

Вінницький національний технічний університет
Факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації
Кафедра комп'ютерних систем управління

КУРСОВИЙ ПРОЄКТ

з дисципліни «Теорія автоматичного управління»
на тему: «Синтез послідовного коригувального пристрою»
08-33.ТАУ.019.00.000 ПЗ

Виконав студент 4-го курсу групи 2АКІТ-226
спеціальності 151 «Автоматизація та
комп'ютерно-інтегровані технології»
Святослав БАРИЦЬКИЙ

Керівник ст. викл. каф. КСУ
Василь ПРИСЯЖНЮК

Кількість балів: _____

Оцінка ЄКТС: _____

Члени комісії:

(підпис) (прізвище та ініціали)

(підпис) (прізвище та ініціали)

Вінницький національний технічний університет
Факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації
Кафедра комп'ютерних систем управління
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
Освітньо-професійна програма «Інтелектуальні комп'ютерні системи управління»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав.кафедри КСУ

д. т. н., професор В'ячеслав КОВТУН

« ____ » _____ 2025 року

ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ

на курсовий проєкт з дисципліни «Теорія автоматичного управління»

Барицькому Святославу Вікторовичу, студенту гр. 2АКІТ-226

Тема проєкту: Синтез послідовного коригувального пристрою.

Завдання: виконати синтез послідовного коригувального пристрою САУ.

Вхідні дані до виконання проєкту:

Структурна схема початкової САУ.

Передатна функція першого блоку $W_1(s) = s + b$.

Параметри першого блоку $b = 0.12$.

Передатна функція другого блоку $W_2(s) = \frac{K}{(s+d) \cdot (as^2+cs+1)}$.

Параметри другого блоку $a = 0.1$, $c = 0.03$, $d = 0.4$.

Методи виконання завдання:

Для непарних номерів варіанта: синтез послідовного корегуючого пристрою виконати за допомогою метода логарифмічних частотних характеристик; спрощення передатної функції коригувального пристрою виконати аналітичним методом.

Для парних номерів варіанта: синтез послідовного корегуючого пристрою виконати за допомогою стандартних перехідних характеристик, спрощення передатної функції коригувального пристрою виконати графічним методом.

Також студент може виконати завдання іншими методами.

Параметри спроектованої системи:

- максимальне перерегулювання $\sigma_m \leq 10\%$,
- час регулювання $t_{рк}$ вдвічі менший за час регулювання $t_{рз}$ заданої системи ($t_{рк} \leq 0,5 t_{рз}$),
- похибка в усталеному режимі $\varepsilon_{уст}=0$,
- статичний коефіцієнт підсилення $K=4$.

Зміст пояснювальної записки:

Анотація

Зміст

Вступ

1. Аналіз початкової системи

2. Синтез САУ

3. Спрощення коригуючого пристрою

Висновки

Список використаних джерел

Дата видачі завдання: 09 вересня 2025 р.

Строк подання завершеного проєкту: 01 грудня 2025 р.

Керівник _____

Василь ПРИСЯЖНЮК

Завдання отримав _____

Святослав БАРИЦЬКИЙ

АНОТАЦІЯ

БАРИЦЬКИЙ С. В. Синтез послідовного пристрою корекції: курсовий проєкт з дисципліни «Теорія автоматичного управління».

У курсовому проєкті виконано синтез та дослідження послідовного коригувального пристрою для системи автоматичного керування із заданою передавальною функцією. Проведено аналіз динамічних властивостей початкової системи, зокрема оцінено її стійкість та основні показники якості керування, виявивши, що початкова система не відповідає заданим вимогам. З використанням методу логарифмічних частотних характеристик розроблено послідовний коригувальний пристрій, який забезпечує покращення динамічних характеристик системи, зменшення часу регулювання та обмеження перерегулювання до допустимого рівня. Проведено імітаційне моделювання роботи скоригованої системи з використанням мови програмування Python та бібліотеки Matplotlib.

Ключові слова: САК, коригувальний пристрій, передавальна функція, ЛАЧХ, ЛФЧХ.

ABSTRACT

BARYTSKYI S. V. Synthesis of a series correction device: a course project in “Theory of Automatic Control”.

In the course project, the synthesis and study of a series compensator for an automatic control system with a given transfer function were carried out. The dynamic properties of the initial system, including its stability and main performance indicators, were analyzed, revealing that the original system did not meet the specified requirements. Using the logarithmic frequency response method, a series compensator was developed, improving the system’s dynamic characteristics, reducing the settling time, and limiting overshoot to acceptable levels. Simulation of the corrected system was carried out using the Python programming language and the Matplotlib library.

Keywords: automatic control system, corrective device, transfer function, Bode magnitude plot, Bode phase plot.

ЗМІСТ

Вступ.....	6
1. Аналіз початкової системи.....	7
1.1 Математичний опис САУ.....	8
1.2 Визначення стійкості системи.....	10
1.3 Побудова ЛАЧХ та ЛФЧХ.....	12
1.4 Визначення прямих показників якості.....	16
2. Синтез САУ.....	17
3. Спрощення коригуючого пристрою.....	23
Висновки.....	25
Список використаних джерел.....	26

					08-33.ТАУ.019.00.000 ПЗ					
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>						
<i>Розроб.</i>	Барицький С. В				Синтез послідовного коригувального пристрою Пояснювальна записка			<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевір.</i>	Присяжнюк В.В							5	26	
<i>Реценз.</i>								ВНТУ гр. 2АКІТ-226		
<i>Н. Контр.</i>	Присяжнюк В.В									
<i>Затверд.</i>										

ВСТУП

Теорія автоматичного управління (ТАУ) вивчає принципи побудови та функціонування систем, які здійснюють автоматичне керування технічними процесами. Основна її цінність полягає у створенні математичних моделей, що дозволяють описувати поведінку систем незалежно від конкретних фізичних реалізацій. Це дає змогу застосовувати універсальні методи управління у різних сферах, від промислових технологій до робототехніки та автоматизації будівельних систем.

Серед ключових напрямів ТАУ особливе місце займають адаптивне та нелінійне керування. Адаптивні системи здатні самостійно підлаштовуватися під зміни в навколишньому середовищі, що є критично важливим для складних або динамічних об'єктів. Нелінійне керування застосовується там, де стандартні лінійні моделі не можуть точно описати поведінку системи. Крім того, значну роль відіграє оптимізація процесів, що дозволяє підвищувати ефективність роботи та скорочувати час виконання завдань у технологічних системах.

Метою даного курсового проєкту є підвищення якості роботи заданої системи автоматичного керування шляхом розробки послідовного коригувального пристрою. Реалізація мети передбачає дослідження динамічних властивостей системи на основі передавальної функції, визначення стійкості та запасів стійкості, а також побудову часових і частотних характеристик. Синтез послідовного коригувального пристрою здійснюється із використанням методу логарифмічних частотних характеристик і аналітичного спрощення передавальної функції, що дозволяє забезпечити необхідні показники перехідного процесу та точності усталеного режиму.

					08-33.ТАУ.019.00.000 ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. АНАЛІЗ ПОЧАТКОВОЇ СИСТЕМИ

У системах автоматичного керування (САК) для математичного опису використовуються два основні типи рівнянь: статичні та динамічні. Статичні рівняння відображають поведінку системи в усталеному режимі, коли вхідні впливи залишаються постійними, і зазвичай мають алгебраїчну форму. Динамічні рівняння, навпаки, описують зміни системи у часі і дозволяють враховувати залежність між вхідними та вихідними сигналами, їх похідними або інтегралами, часто у вигляді диференціальних чи різницевих рівнянь.

Формування системи рівнянь можна починати з будь-якого елемента, проте важливо дотримуватися принципу: вхідний сигнал наступного компонента повинен відповідати вихідному сигналу попереднього. Зазвичай вихідні величини та їхні похідні розташовують у лівій частині рівняння, а вхідні величини — у правій, що забезпечує єдність і наочність математичної моделі.

Для подальшого аналізу системи визначають передавальні функції її елементів за різними каналами впливу. На основі цього будується структурна схема САК, а також розраховуються еквівалентні передавальні функції для каналів керування та збурень. Такий підхід дозволяє комплексно оцінити динамічні характеристики системи та підготувати її до корекції та оптимізації.

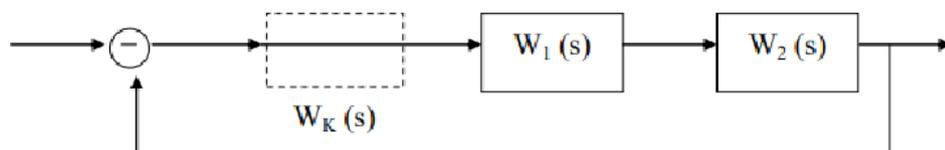


Рисунок 1.1 – Структура початкової САУ

					08-33.ТАУ.019.00.000 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.1 Математичний опис САУ

Потрібно визначити передавальну функцію для розімкненого контуру системи, що утворюється при розриві одиничного зворотного зв'язку. У такій схемі всі елементи системи опиняються з'єднаними послідовно, тому загальна передавальна функція системи обчислюється як добуток передавальних функцій усіх її складових компонентів:

Математичний опис:

$$W_1(s) = s + b$$

$$W_2(s) = \frac{K}{(s + d)(as^2 + cs + 1)}$$

Для визначення передатної функції розімкненої системи використовуємо наступну формулу.

$$W_{\text{роз}}(s) = W_1(s)W_2(s) = \frac{K(s + b)}{(s + d)(as^2 + cs + 1)}$$

Підставивши коефіцієнти $a = 0,1$, $c = 0,03$, $d = 0,4$, $K = 4$, $b = 0,12$ отримаємо:

$$W_{\text{роз}}(s) = \frac{2000s + 240}{50s^3 + 35s^2 + 506s + 200}$$

					08-33.ТАУ.019.00.000 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для розрахунку передавальної функції замкненої системи використовуємо формулу:

$$W_{\text{зам}}(s) = \frac{W_{\text{роз}}}{1 + W_{\text{роз}}}$$

$$W_{\text{зам}}(s) = \frac{2000s + 240}{50s^3 + 35s^2 + 2506s + 440}$$

Після введення конкретних числових значень параметрів, що описують елементи системи, стає можливим всебічно оцінити її динамічні властивості.

Для визначення часових характеристик системи застосовують два основні підходи: аналітичний, що передбачає розв'язання диференціальних рівнянь, та чисельний, який реалізується через імітаційне моделювання. У рамках цього курсового проєкту перехідна характеристика системи буде побудована за допомогою програмного коду, написаного на Python.

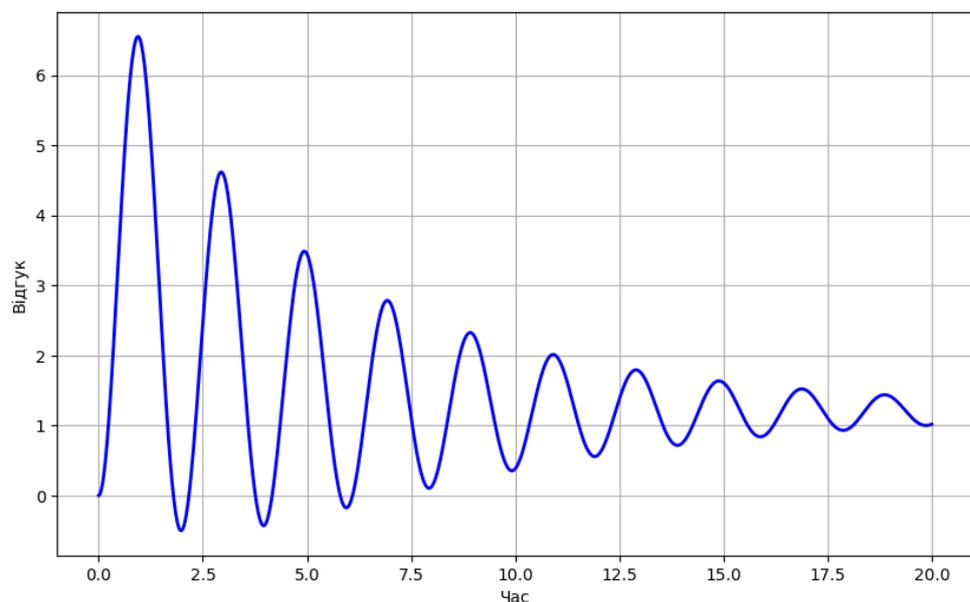


Рисунок 1.2 – Перехідна характеристика розімкненої системи

					08-33.ТАУ.019.00.000 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

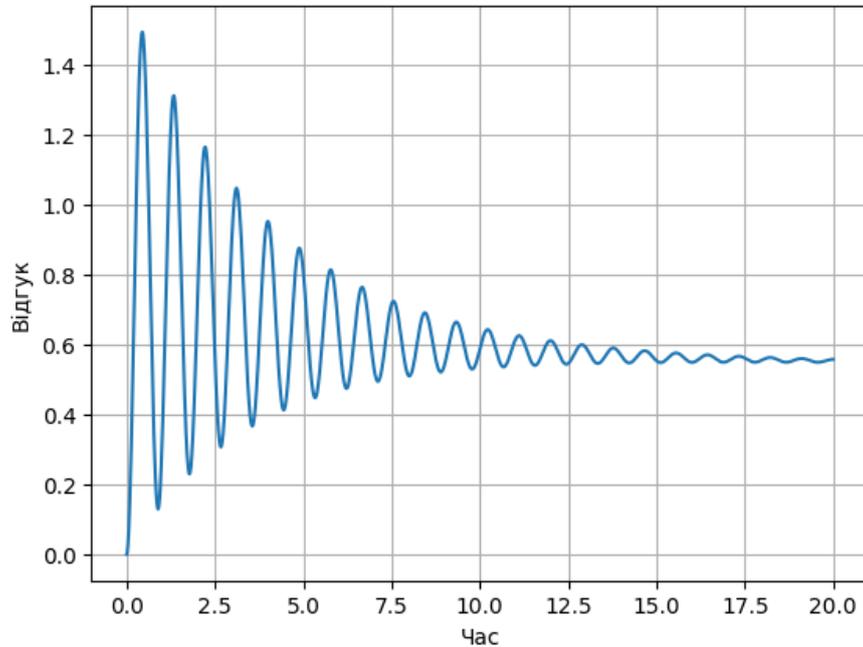


Рисунок 1.3 – Перехідна характеристика замкненої системи

1.2 Визначення стійкості системи

1) Кореневий метод:

Стійкість системи за кореневим методом визначається розташуванням усіх коренів у лівій півплощині.

Корені рівняння для передатної функції:

$$D(s) = 50s^3 + 35s^2 + 2506s + 440 = 0$$

Використовуючи програму, знайдемо корені рівняння:

1. Корінь рівняння: (- 74.97),
2. Корінь рівняння: (-0.262 – j7.068),
3. Корінь рівняння: (-0.262 + j7.068).

Усі корені мають від'ємну дійсну частину, тому система є стійкою

					08-33.ТАУ.019.00.000 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2) Частотний критерій стійкості Найквіста:

Згідно з критерієм стійкості Найквіста, замкнена система вважається стійкою у тому випадку, якщо амплітудно-фазова частотна характеристика розімкненого контуру, представлена на комплексній площині у вигляді діаграми Найквіста, не здійснює охоплення критичної точки з координатами $(-1;0)$. Зазначена умова виконується за припущення, що розімкнений контур не містить полюсів у правій півплощині, тобто полюсів із додатною дійсною частиною.

Для перевірки цієї умови необхідно сформулювати рівняння амплітудно-частотної характеристики (АЧХ):

$$W_{\text{зам}}(j\omega) = \frac{2000(j\omega) + 240}{50(j\omega)^3 + 35(j\omega)^2 + 2506(j\omega) + 440}$$

Рівняння амплітудно-частотної характеристики (АФЧХ) матиме наступний вигляд:

$$H(j\omega) = |W(j\omega)| \cdot (\cos(\arg(W(j\omega))) + j\sin(\arg(W(j\omega))))$$

					08-33.ТАУ.019.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

Побудуємо діаграму Найквіста:

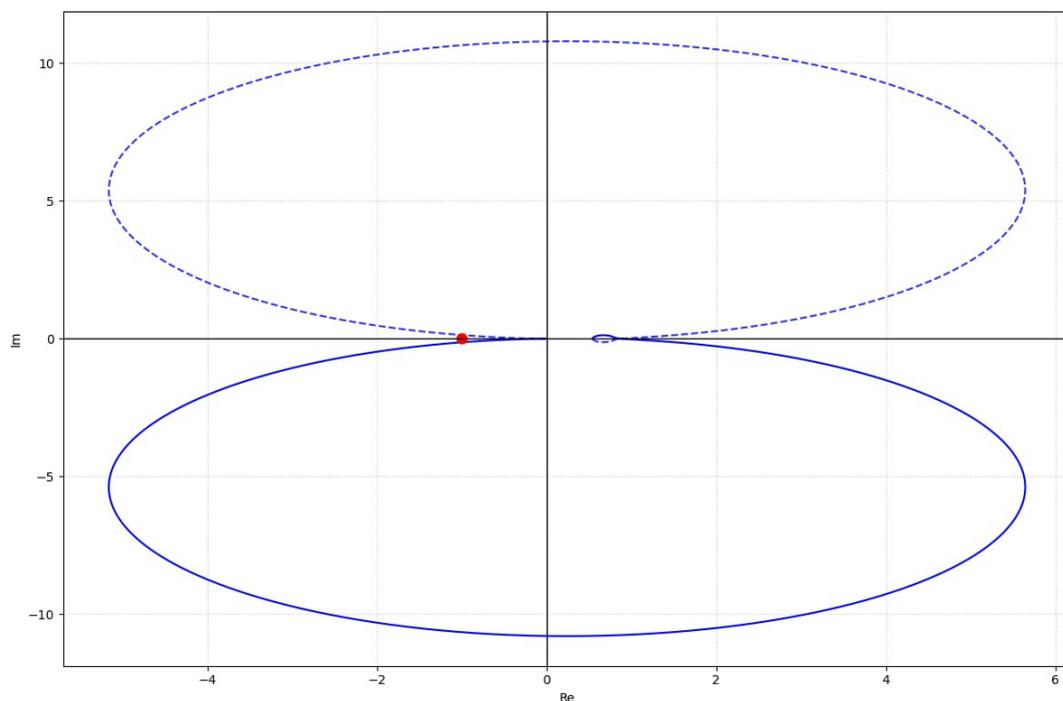


Рисунок 1.4 – Діаграма Найквіста

Діаграма Найквіста показує, що система стійка, проте знаходиться на межі стійкості, оскільки траєкторія не проходить через критичну точку $(-1;0)$.

1.3 Побудова ЛАЧХ та ЛФЧХ

Для розімкненої системи з передаточною функцією:

$$W_{\text{роз}}(j\omega) = \frac{2000(j\omega) + 240}{50(j\omega)^3 + 35(j\omega)^2 + 506(j\omega) + 200}$$

ФЧХ дорівнює аргументу передаточної функції:

$$\varphi(\omega) = \arg(W(j\omega)) = \arctan\left(\frac{2000\omega}{240}\right) - \arctan\left(\frac{506\omega - 50(j\omega)^3}{200 - 35(j\omega)^2}\right)$$

					08-33.ТАУ.019.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

ЛАЧХ обчислюється за формулою:

$$L(\omega) = 20\lg\left(\frac{\sqrt{(2000\omega)^2 + 240^2}}{\sqrt{(200 - 35\omega^2)^2 + (506\omega - 50\omega^3)^2}}\right)$$

Для замкненої системи з передаточною функцією:

$$W_{\text{зам}}(j\omega) = \frac{2000(j\omega) + 240}{50(j\omega)^3 + 35(j\omega)^2 + 2506(j\omega) + 440}$$

Знайдемо рівняння ФЧХ замкненої системи:

$$\varphi(\omega) = \arg(W(j\omega)) = \arctan\left(\frac{2000\omega}{240}\right) - \arctan\left(\frac{2506\omega - 50(\omega)^3}{440 - 35(j\omega)^2}\right)$$

Знайдемо ЛАЧХ замкненої системи:

$$L(\omega) = 20\lg\left(\frac{\sqrt{(2000\omega)^2 + 240^2}}{\sqrt{(440 - 35\omega^2)^2 + (2506\omega - 50\omega^3)^2}}\right)$$

					08-33.ТАУ.019.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

Побудуємо часові характеристики:

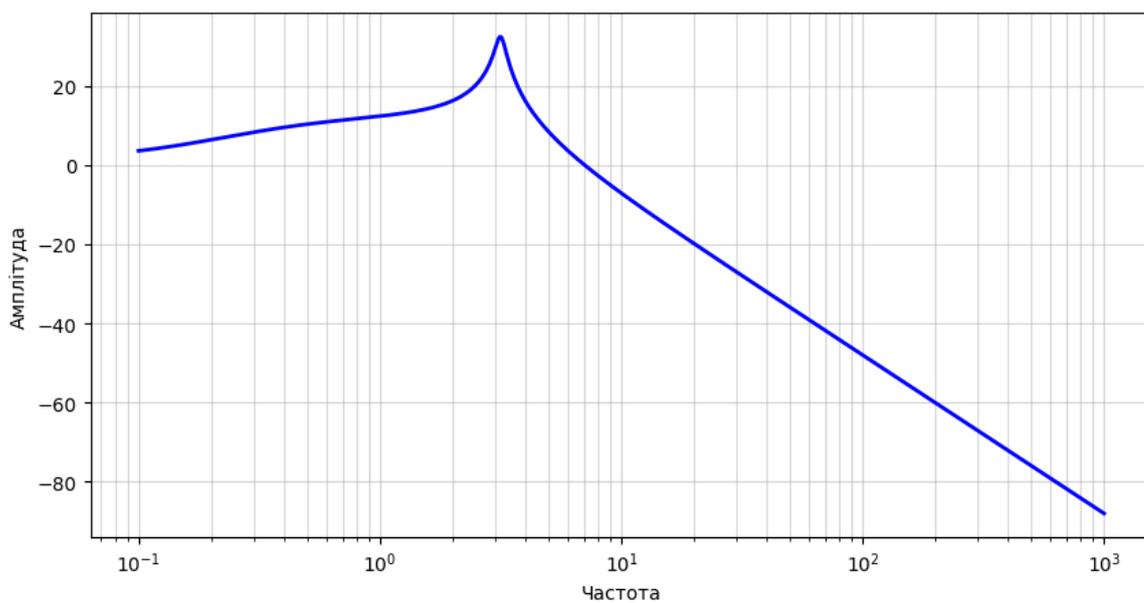


Рисунок 1.5 – ЛАЧХ розімкненої системи

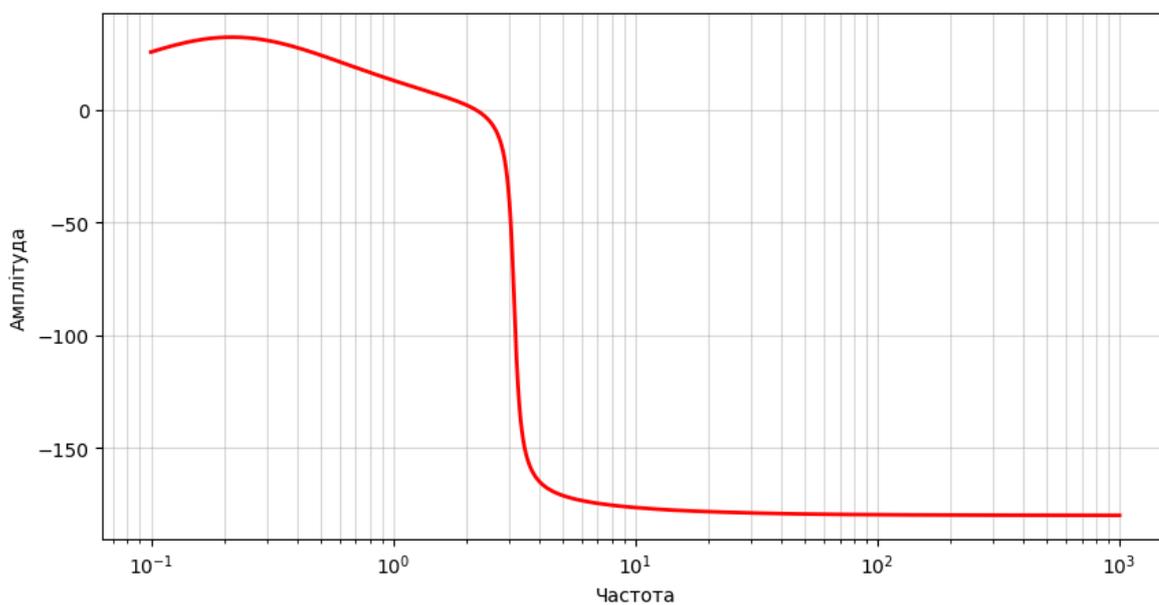


Рисунок 1.6 – ЛФЧХ розімкненої системи

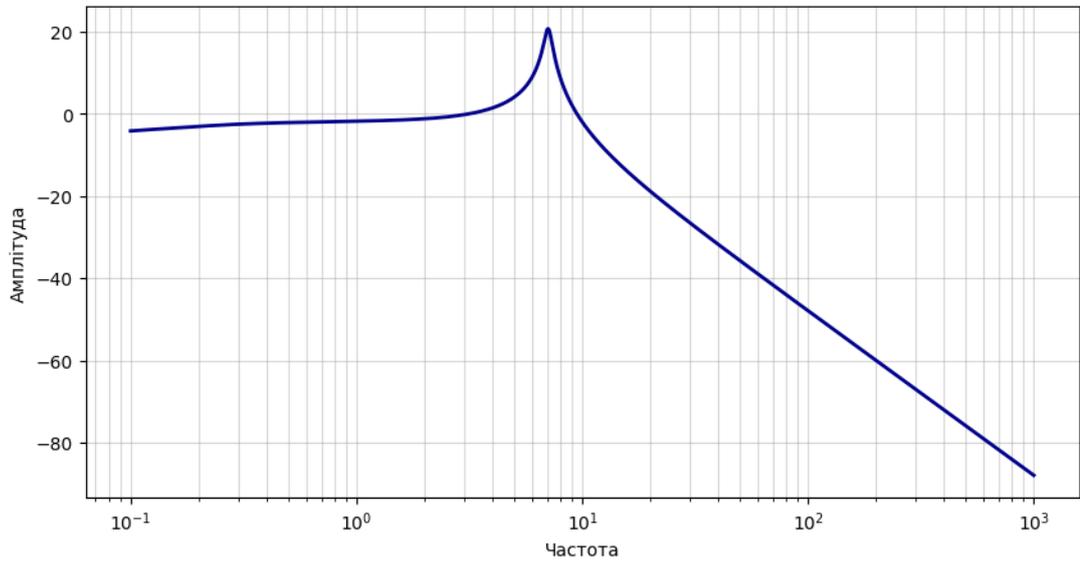


Рисунок 1.7 – ЛАЧХ замкненої системи

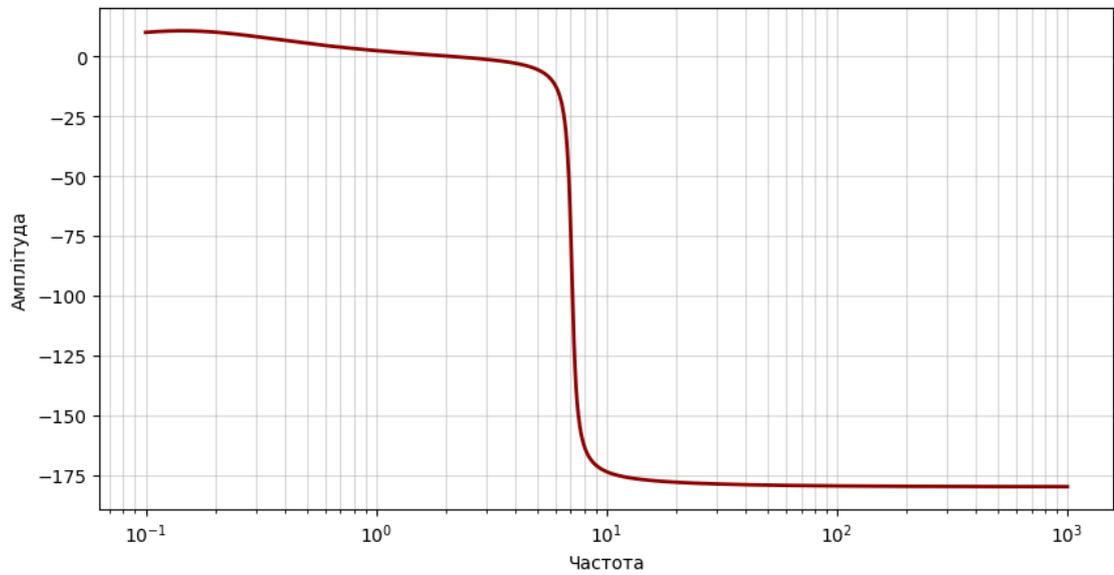


Рисунок 1.8 – ЛФЧХ замкненої системи

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

08-33.ТАУ.019.00.000 ПЗ

Арк.

15

1.4 Визначення прямих показників якості

Визначено, що система є стійкою, після чого можна розрахувати її показники якості.

Визначимо показники якості:

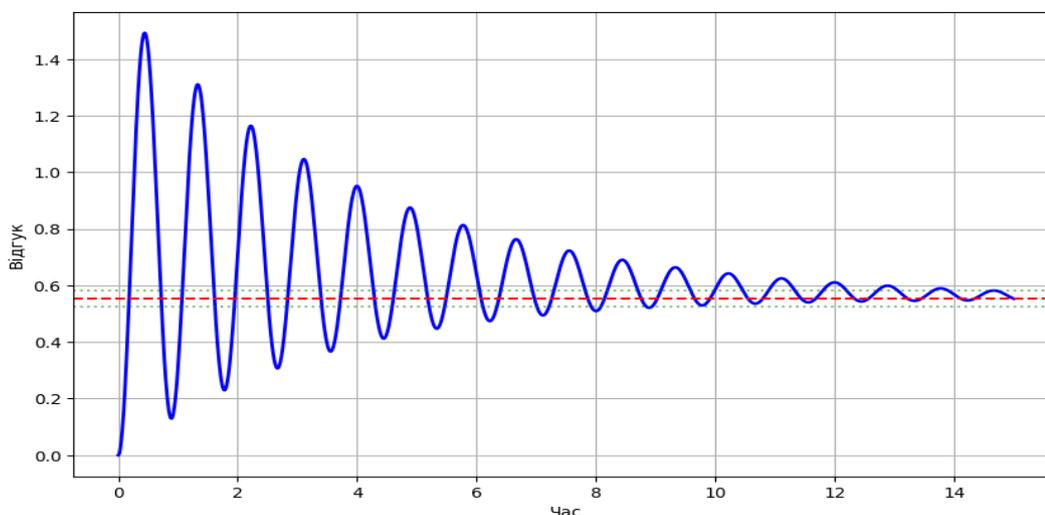


Рисунок 1.9 – Перехідна характеристика замкненої системи

- 1) $t_p = 14.7$ с.
- 2) Максимальне перерегулювання $\sigma m : \frac{h(t)_{\text{mas}} - h(t)_{\text{уст}}}{h(t)_{\text{уст}}} \cdot 100\% = 169.97\%$.
- 3) $h(t)_{\text{mas}} = 1.49$; $h(t)_{\text{уст}} = 0.55$.
- 4) Час виходу на режим $t_B, t_B = 0.2$ сек.
- 5) Час досягнення першого максимуму $t_m = 0.44$ сек.
- 6) Період коливань $T \approx 0.885$ сек.
- 7) Кількість коливань за час регулювання $N = 16$.
- 8) Декремент згасання $\chi : = 1.24$.

Стан початкової системи не задовольняє нормативні критерії: максимальне перерегулювання досягає 169,97 %, що перевищує допустиме значення 10 %, а коефіцієнт підсилення 0,55 відмінний від одиниці. З метою покращення динамічних показників системи слід використати коригувальний пристрій.

					08-33.ТАУ.019.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

2. СИНТЕЗ САУ

Метою є синтез коригувального пристрою, впровадження якого в систему автоматичного керування (САУ) має забезпечити досягнення заданих показників якості. Для скоригованої системи встановлюється обмеження на величину перерегулювання, яка не повинна перевищувати 10 %. Також передбачається зменшення часу регулювання щонайменше вдвічі порівняно з початковою системою ($t_{pk} \leq 0.5 t_{p3}$). Статична похибка має дорівнювати нулю, а коефіцієнт підсилення системи – одиниці.

2.1 Синтез послідовного коригуючого елемента

Синтез коригувального пристрою виконується з використанням методу логарифмічних амплітудно-частотних характеристик (ЛАЧХ). Першим етапом є побудова асимптотичної логарифмічної амплітудної характеристики початкової розімкненої системи $LP(\omega)$. Це дає змогу оцінити початкові динамічні властивості системи, визначити наявні запаси стійкості, а також окреслити частотні області, у яких необхідно здійснити корекцію для забезпечення заданих показників якості.

$$W_{\text{роз}}(s) = \frac{2000s + 240}{50s^3 + 35s^2 + 506s + 200}$$

1) Розклад чисельника:

$$2000s + 240 = 240(8.33s + 1)$$

					08-33.ТАУ.019.00.000 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2) Розклад знаменника:

$$50s^3 + 35s^2 + 506s + 200 = (s + 0.4)(50s^2 + 15s + 500)$$

З першої дужки:

$$0.4 \left(\frac{s}{0.4} + 1 \right) = 0.4(2.5s + 1)$$

З другої дужки:

$$500 \left(\frac{50}{500}s^2 + \frac{15}{500}s + 1 \right) = 500(0.1s^2 + 0.03s + 1)$$

3) Приведення передатної функції до зручного для аналізу вигляду:

$$W_{\text{роз}}(s) = \frac{1.2(8.33s + 1)}{(2.5s + 1)(0.1s^2 + 0.03s + 1)}$$

4) Передатна функція розімкненої системи у вигляді добутку ланок:

$$\begin{aligned} W_{\text{роз}}(s) &= 1.2(8.33s + 1) \left(\frac{1}{2.5s + 1} \right) \left(\frac{1}{0.1s^2 + 0.03s + 1} \right) \\ &= W_1(s)W_2(s)W_3(s)W_4(s) \end{aligned}$$

$W_1(s)$ – безінерційна ланка, $W_2(s)$ – форсуюча першого порядку, $W_3(s)$ – інерційна першого порядку, $W_4(s)$ – коливальна ланка, так як вона не має дійсних коренів.

					08-33.ТАУ.019.00.000 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

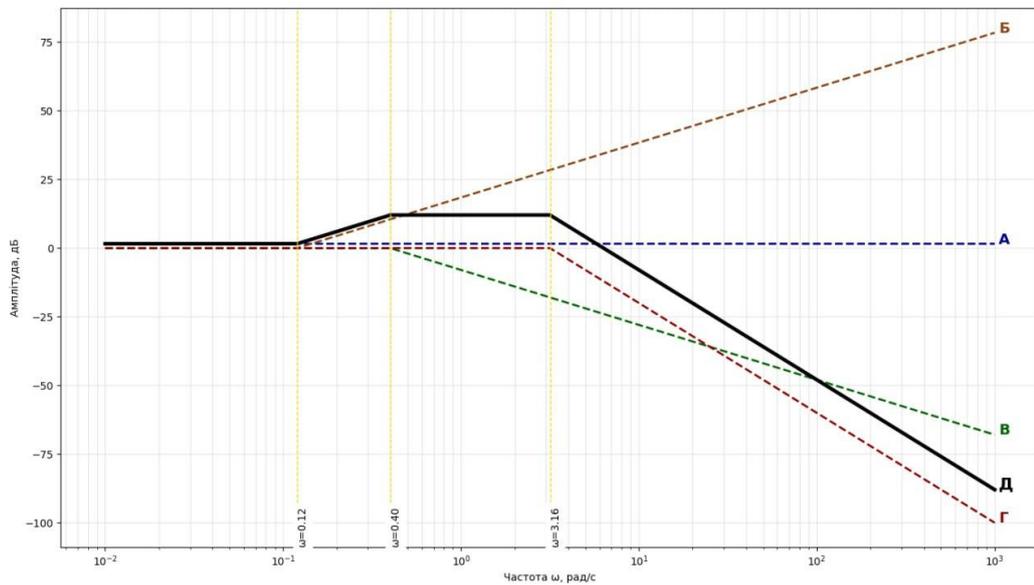


Рисунок 2.1 – Асимптотичні ЛАЧХ ланок: А) $W1(s)$ – безінерційна ланка, Б) $W2(s)$ – форсуюча першого порядку, В) $W3(s)$ – інерційна першого порядку, Г) $W4(s)$ – коливальна ланка, Д) розімкнена система

5) Визначимо частоту зрізу ω_z для ЛАЧХ бажаної системи $LB(\omega)$ за допомогою номограм В.В. Солодовнікова, при заданому значенні $\sigma_m \leq 10\%$.

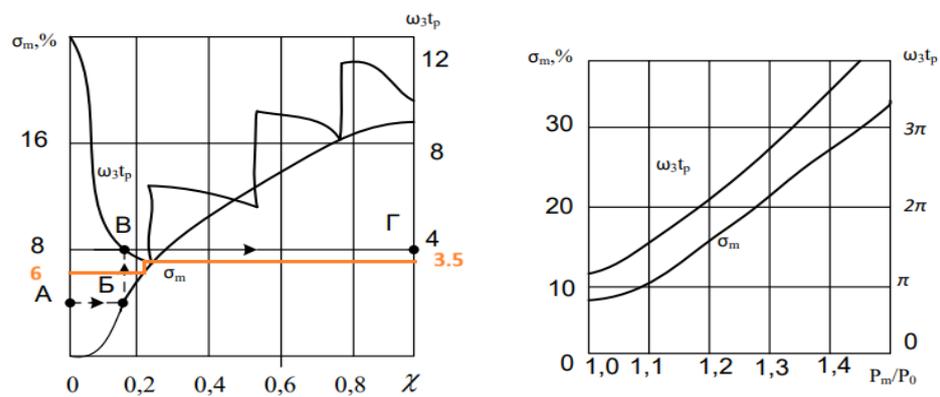


Рисунок 2.2 – Номограми В.В.Солодовнікова

Задаємо значення $\sigma_m = 6\% < 10\%$, і знаходимо, що значення $\omega_z t_p = 3.5$, при умові що, $t_{pk} \leq 0.5 t_{pz}$, $t_{pz} = 14.7c$, $t_{pk} = 7.5c$ знаходимо $\omega_z = 3.5/7.5 = 0.46c^{-1}$.

Формуємо середньо-частотну область бажаної ЛАЧХ так, щоб вона перетинала вісь $\lg(\omega)$ на частоті $\omega = 0.46\text{с}^{-1}$, а нахил характеристики в цій області становив -20 дб/дек.

б) Знайдемо $LK(\omega) = LB(\omega) - LP(\omega)$:

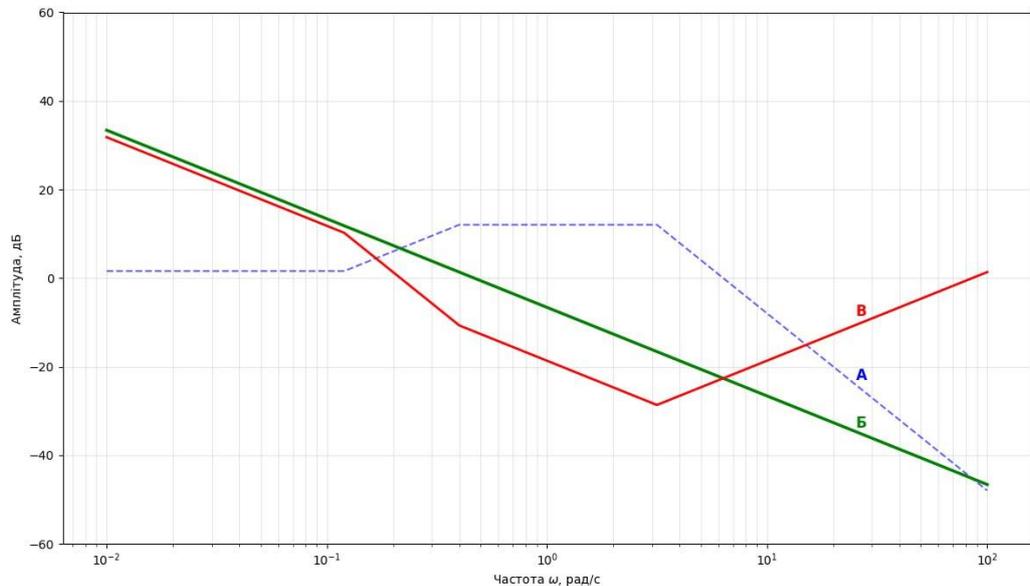


Рисунок 2.3 – Графіки ЛАЧХ: А) реального рівняння ($LP(\omega)$), Б) бажаного рівняння $LB(\omega)$, В) корегуючого пристрою $LK(\omega)$

1. На частотах від $\omega_1 = 0$ рад/с до $\omega_2 = 0.12$ рад/с ЛАЧХ має такий же вигляд, як і ЛАЧХ інтегруючої ланки.

$$W_{1k} = \frac{0.333}{s}$$

2. На частотах від $\omega_2 = 0.12$ рад/с до $\omega_3 = 0.4$ рад/с ЛАЧХ має такий же вигляд, як і ЛАЧХ інерційна ланка першого порядку.

$$W_{2k} = \frac{1}{8.33s + 1}$$

3. На частотах від $\omega_3 = 0.4$ рад/с до $\omega_4 = 3.16$ рад/с ЛАЧХ має такий же вигляд, як і ЛАЧХ форсуюча ланка першого порядку.

$$W_{3k} = 2.5s + 1$$

4. Після $\omega_4 = 3.16$ рад/с ЛАЧХ має такий же вигляд, як і ЛАЧХ форсуюча ланка другого порядку.

$$W_{4k} = 0.1s^2 + 0.03s + 1$$

З цих складових ми можемо скласти передатну функцію блоку корекції:

$$W_k = W_{1k}W_{2k}W_{3k}W_{4k} = \left(\frac{0.333}{s}\right)\left(\frac{1}{8.33s + 1}\right)(2.5s + 1)(0.1s^2 + 0.03s + 1)$$

$$W_k = \frac{0.333(2.5s + 1)(0.1s^2 + 0.03s + 1)}{s(8.33s + 1)}$$

Отже, передатна функція замкненої системи з блоком корекції матиме вигляд:

$$W_{\text{зам}} = \frac{W_{\text{роз}}W_k}{1 + W_{\text{роз}}W_k} = \frac{0.4}{s + 0.4}$$

					08-33.ТАУ.019.00.000 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

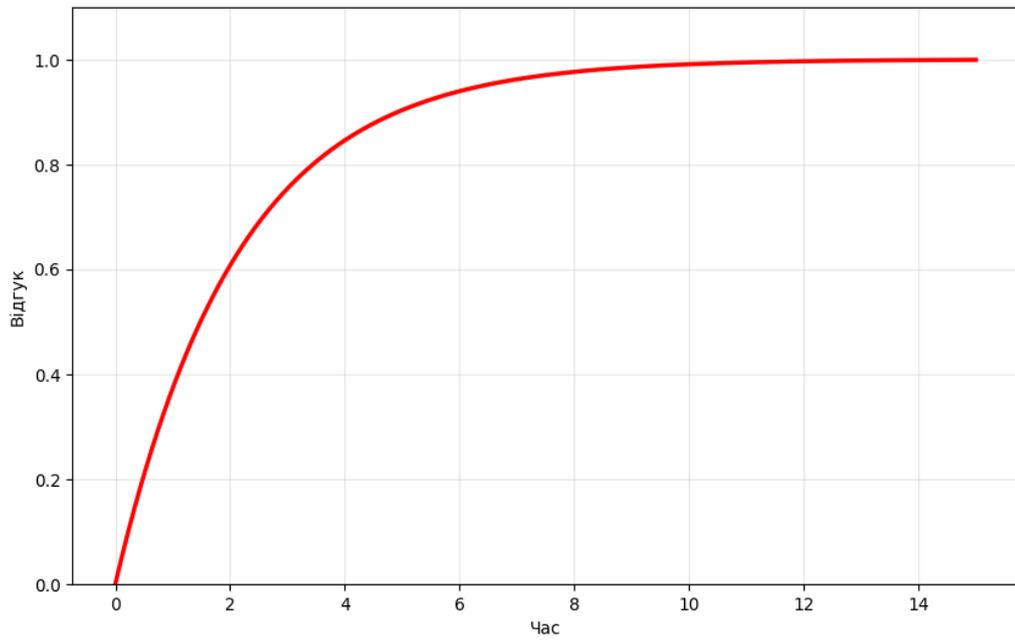


Рисунок 2.4 – Перехідна характеристика замкненої системи з блоком корекції

3. СПРОЩЕННЯ КОРИГУЮЧОГО ПРИСТРОЮ

Спрощення блоку корекції:

Передавальна функція коригувального пристрою, отримана в результаті синтезу, має складну структуру, що ускладнює її практичну реалізацію. З метою спрощення використовується аналітичний метод редукції. Суть цього методу полягає у виокремленні типових ланок та подальшому попарному усуненні тих із них, для яких сталі часу є близькими за значенням, тобто виконуються умови $T_1 \cong T_2$ коли їх співвідношення не перевищує 1,5.

На даний момент передатна функція нашого блоку корекції виглядає так:

$$W_k = \frac{0.08325s^3 + 0.05827s^2 + 0.8425s + 0.333}{8.33s^2 + s}$$

Приведемо чисельник і знаменник дробу до виду з одиничним коефіцієнтом при старшому члені поліному:

$$W_k = \frac{0.08325}{8.33} \cdot \frac{s^3 + 0.7s^2 + 10.12s + 4}{s + 0.12s}$$

1. Знайдемо корені поліному чисельника:

$$s_1^0, s_2^0 = -0.4, -0.15 + j3.16, -0.15 - j3.16$$

2. Знайдемо корені поліному знаменника:

$$s_1^\infty, s_2^\infty = 0, -0.12$$

					08-33.ТАУ.019.00.000 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. Тоді передатна функція запишеться як добуток простих ланок:

$$W_k = 0.01 \cdot \frac{(s + 0.4)(0.1s^2 + 0.03s + 1)}{s(s + 0.12)}$$

4. Порівняємо найбільш близьку пару коренів:

$$\frac{|s_1^0|}{|s_2^\infty|} = \frac{0.4}{0.12} = 3.33$$

Оскільки результат порівняння 3.33 суттєво перевищує допустиму межу 1.5, дані корені не є близькими і не підлягають взаємному скороченню. Будь-яка спроба примусового спрощення призведе до втрати розрахованих запасів стійкості та погіршення динамічних показників якості системи. Таким чином, обрана структура корегувального пристрою є остаточною і не потребує додаткових спрощень.

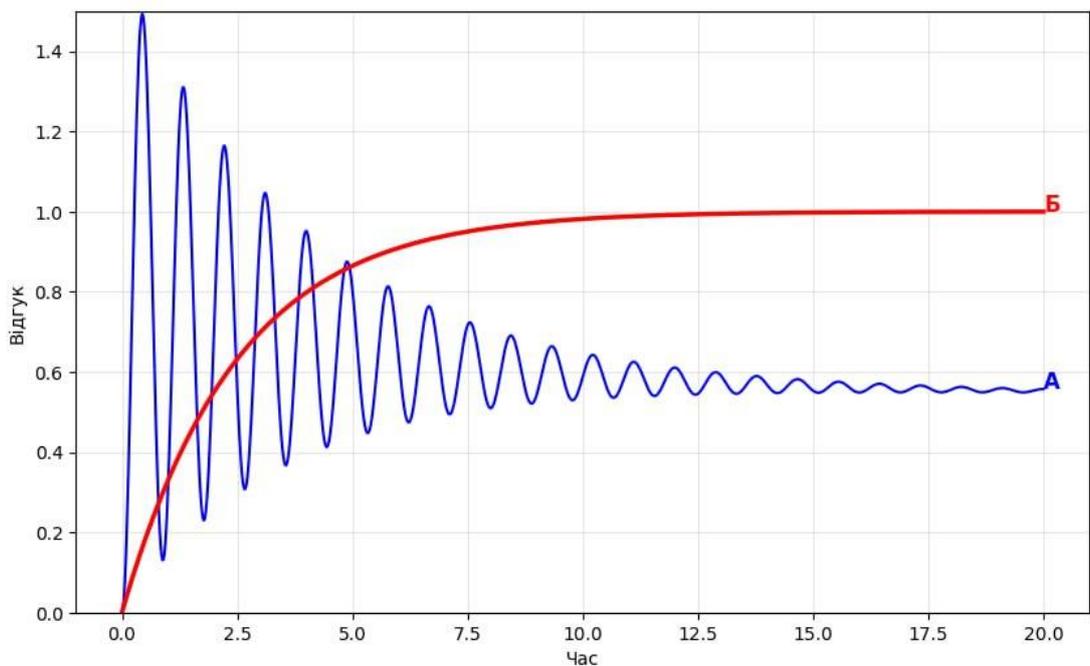


Рисунок 3.1 – Перехідна характеристика: А) початкової замкненої системи, Б) замкненої системи з блоком корекції

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ВИСНОВКИ

У межах курсового проекту було розглянуто систему автоматичного керування з заданою передавальною функцією. Перевірка стійкості за кореневим критерієм показала, що система є стійкою, оскільки всі корені характеристичного рівняння розташовані в лівій півплощині комплексної площини, водночас за частотним критерієм Найквіста система перебуває поблизу межі стійкості. Також були визначені основні показники якості початкової системи, зокрема час регулювання 14.7 с, максимальне перерегулювання 169.97 % та усталене значення вихідної величини 0.55, які не відповідають заданим вимогам щодо якості керування.

З метою покращення динамічних характеристик системи було виконано синтез послідовного коригувального пристрою з використанням методу логарифмічних частотних характеристик. У результаті синтезу отримано систему, яка забезпечує виконання заданих вимог до якості керування: час регулювання становить 7.5 с, максимальне перерегулювання не перевищує допустимого значення 6 %, а вихідна величина в усталеному режимі набуває значення 1. Бажану логарифмічну амплітудну характеристику сформовано з урахуванням обмежень на перерегулювання та необхідної швидкодії, що відповідає частоті зрізу $\omega_z = 0.46 \text{ с}^{-1}$. Коригувальний пристрій реалізовано у вигляді сукупності типових ланок, зокрема інтегрувальної, форсуючої та інерційної.

Аналітичним методом встановлено, що передавальна функція коригувального пристрою є максимально спрощеною та не підлягає подальшому скороченню без погіршення характеристик. У такому вигляді пристрій забезпечує виконання заданих вимог.

Для імітаційного моделювання системи автоматичного керування та аналізу її динамічних характеристик використано мову програмування Python і бібліотеку Matplotlib.

					08-33.ТАУ.019.00.000 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Положення про курсове проектування у Вінницькому національному технічному університеті / Д. Х. Штофель. Вінниця : ВНТУ, 2024. 52 с.

2. Методичні вказівки до виконання курсових проєктів з дисципліни «Теорія автоматичного управління» зі спеціальностей «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» та «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» / [Електронний ресурс] Уклад. В. В. Присяжнюк, М. В. Петричко. – Вінниця : ВНТУ, 2024. – 39 с.

3. Лисенко В. С., Конох І. В. Методичні вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни «Теорія автоматичного керування» для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» денної форми навчання [Електронний ресурс]. Суми: Сумський державний університет, 2020. 77 с.

4. Івахів О. Р., Проць Я. І. Теорія автоматичного керування. Частотні методи аналізу: навч. посіб. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2015. 256 с.

5. Мураховський С. А., Півторак Д. О. Теорія автоматичного управління. Теорія лінійних систем автоматичного управління : навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 94 с.

6. Штіфзон О. Й., Новіков П. В. Теорія автоматичного управління. Нелінійні та дискретні системи : навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 98 с.

					08-33.ТАУ.019.00.000 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		