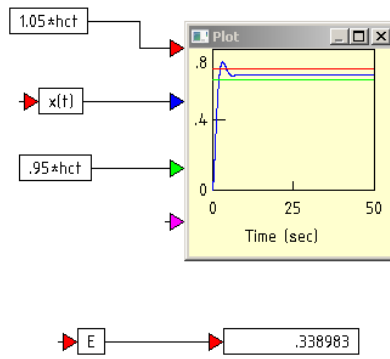
16. Розгорнути на весь екран блок **plot** та визначити по графіку тривалість перехідного процесу t_{III} . Отримані значення занести до журналу лабораторних робіт.



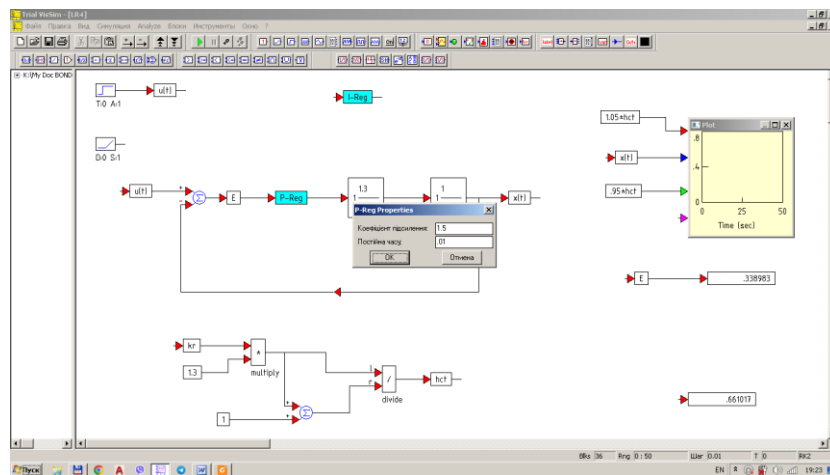
Для цього скористатися інструментом **Снятие координат (с привязкой)** меню **plot Properties** (натиснувши праву клавішу миші):



17. Занести в лабораторний журнал значення сталої похибки $\varepsilon_{ст}$:

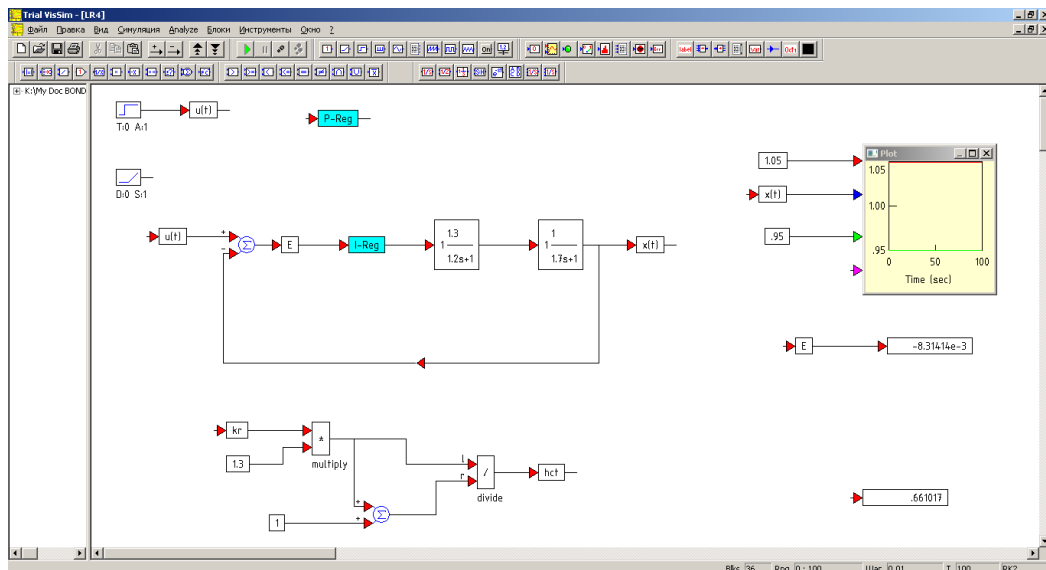


18. Повторити дослідження змінюючи значення коефіцієнта підсилення пропорційного регулятора (натиснувши праву кнопку миші на піктограмі **P-Reg**):

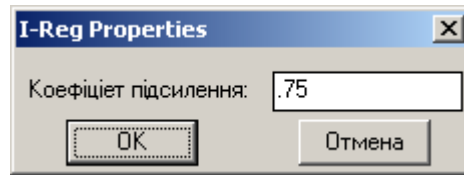


19. Отримані значення тривалості перехідного процесу та сталої похибки занести в лабораторний журнал (табл. 4.1).

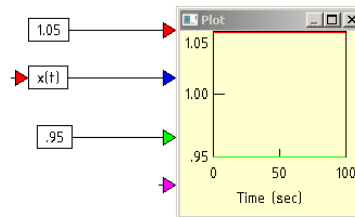
20. В системі, що досліджується, від'єднати пропорційний регулятор, а замість нього підключити інтегральний регулятор.



Задати значення коефіцієнта підсилення регулятора відповідно до завдання (табл. А):



Також в блоках констант, що під'єднанні до входів блоку **plot** видалити множник h_{CT}



21. Задати параметри режиму моделювання. Обравши пункт меню **Симуляція** → **Налаштування симуляції**. Змінити час моделювання: **Кінець 100 с**. Повторити дії пунктів 15-19. Результати занести в лабораторний журнал (табл. 4.2).
22. За табличними даними в журналі побудувати графічні залежності (рис. 4.1 – 4.4) та зробити висновки.

Перелік індивідуальних завдань

Номер індивідуального завдання обирається відповідно до останньої цифри в номері залікової книжки.

ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ № 1

Тип ланки	реальний пропорційний регулятор		аперіодична		аперіодична		інтегрувальний регулятор	
Параметри ланок	k_k	$T_{R,c}$	k_1	$T_{1,c}$	k_2	$T_{2,c}$	k_I (початок)	k_I (кінець)
Значення параметру	1.1	0.01	1.15	1	1	2	1.2	0.4

ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ № 2

Тип ланки	реальний пропорційний регулятор		аперіодична		аперіодична		інтегрувальний регулятор	
Параметри ланок	k_k	$T_{R,c}$	k_1	$T_{1,c}$	k_2	$T_{2,c}$	k_I (початок)	k_I (кінець)
Значення параметру	1.05	0.01	1.4	1.1	1	1.9	0.9	0.45

ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ № 3

Тип ланки	реальний пропорційний регулятор		аперіодична		аперіодична		інтегрувальний регулятор	
Параметри ланок	k_k	$T_{R,c}$	k_1	$T_{1,c}$	k_2	$T_{2,c}$	k_I (початок)	k_I (кінець)
Значення параметру	1.075	0.01	1.3	1.2	1	1.8	0.8	0.4

ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ № 4

Тип ланки	реальний пропорційний регулятор		аперіодична		аперіодична		інтегрувальний регулятор	
Параметри ланок	k_k	$T_{R,c}$	k_1	$T_{1,c}$	k_2	$T_{2,c}$	k_I (початок)	k_I (кінець)
Значення параметру	1.06	0.01	1.35	1.4	1	1.2	0.8	0.35

ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ № 5

Тип ланки	реальний пропорційний регулятор		аперіодична		аперіодична		інтегрувальний регулятор	
Параметри ланок	k_k	$T_{R,c}$	k_1	$T_{1,c}$	k_2	$T_{2,c}$	k_I (початок)	k_I (кінець)
Значення параметру	1.04	0.01	1.4	1.3	1	1.7	0.7	0.3

ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ № 6

Тип ланки	реальний пропорційний регулятор		аперіодична		аперіодична		інтегрувальний регулятор	
Параметри ланок	k_k	T_R, c	k_1	T_1, c	k_2	T_2, c	k_I (початок)	k_I (кінець)
Значення параметру	1.03	0.01	1.5	1.4	1	1.6	0.75	0.25

ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ № 7

Тип ланки	реальний пропорційний регулятор		аперіодична		аперіодична		інтегрувальний регулятор	
Параметри ланок	k_k	T_R, c	k_1	T_1, c	k_2	T_2, c	k_I (початок)	k_I (кінець)
Значення параметру	1.02	0.01	1.4	1.8	1	1.5	0.7	0.35

ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ № 8

Тип ланки	реальний пропорційний регулятор		аперіодична		аперіодична		інтегрувальний регулятор	
Параметри ланок	k_k	T_R, c	k_1	T_1, c	k_2	T_2, c	k_I (початок)	k_I (кінець)
Значення параметру	1.05	0.01	1.3	1.6	1	1.4	0.8	0.4

ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ № 9

Тип ланки	реальний пропорційний регулятор		аперіодична		аперіодична		інтегрувальний регулятор	
Параметри ланок	k_k	T_R, c	k_1	T_1, c	k_2	T_2, c	k_I (початок)	k_I (кінець)
Значення параметру	1.06	0.01	1.2	1.7	1	1.3	0.75	0.25

ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ № 10

Тип ланки	реальний пропорційний регулятор		аперіодична		аперіодична		інтегрувальний регулятор	
Параметри ланок	k_k	T_R, c	k_1	T_1, c	k_2	T_2, c	k_I (початок)	k_I (кінець)
Значення параметру	1.07	0.01	1.1	1.8	1	1.2	0.9	0.3